

مقاله علمی-ترویجی

## تعیین توابع تولید و بهره‌وری آب در هیبریدهای مرسوم کلزا (مطالعه موردی شهرستان میاندوآب)

مینا رحیمی<sup>۱</sup>، وحید رضاوردی نژاد<sup>۲\*</sup> و حیدر طایفه رضایی<sup>۳</sup>

### چکیده

برای ارزیابی تأثیر آبیاری بر عملکرد دانه و بهره‌وری آب سه هیبرید مرسوم کلزا شامل اکاپی (T<sub>1</sub>)، الیت (T<sub>2</sub>) و میلنا (T<sub>3</sub>) در قالب طرح آماری کرت‌های خرد شده نواری با سه تکرار و طی سال‌های زراعی ۸۴-۸۵ و ۸۴-۸۵، آزمایشی در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان میاندوآب انجام شد. برای استخراج توابع تولید و بهره‌وری آب، هشت تیمار سطوح آبیاری (IP<sub>1</sub> تا IP<sub>8</sub>) به ترتیب ۱۲۰، ۱۱۰، ۱۰۰، ۹۰، ۸۰، ۷۰، ۶۰ و ۵۰ درصد نیاز خالص آبیاری محاسبه شده با روش پنمن ماتنیت فائو در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد توابع تولید در هیبریدهای T<sub>1</sub>، T<sub>2</sub> و T<sub>3</sub> همبستگی برابر با ۰/۹۸، ۰/۹۷ و ۰/۹۸ دارند. با استخراج توابع بهره‌وری مشاهده شد که مقدار بهره‌وری آب در شرایط تنش شدید، کاهش و با افزایش مقدار آب، افزایش یافته است. در صورتی که اعمال کم‌آبیاری الزامی باشد، تیمار IP<sub>4</sub> به سبب ارائه بالاترین عملکرد دانه (میانگین عملکرد دانه برابر با ۳۷۵۸/۵ کیلوگرم در هکتار برای دو سال) پیشنهاد می‌گردد. نتایج تجزیه آماری پارامترهای بررسی شده نشان داد که با کاهش ۱۰ درصدی آب مصرفی، سود به میزان ۷/۸۳ و ۳/۴۴ درصد به ترتیب در سال‌های اول و دوم کاهش می‌یابد. هیبریدهای T<sub>1</sub> و T<sub>2</sub> به ترتیب در سال‌های اول و دوم بیشترین عملکرد را داشتند و عملکرد در سال دوم بالاتر از سال اول بود. علت این امر افزایش دما و تابش دریافتی بیشتر در سال دوم می‌باشد. با هدف حداکثر بهره‌وری آب، سطح آبیاری IP<sub>4</sub> و هیبرید T<sub>2</sub> پیشنهاد می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** آبیاری کرتی، سود، عملکرد دانه، کم‌آبیاری، مراحل فنولوژیکی رشد گیاه

### مقدمه

بیشتر محصولات کشاورزی و تهیه غذای جمعیت رو به رشد را ضرورت بخشیده است. از طرفی نیز مدیریت منابع آب، عرضه و تقاضا از مهم‌ترین دغدغه‌های سیاست‌گذاران می‌باشد (Reddy et al., 2020). لذا استفاده بهینه از منابع آب و تولید محصول با عملکرد بالا ضروری است. محققان مختلفی به بررسی میزان مصرف آب در تولید محصولات گیاهی و پاسخ گیاه به مقادیر مختلف آب پرداخته‌اند. سپاس خواه و تافته بهره‌وری اقتصادی آب و کود نیتروژن در آبیاری جوچه‌ای معمولی، یک‌درمیان ثابت و یک‌درمیان متغیر برای کشت کلزا را بررسی نمودند و برای هر روش آبیاری نیز چهار تیمار کودی شامل صفر، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار اعمال نمودند. نتایج حاصله نشان داد که بیشترین بازده اقتصادی کاربرد آب مربوط

ایران کشوری است که به لحاظ اقلیمی در منطقه خشک و نیمه‌خشک واقع شده است. محدودیت منابع آب و توزیع نامناسب مکانی و زمانی بارش، استفاده از آبیاری برای تولید

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

<sup>۲</sup> دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران (\*نویسنده مسئول: v.verdinejad@urmia.ac.ir)

<sup>۳</sup> مربی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، ارومیه، ایران

تاریخ دریافت: ۹۹/۶/۲۰

تاریخ پذیرش: ۹۹/۷/۳۰

۴۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی می‌باشد (Kamkar et al., 2011). غفاری مقدم و فنایی (۱۳۹۵) آزمایشی در سیستان و بلوچستان به منظور تعیین تیمارهای مناسب کلزا برای کم‌آبایی صورت دادند و بر اساس تحلیل اقتصادی صورت گرفته، نشان دادند که تیمار ۷۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک به همراه کاربرد ۲۵۰ کیلوگرم کود سولفات پتاسیم تیمار برتر در گیاه کلزا می‌باشد. کلزا گیاهی است که سازگاری بالایی با شرایط مختلف آب و هوایی دارد. از این گیاه می‌توان در تناوب با زراعت گندم و جو استفاده و از تراکم علف‌های هرز، بیماری‌ها و جمعیت آفات جلوگیری نمود و عملکرد دانه را افزایش داد (Sovero, 1993). این گیاه پتانسیل عملکرد بالا داشته و در بین دانه‌های روغنی از درصد روغن دانه بالایی (۴۰ تا ۴۵ درصد) برخوردار است (Sovero, 1993). به علاوه بقایای گیاهی کلزا، علاوه بر تأثیر مثبت در میزان ماده آلی خاک، در تأمین علوفه مورد نیاز زارعین نیز مؤثر است (شریفی جهان تیغ و عباسی، ۱۳۸۸).

دشت میاندوآب یکی از دشت‌های مهم استان آذربایجان غربی به لحاظ تولید محصولات کشاورزی می‌باشد. شبکه آبیاری و زهکشی مدرن میاندوآب نیز بزرگ‌ترین شبکه آبیاری حوضه دریاچه ارومیه است. با توجه به بحران دریاچه ارومیه، لزوم استفاده بهینه از آب ضروری است. یکی از سیاست‌های وزارت جهاد کشاورزی، توسعه و ترویج کشت کلزا در این منطقه در سال‌های اخیر می‌باشد. در این مطالعه تحلیل اقتصادی، عملکرد دانه و بهره‌وری آب در سه هیبرید مختلف و رایج کلزا در استان آذربایجان غربی تحت مقادیر مختلف آبیاری بررسی شد. تیمارهای آبیاری شامل دو تیمار پرآبی به میزان ۱۱۰ و ۱۲۰ درصد نیاز خالص آبیاری، تیمار ۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درصد نیاز خالص تعیین شدند تا حالت‌های مختلف بیش‌آبیاری و کم‌آبیاری بر عملکرد دانه و بهره‌وری آب ارزیابی شود تا بتوان راهنمایی مناسب جهت مدیریت آب و تولید بیشتر این محصول و به دنبال آن افزایش بازده اقتصادی در محدوده مطالعاتی صورت گیرد.

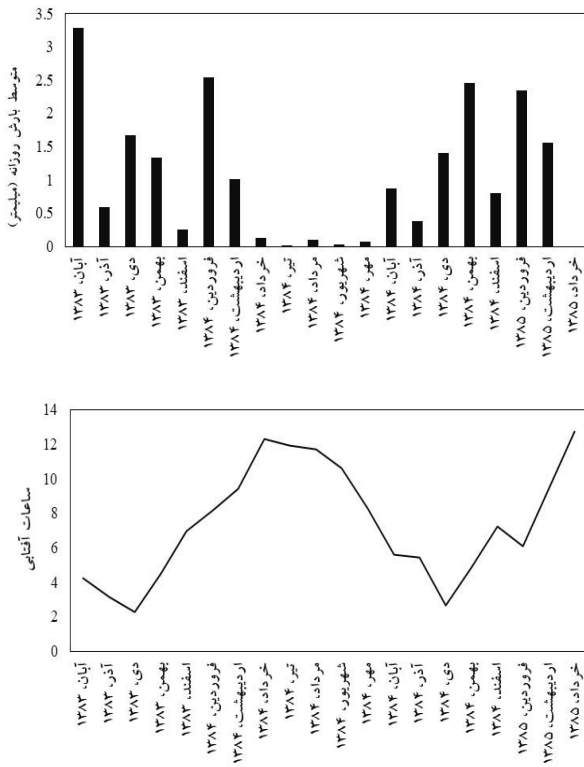
### مواد و روش‌ها

این مطالعه در شهرستان میاندوآب، واقع در استان آذربایجان

به روش جویچه‌ای یک‌درمیان متغیر با مصرف کود نیتروژن ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار است (Sepaskhah and Tafteh, 2012). فرجی و همکاران در مطالعه‌ای تأثیرات تنش حاصل از افزایش دما و آبیاری تکمیلی بر عملکرد دانه و راندمان کاربرد آب در گیاه کلزا را به مدت دو سال در مرکز تحقیقات کشاورزی گناباد ایران بررسی نمودند. دو هیبرید کلزا (Hyola401 و RGS003). در پنج تاریخ کشت مختلف برای ایجاد طیف گسترده‌ای از شرایط محیطی در دوره گلدهی و پر شدن دانه و ایجاد تنش‌های دمایی بالا کشت نمودند. نتایج نشان داد که آبیاری تکمیلی و بهینه‌سازی زمان کاشت سبب بهبود عملکرد دانه شده است. به علاوه رابطه معکوس بین عملکرد دانه و دمای هوا در طی مراحل رشد گیاهی وجود دارد. همچنین تأخیر در زمان کاشت کلزا نیز کاهش رشد، شاخص سطح برگ، راندمان کاربرد و عملکرد دانه را به دنبال داشته است (Faraji et al., 2009). داجمن و همکاران عملکرد دانه و بهره‌وری آب در هشت هیبرید مختلف کلزا در مناطق نیمه‌خشک و ارتفاعی مکزیک تحت بلوک‌های کامل تصادفی با سیستم آبیاری سنتریپوت را بررسی نمودند. نتایج نشان داد عملکرد دانه بسته به نوع هیبرید از ۲۳۹۳ تا ۵۷۱۷ کیلوگرم در هکتار متفاوت می‌باشد. کمترین عملکرد مربوط به هیبرید سومنر و بالاترین نیز به سیترو اختصاص داشت (Djaman et al., 2018). پاولیستا و همکاران عملکرد دانه، ویژگی‌های روغن کلزا و رشد گیاه را با استفاده از آب باران و نیز سه سطح آبیاری (۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر) در غرب نبراسکا بررسی نمودند. نتایج نشان داد استفاده از آبیاری باعث افزایش رشد گیاه (به لحاظ ارتفاع، وزن و طول ساقه) می‌شود (Pavlista et al., 2016). هرگرت و همکاران در مطالعه خود تأثیر سطوح مختلف آبیاری (۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌متر) بر عملکرد دانه، تغییرات رطوبت خاک، محتوای روغن و بهره‌وری آب کلزا را بررسی نمودند. این مطالعه در چهار فصل، سه منطقه مختلف و در غرب نبراسکا صورت گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش مقدار آبیاری، عملکرد دانه و مقدار روغن کلزا افزایش می‌یابد (Hergert et al., 2016). کامکار و همکاران مطالعه‌ای با هدف بررسی تأثیرات مقادیر مختلف آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد دانه در کلزا انجام داده و نتیجه گرفتند که با افزایش مقادیر کود، عملکرد دانه نیز افزایش می‌یابد و بهترین تیمار برای آبیاری نیز

به بافت خاک محدوده مطالعاتی که نفوذپذیری متوسطی دارد، حداکثر عمق ۶۰ سانتی‌متری برای تعیین مشخصات فیزیکی خاک در نظر گرفته شد. مشخصات فیزیکی خاک محل آزمایش در دو عمق ۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتیمتر در جدول ۱ ارائه شده است. بافت خاک محدوده مطالعاتی لوم سیلتی می‌باشد. درصد رطوبت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی با استفاده از دستگاه صفحات فشاری اندازه‌گیری شد که به ترتیب برابر ۲۸/۷ و ۱۴/۲ درصد جرمی می‌باشند. متوسط چگالی ظاهری خاک نیز برابر ۱/۲۵ گرم بر سانتی مترمکعب می‌باشد. جهت تأمین آب موردنیاز آبیاری از یک حلقه چاه نیمه عمیق موجود در ایستگاه استفاده شد که کیفیت آب در آن به لحاظ شوری و قلیائیت، در کلاس C2S1 (وضعیت مناسب) قرار داشت.

غربی و در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی و در مجاورت ایستگاه هواشناسی شهرستان میان‌دوآب، به مدت دو سال زراعی از مهرماه سال ۱۳۸۳ تا آبان ماه سال ۱۳۸۵ صورت گرفت. رقوم ارتفاعی محل انجام آزمایش‌های صحرایی ۱۳۱۲ متر، طول جغرافیایی ۴۶/۰۸ و عرض جغرافیایی ۳۷/۰۱ می‌باشد. اقلیم منطقه بر اساس روش‌های دومارتن و آمبرژه به ترتیب نیمه‌خشک و خشک سرد می‌باشد. روند تغییرات پارامترهای اقلیمی طی سال‌های آزمایش در شکل ۱ ارائه شده است. گیاه کلزا دارای یک ریشه عمودی اصلی است که در صورت نفوذپذیر بودن خاک تا عمق ۸۰ سانتی‌متری در خاک فرو می‌رود. ریشه‌های فرعی این گیاه نیز عمده‌تاً در عمق ۳۵ سانتی‌متری خاک توسعه می‌یابند و معمولاً افقی هستند. با توجه



شکل ۱- روند تغییرات پارامترهای هواشناسی محدوده مطالعاتی طی سال‌های آزمایش

جدول ۱- مشخصات بافت خاک محدوده مطالعاتی

عمق خاک (سانتیمتر)	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	بافت	درصد جرمی رطوبت ظرفیت زراعی	درصد جرمی رطوبت نقطه پژمردگی	چگالی ظاهری خاک (گرم بر سانتی مترمکعب)
۰-۳۰	۸/۲	۵۶/۷	۳۵/۱	لوم سیلتی	۲۹/۱	۱۴/۶	۱/۲۵
۳۰-۶۰	۶/۳	۵۷/۴	۳۶/۳	لوم سیلتی	۲۸/۴	۱۳/۹	۱/۲۴

جلوگیری از تأثیر نامطلوب در تفسیر نتایج، آب کرت‌ها تخلیه شد.

تبخیر و تعرق واقعی گیاه ( $ET_c$ ) بر اساس رابطه (۱) و به صورت روزانه محاسبه و به صورت تجمعی در زمان آبیاری اعمال شد.

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (1)$$

که در آن،  $ET_o$ : تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر بر روز) و  $K_c$  ضریب گیاهی کلزا است که با استفاده از اطلاعات محلی و ارقام ارائه شده در کتاب برآورد نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی ایران (فرشی، ۱۳۷۷) در مقیاس ماهانه استخراج و با تقسیم بر تعداد روزهای همراه به صورت روزانه استخراج شد.

برای تعیین آب مورد نیاز خاکاب از کمبود رطوبت خاک (SMD) استفاده شد. رطوبت خاک در سال اول و قبل از آبیاری حدود ۱۵ درصد وزنی بود و بر اساس رطوبت ظرفیت زراعی و چگالی ظاهری خاک و نیز در نظر گرفتن عمق خاک جهت آبیاری معادل ۴۰ میلی‌متر، عمق مورد نظر آبیاری در زمان کاشت محاسبه شد. بر این اساس، مقدار آب لازم برای آبیاری کرت‌ها در خاکاب، حدود ۷۰۰ مترمکعب هکتار در سال اول اعمال شد. در نوبت‌های آبیاری دوم به بعد، مقدار بارندگی‌ها نیز در محاسبات وارد و از عمق خالص آبیاری کسر شد. لذا مقدار آبیاری در نوبت‌های بعدی آبیاری، با احتساب ریزش باران و کمبود رطوبتی صورت گرفته و کمتر از مقدار آب اعمال شده در آبیاری اول می‌باشد. مقدار بارش مؤثر سالانه در سال اول انجام آزمایش برابر ۱۵۸/۶ میلی‌متر و در سال دوم انجام آزمایش برابر ۴۴۴۰، در تیمار  $IP_2$  برابر ۴۰۷۰، در تیمار  $IP_3$  (آبیاری کامل) برابر ۳۷۰۰، در تیمار  $IP_4$  برابر ۳۳۳۰، در تیمار  $IP_5$  برابر ۲۹۶۰، در تیمار  $IP_6$  برابر ۲۵۹۰، در تیمار  $IP_7$  برابر ۲۲۲۰ و در تیمار  $IP_8$  برابر ۱۸۵۰ مترمکعب در هکتار می‌باشد.

مشابه این عملیات، برنامه‌ریزی آبیاری برای سال زراعی دوم نیز تکرار شد. بر اساس آزمون خاک و توصیه مؤسسه تحقیقات خاک و آب، کود اوره در هر سال زراعی در سه نوبت به صورت سرک در مراحل کاشت، ساقه و خوشه رفتن به میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار در هر نوبت و کودهای پتاس و فسفر قبل از کاشت و به ترتیب به

تاریخ کاشت گیاه کلزا در سال اول و دوم به ترتیب برابر ۱۳۸۳/۷/۱۰ و ۱۳۸۴/۷/۱۲ و تاریخ برداشت نیز به ترتیب ۱۳۸۴/۳/۱۴ و ۱۳۸۵/۳/۱۵ بود. در خصوص زمان آبیاری، دور آبیاری و تخلیه مجاز رطوبتی ملاک عمل نبود و زمان آبیاری بر مبنای مراحل فیزیولوژیکی گیاه تنظیم گردید؛ بنابراین هفت نوبت آبیاری در مراحل رشد گیاهی شامل: کاشت، پنجه‌زنی، خوشه رفتن، گلدهی، خمیری شدن، دانه بستن و رسیدگی صورت گرفت.

روش آبیاری در این مطالعه، آبیاری سطحی با استفاده از کرت‌های مسطح می‌باشد. برای هر هیبرید کلزا، یک کرت به طول ۲/۵ متر و عرض ۱/۲ متر در نظر گرفته شد. برای آماده‌سازی زمین جهت کشت گیاه کلزا، در شهریور ماه هر دو سال، کل زمین آزمایش به میزان ۵۰۰ مترمکعب در هکتار آبیاری گردید زیرا استفاده از شخم تر در سطح منطقه مرسوم است و از تولید کلوخه جلوگیری می‌کند. آبیاری کرت‌ها توسط موتورپمپ ۲ اینچ گازوئیلی صورت گرفت و دبی توسط فلوم WSC و در محل‌های مختلف اندازه‌گیری شد.

آزمایش بر اساس طرح کرت‌های خردشده نواری و در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. این مطالعه در قالب دو فاکتور اصلی و فرعی انجام شد. فاکتور اصلی سطوح مختلف آبیاری (هشت سطح) و فاکتور فرعی ارقام مختلف کلزا (سه هیبرید) بود. ارقام کلزا شامل اکاپی ( $T_1$ )، الیت ( $T_2$ ) و میلنا ( $T_3$ ) بود که ارقام رایج منطقه می‌باشند. نیاز خالص آبیاری به صورت بهنگام و بر اساس اطلاعات هواشناسی ایستگاه تازه کند میاندوآب (به طول جغرافیایی ۴۶/۰۹ و عرض جغرافیایی ۳۶/۵۸) و ایستگاه تحقیقاتی میاندوآب (به طول جغرافیایی ۴۶/۰۲ و عرض جغرافیایی ۳۶/۵۹) و بر مبنای رابطه فائو پنمن مانیتیت محاسبه و اعمال شد. سطوح آبیاری شامل ۱۲۰ درصد نیاز خالص آبیاری ( $IP_1$ )، ۱۱۰ درصد نیاز خالص ( $IP_2$ )، آبیاری کامل معادل ۱۰۰ درصد نیاز خالص ( $IP_3$ )، ۹۰ درصد نیاز خالص ( $IP_4$ )، ۸۰ درصد نیاز خالص ( $IP_5$ )، ۷۰ درصد نیاز خالص ( $IP_6$ )، ۶۰ درصد نیاز خالص ( $IP_7$ ) و ۵۰ درصد نیاز خالص ( $IP_8$ ) بود. مجموع بارش کل در طول دوره رشد کلزا برابر ۲۸۶/۲ میلی‌متر و مقدار بارش مؤثر نیز برابر ۸۵ میلی‌متر می‌باشد. در هر آبیاری، مقدار بارندگی‌ها در محاسبات وارد و از عمق خالص آبیاری کسر شد. در یک مورد، بارندگی بعد از آبیاری صورت گرفت که برای

جدول ۲ مشاهده می‌شود که میزان عملکرد دانه تحت تأثیر سال و مقادیر آبیاری در سطح یک درصد معنی‌دار است. معنی‌دار شدن عملکرد دانه بر اثر سال و مقادیر آبیاری بیانگر این است که تولید دانه ارتباط بسیار نزدیکی با مقدار آب در دسترس گیاه و شرایط حاکم در سال کشت محصول دارد. به علاوه عملکرد دانه در ارقام مختلف کلزا نیز متفاوت است و در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌دار را نشان می‌دهد. ضریب تغییرات آزمایش برای عملکرد دانه، بهره‌وری آب و سود نیز به ترتیب ۵/۱۰، ۶/۰۷ و ۸/۱۱ درصد است که بیانگر تغییرات متعارف در نتایج آزمایش می‌باشد.

### عملکرد دانه

مقایسه عملکرد دانه تحت اثر مقادیر آبیاری در سال اول آزمایش با استفاده از آزمون دانکن در سطح یک درصد انجام و خلاصه نتایج در جدول ۳ ارائه شده است. بیشترین عملکرد کلزا در سال اول آزمایش در سطح آبیاری IP<sub>3</sub> و برابر با ۴۱۲۴ کیلوگرم بر هکتار به دست آمد. IP<sub>2</sub> تیمار بیش آبیاری برابر با ۱۲۰ درصد نیاز آبی گیاه می‌باشد و عملکرد ۳۵۵۱ کیلوگرم بر هکتار داشته است که به کاهش ۱۴ درصدی عملکرد منجر شده است. IP<sub>1</sub> نیز تیمار بیش آبیاری است که عملکردی برابر با ۳۹۹۷ کیلوگرم بر هکتار داشته است. اعمال آبیاری بیش از نیاز آبی گیاه منجر به کاهش سه درصدی عملکرد نسبت به آبیاری کامل شده است. نتایج ارائه شده نشان می‌دهد که اعمال بیش-آبیاری سبب کاهش عملکرد دانه می‌شود و هر چه میزان آب داده شده بیش‌تر از نیاز آبی گیاه باشد، کاهش عملکرد بیشتر خواهد بود. IP<sub>4</sub> تیمار کم آبیاری است که اعمال آن سبب کاهش ۸ درصدی عملکرد نسبت به آبیاری کامل شده است و بالاترین عملکرد در بین سایر تیمارهای کم آبیاری را نشان داد. سایر تیمارهای کم آبیاری (IP<sub>5</sub> تا IP<sub>8</sub>) سبب کاهش عملکرد در حدود ۲۴ تا ۶۵ درصد نسبت به آبیاری کامل شده‌اند. در سال دوم انجام آزمایش نیز بیشترین عملکرد کلزا، تحت سطح آبیاری IP<sub>1</sub> حاصل شد. میزان عملکرد دانه در این سطح آبیاری برابر با ۴۱۴۹ کیلوگرم بر هکتار به دست آمد. تحت تیمارهای آبیاری IP<sub>2</sub> و IP<sub>3</sub> عملکرد دانه به ترتیب برابر با ۳۵۸۹ و ۳۹۳۸ کیلوگرم بر هکتار می‌باشد که به ترتیب سبب کاهش ۱۳/۵ و

میزان ۹۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد (نور قلی‌پور و همکاران، ۱۳۹۳). مقدار بذر کاربردی مطابق استاندارد و توصیه، شش کیلوگرم در هکتار اعمال شد. وجین علف هرز در کلیه تیمارها و در مراحل مختلف رشد صورت گرفت. برای ثبت عملکرد دانه، به دلیل اینکه اندام هوایی بوته‌های کلزا به علت نحوه رشد در هم تداخل می‌کنند، هنگام برداشت امکان جدا کردن آن‌ها از هم وجود نداشت. لذا برای انجام یادداشت برداری عملکرد دانه، کل کرت برداشت شد. یکی از پارامترهای مهم جهت ارزیابی، بهره‌وری آب می‌باشد. بهره‌وری آب به مقدار عملکرد یا ارزش عملکرد گفته می‌شود که به ازای واحد حجم آب مصرفی به دست می‌آید. اگر مقدار آبیاری و بارش به عنوان آب مورد استفاده گیاه در نظر گرفته شود، بهره‌وری مصرف آب با  $WP_{I+P_e}$  نشان داده شده و به صورت رابطه (۲) تعریف می‌گردد (زاهدپور یگانه و همکاران، ۱۳۹۶):

$$WP_{I+P_e} = \frac{Y}{I + P_e} \quad (2)$$

که در آن I و P<sub>e</sub> به ترتیب مقدار آبیاری و بارندگی مؤثر در طول فصل رشد (مترمکعب در هکتار) و Y وزن خشک اندام هوایی گیاه یا مقدار محصول قابل عرضه به بازار (کیلوگرم در هکتار) بوده که در مورد کلزا، وزن دانه در نظر گرفته شد. باران مؤثر به صورت بخشی از باران بوده و با استفاده از رابطه پیشنهادی ASCE محاسبه گردید.

$$P_e = (1.25P_t^{0.8242} - 2.935) \times 10^{ET_c \times 0.00095} \quad (3)$$

که در این رابطه P<sub>e</sub> باران مؤثر (میلی‌متر)، P<sub>t</sub> بارندگی ماهانه (میلی‌متر) و ET<sub>c</sub> نیاز آبی گیاه در ماه مورد نظر (میلی‌متر) می‌باشد. آنالیز اقتصادی نیز بر اساس نسبت سود به هزینه انجام شده محاسبه شد. هزینه‌های انجام شده در این مطالعه شامل هزینه‌های مربوط به سم‌پاشی و کودپاشی، آبیاری، خرید بذر و هزینه‌های کارگری می‌باشد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای MSTATC و اکسل استفاده شد. برتری میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون دانکن بررسی شد.

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه، بهره‌وری آب و سود برای دو سال آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به

کم آبیاری سبب کاهش عملکرد به میزان ۲۰/۵ تا ۶۷ درصد شده‌اند. با توجه به نتایج به دست آمده، مشاهده می‌شود که کم-آبیاری و بیش آبیاری سبب کاهش عملکرد دانه در کلزا می‌شود.

پنج درصدی عملکرد نسبت به آبیاری کامل شده است. تیمار آبیاری IP<sub>4</sub> عملکردی برابر با ۳۷۱۸ کیلوگرم بر هکتار دارد و در گروه آماری C قرار گرفته است. با اعمال تیمار IP<sub>4</sub> عملکرد دانه ۱۰ درصد نسبت به تیمار IP<sub>1</sub> کاهش می‌یابد. سایر تیمارهای

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه کلزا (تیمار: سطوح آبیاری و ارقام کلزا)

میانگین مربعات		عملکرد دانه	درجه آزادی	منابع تغییرات
سود	بهره‌وری			
.۰/۱۱**	.۰/۰۷**	۳۷۶/۵۸**	۱	سال
.۰/۷۹**	.۰/۳۱**	۱۵۸۹۲/۰۵**	۷	مقدار آبیاری
.۰/۰۱**	.۰/۰۶۶**	۷۱۱/۲۹**	۲	ارقام کلزا
.۰/۰۰۲**	.۰/۰۰۲**	۲۳/۹۵**	۱۴	مقدار آبیاری × ارقام کلزا
.۰/۰۰۶	.۰/۰۰۴	۲۵/۵۲	۶۴	خطا
۸/۱۱	۶/۰۷	۵/۱	-	درصد ضریب تغییرات

\*\* معنی داری در سطح یک درصد، \* معنی داری در سطح پنج درصد و ns معنی دار نبودن را بیان می‌کند.

و سپس T<sub>3</sub> به ترتیب با عملکرد برابر با ۴۱۳۵ و ۳۸۵۲ کیلوگرم بر هکتار حاصل شد. در تیمار آبیاری IP<sub>2</sub>، بیشترین و کمترین عملکرد محصول به ترتیب مربوط به T<sub>1</sub> و T<sub>3</sub> می‌باشد. با اعمال تنش آبی و در تیمار آبیاری IP<sub>4</sub> نیز بیشترین و کمترین عملکرد محصول به ترتیب مربوط به T<sub>1</sub> و T<sub>3</sub> می‌باشد. تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی (IP<sub>8</sub>) در تمامی ارقام کلزا پایین‌ترین عملکرد را ارائه نموده است که با توجه به مقایسه میانگین به روش دانکن این سه تیمار در یک گروه آماری قرار گرفتند. نتایج فوق نشان می‌دهد که هیبرید T<sub>1</sub> در مقایسه با دو هیبرید دیگر مقاوم‌تر می‌باشد.

### بهره‌وری آب

مقادیر بهره‌وری آب در دو سال انجام آزمایش، مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت (جدول ۳). با مقایسه مقادیر مربوط به بهره‌وری آب مشاهده می‌شود که بیشترین میزان بهره‌وری آب مربوط به تیمار IP<sub>3</sub> می‌باشد. تیمارهای IP<sub>1</sub> و IP<sub>2</sub> به علت مصرف آب بالاتر و تولید کمتر محصول، بهره‌وری آب پایین‌تری دارند. از بین تیمارهای کم آبیاری تنها می‌توان تیمار IP<sub>4</sub> به سبب ارائه بالاترین عملکرد و بهره‌وری آب، در بین سایر تیمارهای کم آبیاری معرفی نمود. با مقایسه مقادیر مربوط به بهره‌وری آب در سال دوم، بیشترین میزان بهره‌وری آب نیز مربوط به تیمار IP<sub>3</sub> می‌باشد. همانند سال اول انجام آزمایش،

در سال دوم انجام آزمایش نیز بیشترین عملکرد کلزا، تحت سطح آبیاری IP<sub>1</sub> حاصل شد. میزان عملکرد دانه در این سطح آبیاری برابر با ۴۱۴۹ کیلوگرم بر هکتار به دست آمد. تحت تیمارهای آبیاری IP<sub>2</sub> و IP<sub>3</sub> عملکرد دانه به ترتیب برابر با ۳۵۸۹ و ۳۹۳۸ کیلوگرم بر هکتار می‌باشد که به ترتیب سبب کاهش ۱۳/۵ و پنج درصدی عملکرد نسبت به آبیاری کامل شده است. تیمار آبیاری IP<sub>4</sub> عملکردی برابر با ۳۷۱۸ کیلوگرم بر هکتار دارد و در گروه آماری C قرار گرفته است. با اعمال تیمار IP<sub>4</sub> عملکرد دانه ۱۰ درصد نسبت به تیمار IP<sub>1</sub> کاهش می‌یابد. سایر تیمارهای کم آبیاری سبب کاهش عملکرد به میزان ۲۰/۵ تا ۶۷ درصد شده‌اند. با توجه به نتایج به دست آمده، مشاهده می‌شود که کم آبیاری و بیش آبیاری سبب کاهش عملکرد دانه در کلزا می‌شود. در صورت اعمال کم آبیاری نیز این مقدار نباید از ۹۰ درصد نیاز آبی گیاه (تیمار IP<sub>4</sub>) کمتر شود زیرا گیاه کلزا به تنش‌های شدید خشکی حساس است. فرناندا درسر و همکاران در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که گیاه کلزا به تنش آبی به شدت حساس است (Fernanda Dreccer et al., 2018). نتایج تأثیر متقابل آبیاری و ارقام کلزا در جدول ۴ ارائه شده است. با بررسی نتایج ارائه شده در جدول ۴، مشاهده می‌شود که بیشترین عملکرد کلزا تحت سطح آبیاری IP<sub>1</sub>، در هیبرید T<sub>1</sub> و برابر ۴۴۵۳ کیلوگرم بر هکتار می‌باشد. تحت عمق آبیاری مذکور، بیشترین عملکرد بعد از هیبرید T<sub>1</sub>، مربوط به هیبرید T<sub>2</sub>

می‌باشد. چنانچه ذکر شد، T<sub>2</sub> هیبرید بهینه کلزا در تمامی سطوح آبیاری است. در سطح آبیاری IP<sub>3</sub> هیبرید T<sub>2</sub> با سود برابر ۱۲/۲۰ میلیون ریال، در سطح آبیاری IP<sub>2</sub> هیبرید T<sub>2</sub> با سود برابر ۹/۳۰ میلیون ریال، در سطح آبیاری IP<sub>1</sub> هیبرید T<sub>2</sub> با سود برابر ۱۰/۶۰ میلیون ریال ارقام بهینه می‌باشند. تحت سطوح کم‌آبیاری، تیمار IP<sub>4</sub> هیبرید T<sub>2</sub> با سود برابر ۱۱/۵۰ میلیون ریال، در سطح آبیاری IP<sub>5</sub> هیبرید T<sub>2</sub> با سود برابر ۱۱/۳۰ میلیون ریال، در سطح آبیاری IP<sub>6</sub> هیبرید T<sub>2</sub> با سود برابر ۹/۸۰ میلیون ریال، در سطح آبیاری IP<sub>7</sub> هیبرید T<sub>2</sub> با سود برابر ۸/۲۰ میلیون ریال و در سطح آبیاری IP<sub>8</sub> هیبرید T<sub>2</sub> با سود برابر ۵/۶۰ میلیون ریال، هیبریدهای بهینه می‌باشند. برای سال دوم، در سطح آبیاری IP<sub>3</sub> هیبرید T<sub>1</sub> با سود برابر ۱۲/۶۰ میلیون ریال، در سطح آبیاری IP<sub>2</sub> هیبرید T<sub>1</sub> با سود برابر ۹/۱۰ میلیون ریال، در سطح آبیاری IP<sub>1</sub> هیبرید T<sub>1</sub> با سود برابر ۱۰/۱۰ میلیون ریال ارقام بهینه می‌باشند. تحت سطوح کم-آبیاری، تیمار IP<sub>4</sub>، هیبرید T<sub>1</sub> با سود برابر ۱۲/۳۰ میلیون ریال، در سطح آبیاری IP<sub>5</sub> هیبرید T<sub>1</sub> با سود برابر ۱۲/۲۰ میلیون ریال، در سطح آبیاری IP<sub>6</sub> هیبرید T<sub>1</sub> با سود برابر ۱۲/۴۰ میلیون ریال، در سطح آبیاری IP<sub>7</sub> هیبرید T<sub>1</sub> با سود برابر ۱۰/۶۰ میلیون ریال و در سطح آبیاری IP<sub>8</sub> هیبریدهای T<sub>1</sub> و T<sub>2</sub> مشترک با سود برابر ۴/۸۰ میلیون ریال ارقام بهینه می‌باشند. مطابق نتایج متقابل آبیاری و ارقام کلزا (جدول ۴)، مشاهده می‌شود که بیشترین عملکرد کلزا تحت سطح آبیاری IP<sub>3</sub>، در هیبرید T<sub>2</sub> و برابر ۴۳۵۲ کیلوگرم بر هکتار می‌باشد. تحت عمق آبیاری مذکور، بیشترین عملکرد بعد از هیبرید T<sub>2</sub>، مربوط به T<sub>3</sub> و سپس T<sub>1</sub> با عملکرد برابر ۴۱۶۰ و ۳۸۶۰ کیلوگرم بر هکتار می‌باشد. در تیمار آبیاری IP<sub>2</sub>، بیشترین و کمترین عملکرد به ترتیب مربوط به T<sub>2</sub> و T<sub>1</sub> با ۴۰۳۲ و ۳۵۱۲ کیلوگرم بر هکتار می‌باشد. با اعمال تنش آبی و در تیمار آبیاری IP<sub>4</sub> نیز بیشترین و کمترین عملکرد محصول به ترتیب مربوط به T<sub>2</sub> و T<sub>1</sub> می‌باشد. تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی (IP<sub>8</sub>) در تمامی ارقام کلزا پایین-ترین عملکرد را ارائه نموده است که با توجه به مقایسه میانگین به روش دانکن این سه تیمار در یک گروه آماری قرار گرفتند. نتایج فوق نشان می‌دهد که هیبرید T<sub>2</sub> در مقایسه با دو هیبرید دیگر، به کم‌آبیاری یا بیش‌آبیاری مقاوم می‌باشد. در حالت کلی اعمال کم‌آبیاری یا بیش‌آبیاری منجر به کاهش عملکرد در

تیمارهای IP<sub>1</sub> و IP<sub>2</sub> به علت مصرف آب بالاتر و تولید کمتر محصول، بهره‌وری آب پایین‌تری دارند. تیمارهای IP<sub>4</sub>، IP<sub>5</sub>، IP<sub>6</sub> و IP<sub>7</sub> در یک گروه آماری قرار گرفته‌اند اما میزان عملکرد در تیمارهای IP<sub>5</sub> تا IP<sub>7</sub> پایین می‌باشد. با توجه به نتایج ارائه‌شده در جدول ۴، مشاهده شد که هیبرید T<sub>2</sub> در سال اول انجام آزمایش و هیبرید T<sub>1</sub> در سال دوم انجام آزمایش بیشترین بهره‌وری را داشته‌اند. همچنین تیمارهای IP<sub>3</sub>T<sub>2</sub>، IP<sub>3</sub>T<sub>3</sub> و IP<sub>5</sub>T<sub>2</sub> به لحاظ بهره‌وری در یک گروه آماری قرار گرفته‌اند؛ اما عملکرد در سه تیمار مذکور به ترتیب برابر با ۴۳۵۲، ۴۱۶۰ و ۳۳۸۸ کیلوگرم بر هکتار می‌باشد. به‌علاوه تیمارهای IP<sub>6</sub>T<sub>2</sub> و IP<sub>6</sub>T<sub>3</sub> نیز به لحاظ بهره‌وری با تیمار IP<sub>3</sub>T<sub>1</sub> در یک گروه آماری قرار گرفته‌اند اما تیمارهای مذکور به لحاظ میزان عملکرد در گروه‌های آماری متفاوت قرار گرفته‌اند.

جدول ۳- مقایسه میانگین تأثیر مقدار آبیاری و ارقام کلزا بر عملکرد دانه، بهره‌وری آب و سود

تیمار	عملکرد دانه		بهره‌وری آب		سود	
	(کیلوگرم بر هکتار)	(کیلوگرم بر هکتار)	(کیلوگرم بر مترمکعب)	(کیلوگرم بر مترمکعب)	(میلیون ریال)	(میلیون ریال)
	سال اول آزمایش			سال دوم آزمایش		
IP <sub>1</sub>	۳۹۹۷b	۳۹۳۸b	۰/۹۸b	۰/۹۷b	۱۰/۰۰c	۹/۸۰c
IP <sub>2</sub>	۳۵۵۱d	۳۵۸۹d	۰/۸۶d	۰/۸۱c	۸/۶۰e	۸/۰۰d
IP <sub>3</sub>	۴۱۲۴a	۴۱۴۹a	۱/۱۱a	۱/۱۲a	۱۱/۵۰a	۱۱/۶۰a
IP <sub>4</sub>	۳۷۹۹c	۳۷۱۸c	۱/۰۷b	۱/۱۲a	۱۰/۶۰	۱۱/۲۰b
IP <sub>5</sub>	۳۱۲۵e	۳۲۹۵e	۱/۰۵b	۱/۱۱a	۱۰/۲۰	۱۰/۹۰bc
IP <sub>6</sub>	۲۶۱۹f	۲۹۶۶f	۱/۰۱b	۱/۱۵a	۹/۲۰d	۱۱/۰۰b
IP <sub>7</sub>	۱۹۹۲g	۲۴۴۰g	۰/۹۰c	۱/۱۰a	۷/۳۰f	۹/۸۰c
IP <sub>8</sub>	۱۴۴۹h	۱۳۸۱h	۰/۷۸e	۰/۷۵d	۵/۲۰g	۴/۷۰e

### تحلیل سود

نتایج حاصل از سود آبیاری کامل، بیش‌آبیاری و کم‌آبیاری گیاه کلزا در جدول ۳ ارائه‌شده است. با توجه به نتایج ارائه‌شده در این جدول مشاهده می‌شود که سود در آبیاری کامل در بالاترین حد خود قرار دارد. اعمال بیش‌آبیاری به علت افزایش هزینه‌ها و نیز کاهش عملکرد گیاه نسبت به آبیاری کامل، سبب کاهش سود شده است. سود حاصل از اعمال کم‌آبیاری در تیمار IP<sub>4</sub>، در رده دوم پس از آبیاری کامل قرار دارد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در صورت اعمال کم‌آبیاری به روش IP، تیمار IP<sub>4</sub> (آبیاری به میزان ۹۰ درصد آبیاری کامل) مناسب‌ترین تیمار

تمامی ارقام کلزا شده است و همان گونه که ذکر شد بهترین تیمار آبیاری، تیمار IP<sub>3</sub> می باشد.

### توابع تولید و بهره‌وری

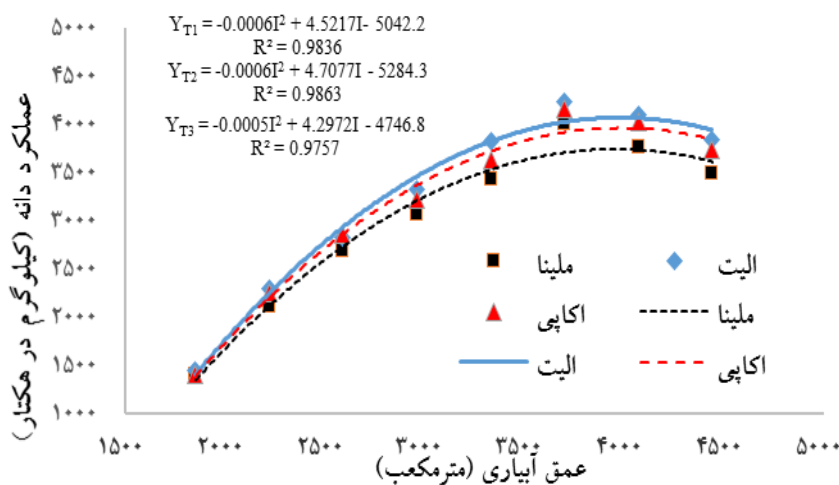
چنانچه ذکر شد، T<sub>2</sub> هیبرید بهینه کلزا در تمامی سطوح آبیاری در سال اول کشت می باشد. در سال دوم کشت هیبرید T<sub>1</sub> بهترین عملکرد را ارائه نموده است. با توجه به اینکه در کشت ارقام کلزا تمامی فاکتورهای مؤثر بر کشت در هر دو سال یکسان بود تنها عامل مورد تغییر شرایط آب و هوایی در سال دوم می باشد. در سال دوم انجام آزمایش حداقل دما در دی ماه و برابر منفی چهار درجه سانتی گراد بود. در سال اول آزمایش نیز حداقل دما در دی ماه و برابر منفی شش درجه سانتی گراد بود؛ بنابراین حداقل دما در سال دوم بیشتر می باشد. حداکثر دما در سال اول و دوم انجام آزمایش به ترتیب برابر ۳۴/۴۵ و ۳۶/۹۵ درجه سانتی گراد و در مردادماه می باشد که نشان می دهد دما در سال دوم انجام آزمایش گرم تر می باشد. حداقل رطوبت در سال دوم انجام آزمایش برابر ۲۴ درصد و در سال اول برابر ۲۶/۶۳ درصد می باشد. حداکثر رطوبت در سال دوم برابر ۸۹/۶۱ درصد و در سال اول برابر ۹۲/۱۳ درصد می باشد. به علاوه در سال دوم انجام آزمایش، تشعشع دریافتی به میزان ۳ درصد افزایش یافته است. در حالت کلی می توان نتیجه گرفت که سال دوم به لحاظ شرایط دمایی گرم تر از سال اول می باشد و این امر سبب افزایش عملکرد هیبرید T<sub>1</sub> نسبت به سایر ارقام شده است. فروغی آینه ده و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه خود که در طی دو سال زراعی ۹۴-۹۳ و ۹۴-۹۵ صورت گرفته است به این نتیجه رسیدند که افزایش دما و تشعشعات خورشیدی سبب افزایش عملکرد ارقام کلزا شده است. این محققان با مقایسه تشعشع دریافتی (مگا ژول بر مترمربع در روز) بهار ۹۴ و بهار ۹۵ نشان دادند که مقدار تشعشع دریافتی فروردین، اردیبهشت و خرداد ۹۴ از سال ۹۵ بیش تر بوده است. در حالت کلی نیز میزان تشعشع دریافتی از فروردین به خرداد افزایش یافته است. با توجه به نتایج به دست آمده، مشاهده می شود که کم آبیاری و بیش آبیاری سبب نمود. نتایج مذکور به صورت نقطه ای و برای تمامی نقاط، ارائه گردید؛ اما به منظور تحلیل اقتصادی، نیاز به تابعی پیوسته می باشد تا اثر عمق آبیاری در بازه ای از عمق آبیاری، بررسی گردد. برای این منظور توابع تولید محصول استخراج گردید. تابع

کاهش عملکرد دانه در کلزا می شود و مناسب ترین حالت برای این گیاه آبیاری کامل می باشد. محتشمی و همکاران در مطالعه خود اهمیت اعمال آبیاری تکمیلی و استفاده از سلنیوم در بهره وری آب در گیاه کلزا را بررسی نمودند. برای این منظور چهار تیمار آبیاری شامل: عدم آبیاری، آبیاری در مرحله گلدهی، آبیاری در مرحله پر شدن دانه و آبیاری در مراحل گلدهی و پر شدن دانه اعمال کرده و به این نتیجه رسیدند که بالاترین بهره وری آب زمانی صورت گرفته است که آبیاری در مراحل پر شدن دانه و گلدهی صورت گرفته است (Mohtashami et al., 2020). دوگان و همکاران نیز در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که برای دستیابی به حالت بهینه عملکرد کلزا انجام آبیاری کامل نیاز است (Dogan et al., 2011). در صورت اعمال کم آبیاری نیز این مقدار نباید از ۹۰ درصد نیاز آبی گیاه (تیمار IP<sub>4</sub>) کمتر شود زیرا گیاه کلزا به تنش های شدید خشکی حساس است. غفاری مقدم و فنایی (۱۳۹۵) چهار نوع تابع تولید شامل درجه دوم، ترانسلوگ، لئونتیف و کاب داگلاس را مورد بررسی قرار دادند که تابع درجه دوم بهترین فرم تابع شناخته شد. با توجه به نتایج تابع تولید درجه دوم تعمیم یافته در محصول کلزا، ابتدا با افزایش آب مصرفی، عملکرد افزایش یافته و در یک نقطه عملکرد به بیشینه مقدار خود رسید و سپس با افزایش مقدار آب عملکرد کاهش یافت. این محققان معتقدند که در حالت کلی، افزایش آب مصرفی و کود پتاسیم باعث افزایش عملکرد در محصول کلزا می شود. گاناسکرا و همکاران نیز در مطالعه خود به این نتیجه رسیده اند که گیاه کلزا به تنش خشکی حساس است و با کاهش میزان آب از عملکرد آن نیز کاسته می شود (Gunasekera et al., 2003). نکته قابل توجه این است که با افزایش دمای هوا میزان عملکرد در تمامی ارقام افزایش می یابد. به علاوه عملکرد هیبرید T<sub>1</sub> به شدت وابسته به میزان دما و تشعشع دریافتی است به گونه ای که این هیبرید در سال اول که میزان تشعشعات دریافتی و دمای هوا پایین تر بود کمترین عملکرد را ارائه نمود؛ اما با افزایش دما و تشعشعات در سال دوم، این هیبرید بالاترین عملکرد را ارائه نشان داد. توابع تولید متوسط دوساله عملکرد ارقام مختلف کلزا و روابط آن ها در شکل ۲ ارائه گردیده است.

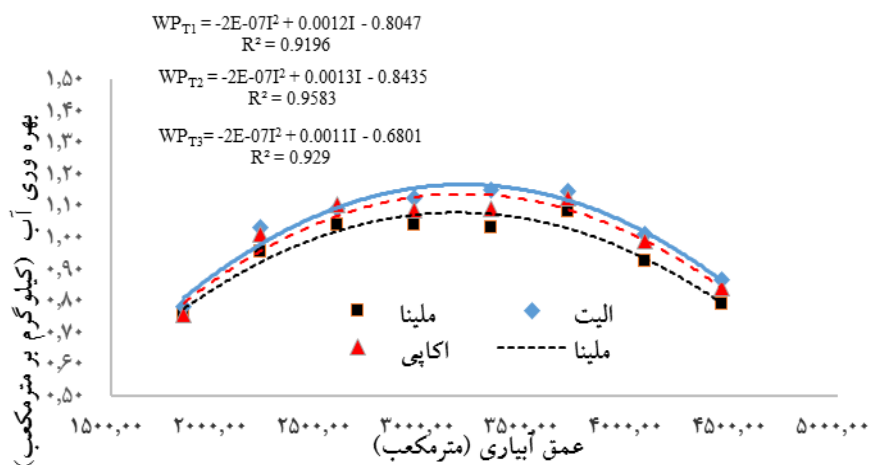


شدید، کم و با افزایش مقدار آب، افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد و به‌طور کلی اعمال کم‌آبیاری باعث افزایش بهره‌وری آب شده است. هیبرید T<sub>2</sub> با ضریب R<sup>2</sup> برابر با ۰/۹۵۸ همبستگی بالاتری نسبت به دو هیبرید دیگر ارائه نمود. روند تغییرات بهره‌وری برای ارقام مختلف در سطوح آبیاری مختلف، به‌صورت شکل ۳ می‌باشد. با توجه به شکل ۳، مقدار بهره‌وری از هیبرید T<sub>1</sub> تا T<sub>3</sub> تغییرات اندکی نسبت به همدیگر دارند. بر اساس شکل ۳، حداقل بهره‌وری در سطح آبیاری IP<sub>8</sub> به‌دست‌آمده است. به‌طور کلی بهره‌وری در تیمارهای IP<sub>3</sub>، IP<sub>4</sub>، IP<sub>5</sub> و IP<sub>6</sub> افزایش قابل‌ملاحظه‌ای نسبت به سایر تیمارها داشته است. متوسط بهره‌وری آب در تیمارهای IP<sub>3</sub>، IP<sub>4</sub>، IP<sub>5</sub> و IP<sub>6</sub> به ترتیب برابر با ۱/۱۲، ۱/۰۹، ۱/۰۸ و ۱/۰۸ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. در حالت کلی هیبرید T<sub>2</sub> بهره‌وری بالاتری نسبت به سایر ارقام دارد.

برای استخراج توابع بهره‌وری فیزیکی آب در ارقام کلزا تابع برازش غیرخطی درجه دوم، انطباق قابل قبولی بر داده‌ها نشان داد. توابع بهره‌وری متوسط دوساله مستخرج برای ارقام مختلف به همراه تابع و ضریب تبیین، در شکل ۳ ارائه شده است. با توجه به شکل ۳، مقدار بهره‌وری آب در شرایط تنش شدید، کم و با افزایش مقدار آب، افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد و به‌طور کلی اعمال کم‌آبیاری باعث افزایش بهره‌وری آب شده است. هیبرید T<sub>2</sub> با ضریب R<sup>2</sup> برابر با ۰/۹۵۸ همبستگی بالاتری نسبت به دو هیبرید دیگر ارائه نمود. روند تغییرات بهره‌وری برای ارقام مختلف در سطوح آبیاری مختلف، به‌صورت شکل ۳ می‌باشد. برای استخراج توابع بهره‌وری فیزیکی آب در ارقام کلزا تابع برازش غیرخطی درجه دوم، انطباق قابل قبولی بر داده‌ها نشان داد. توابع بهره‌وری متوسط دوساله مستخرج برای ارقام مختلف به همراه تابع و ضریب تبیین، در شکل ۳ ارائه شده است. با توجه به شکل ۳، مقدار بهره‌وری آب در شرایط تنش



شکل ۲- توابع تولید ارقام مختلف (T<sub>1</sub> تا T<sub>3</sub>) کلزا نسبت به عمق آبیاری



شکل ۳- توابع بهره‌وری آب ارقام مختلف کلزا (T<sub>1</sub> تا T<sub>3</sub>)

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل مقدار آب و ارقام کلزا بر پارامترهای مورد مطالعه

سال دوم			سال اول			تیمار
سود (میلیون ریال)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)	سود (میلیون ریال)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)	
۱۰/۹۰c	۱/۰۵c	۴۲۷۳ab	۹/۳۰d	۰/۹۳c	۳۷۷۲e	IP <sub>1</sub> T <sub>1</sub>
۱۰/۱۰c	-/۹۹d	۴۰۱۹c	۱۰/۶۰c	۱/۰۳b	۴۱۹۶b	IP <sub>1</sub> T <sub>2</sub>
۸/۵۰e	-/۸۷e	۳۵۲۱f	۱۰/۱۰c	۰/۹۹c	۴۰۳۴c	IP <sub>1</sub> T <sub>3</sub>
۱۲/۶۰a	۱/۲۰a	۴۴۵۳a	۱۰/۶۰c	۱/۰۴b	۳۸۶۰d	IP <sub>3</sub> T <sub>1</sub>
۱۱/۵۰b	۱/۱۲b	۴۱۳۵b	۱۲/۲۰a	۱/۱۸a	۴۳۵۲a	IP <sub>3</sub> T <sub>2</sub>
۱۰/۶۰c	۱/۰۴c	۳۸۵۳d	۱۱/۶۰b	۱/۱۲a	۴۱۶۰b	IP <sub>3</sub> T <sub>3</sub>
۹/۱۰d	-/۸۹e	۳۹۷۳e	۷/۷۰f	۰/۷۹e	۳۵۱۲f	IP <sub>2</sub> T <sub>1</sub>
۸/۲۰e	-/۸۲e	۳۶۴۷f	۹/۳۰d	۰/۹۱c	۴۰۳۲c	IP <sub>2</sub> T <sub>2</sub>
۶/۷۰g	-/۷۱f	۳۱۴۸g	۸/۷۰e	۰/۸۷d	۳۸۵۲d	IP <sub>2</sub> T <sub>3</sub>
۱۲/۳۰a	۱/۲۰a	۳۹۹۶e	۹/۵۰d	۰/۹۸c	۳۲۶۴i	IP <sub>4</sub> T <sub>1</sub>
۱۱/۹۰b	۱/۱۷b	۳۸۸۹d	۱۱/۵۰b	۱/۱۳a	۳۷۷۶e	IP <sub>4</sub> T <sub>2</sub>
۹/۶۰d	-/۹۸d	۳۲۶۹g	۱۰/۹۰c	۱/۰۹b	۳۶۱۲f	IP <sub>4</sub> T <sub>3</sub>
۱۲/۲۰a	۱/۲۲a	۳۶۰۳e	۹/۰۰d	۰/۹۶c	۲۸۴۰j	IP <sub>5</sub> T <sub>1</sub>
۱۰/۸۰c	۱/۱۰b	۳۲۷۶g	۱۱/۳۰b	۱/۱۵a	۳۳۸۸g	IP <sub>5</sub> T <sub>2</sub>
۹/۷۰d	۱/۰۲c	۳۰۰۵hf	۱۰/۳۰c	۱/۰۶b	۳۱۴۸h	IP <sub>5</sub> T <sub>3</sub>
۱۲/۴۰a	۱/۲۶a	۳۲۵۹g	۸/۵۰e	۰/۹۵c	۲۴۵۶k	IP <sub>6</sub> T <sub>1</sub>
۱۰/۸۰c	۱/۱۳b	۳۹۲۹h	۹/۸۰d	۱/۰۵b	۲۷۳۴j	IP <sub>6</sub> T <sub>2</sub>
۹/۷۰d	۱/۰۵c	۳۷۰۹hi	۹/۶۰d	۱/۰۳b	۲۶۷۶j	IP <sub>6</sub> T <sub>3</sub>
۱۰/۶۰c	۱/۱۶b	۲۵۶۵i	۶/۹۰g	۰/۸۷d	۱۹۲۰v	IP <sub>7</sub> T <sub>1</sub>
۹/۸۰d	۱/۱۰b	۲۴۳۳s	۸/۲۰e	۰/۹۷c	۲۱۴۴k	IP <sub>7</sub> T <sub>2</sub>
۹/۲۰d	۱/۰۵c	۲۳۲۳s	۶/۹۰g	۰/۸۶d	۱۹۱۲v	IP <sub>7</sub> T <sub>3</sub>
۴/۸۰i	-/۷۵f	۱۳۹۲w	۴/۹۰i	۰/۷۶e	۱۴۰۴w	IP <sub>8</sub> T <sub>1</sub>
۴/۸۰i	-/۷۵f	۱۳۸۷w	۵/۶۰h	۰/۸۲d	۱۵۱۲w	IP <sub>8</sub> T <sub>2</sub>
۴/۶۰i	-/۷۴f	۱۳۶۵w	۵/۱۰h	۰/۷۷e	۱۴۳۲w	IP <sub>8</sub> T <sub>3</sub>

## رهیافت ترویجی

با هدف حداکثر سازی عملکرد در واحد سطح، کم آبیاری پیشنهاد نمی‌شود. تیمار آبیاری IP<sub>3</sub> تیمار برتر می‌باشد. با هدف عملکرد در واحد سطح IP<sub>3</sub>، هیبرید T<sub>2</sub> در سال اول با عملکرد ۴۳۵۲ کیلوگرم بر هکتار و مقدار سود برابر با ۱۲/۲۰ میلیون ریال و هیبرید T<sub>1</sub> در سال دوم با عملکرد ۴۴۵۳ کیلوگرم بر هکتار و مقدار سود برابر با ۱۲/۶۰ میلیون ریال می‌باشند. بهره‌وری آب در این شرایط و برای ارقام مذکور برابر ۱/۱۸ و ۱/۲۰ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. با هدف حداکثر سازی بهره‌وری آب، حداکثر بهره‌وری آب در شرایط کم آبیاری به دست آمد. حداکثر بهره‌وری در ارقام T<sub>2</sub> و T<sub>1</sub> به ترتیب در سال‌های اول و دوم برابر با ۱/۱۸ و ۱/۲۰ در تیمار آبیاری به ترتیب در تیمارهای IP<sub>3</sub> در سال اول و در تیمارهای IP<sub>3</sub> و IP<sub>4</sub> در سال دوم به دست آمد. در حالت کلی می‌توان نتیجه گرفت که در گیاه کلزا و در خصوص نیاز به اعمال کم آبیاری از تیمار ۹۰ درصد نیاز خالص آبیاری می‌توان استفاده نمود. در حالتی که نیاز به اعمال کم آبیاری نباشد آبیاری برابر ۱۰۰ نیاز خالص آبیاری توصیه می‌شود. نتایج مقایسه عملکرد دانه تحت اثر ارقام کلزا نشان داد که هیبریدهای T<sub>1</sub> و T<sub>2</sub> در یک گروه آماری قرار دارند و در صورت کشت، عملکردهای نزدیک به هم خواهند داشت.

## مراجع

- زاهدپور یگانه، ح.، رضوردی‌نژاد، و. و دهقانی‌سانج، ح. ۱۳۹۶. ارزیابی بازده کاربرد و بهره‌وری سامانه‌های آبیاری سطحی در مزارع منطقه نازلوچای، دشت ارومیه. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۴ (۳۱): ۶۸۵-۶۹۸.
- شریفی جهان تیغ، غ. و عباسی، م. ۱۳۸۸. کلزای علوفه‌ای. عشق دانش، چاپ دوم، ۴۱ صفحه.
- غفاری مقدم، ز. و فنایی، ح. ۱۳۹۵. تحلیل اقتصادی توابع تولید برای کلزا و خردل در شرایط کم آبیاری در منطقه سیستان. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۰ (۳): ۳۴۷-۳۵۹.
- فرشی، ع. ا. ۱۳۷۷. برآورد آب موردنیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور (گیاهان زراعی). آموزش کشاورزی وابسته به دفتر خدمات تکنولوژی آموزشی وزارت جهاد کشاورزی. جلد اول، ۹۱۸ صفحه.
- فروغی آینه ده، ع.، بیابانی، ع.، راحمی کاربزیکی، ع. و رسام، ق. ۱۳۹۸. بررسی خصوصیات فیزیولوژیک مؤثر بر بهبود عملکرد ارقام کلزا. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۷ (۱): ۷۳-۵۳.
- نور قلی‌پور، ف.، رضایی، ح.، میرزا شاهی، ک.، حقیقت‌نیا، ح.، رمضانپور، م.، ارزانش، م. ح.، اسدی رحمانی، ه.، میرزاپور، م. ه.، افصلی، م.، طهرانی، م. م.، نبی غیبی، م. ۱۳۹۳. دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه کلزا. وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات خاک و آب. چاپ اول، ۸۸ صفحه.
- Djaman, K., O'Neill, M., Owen, C., Smeal, D., West, M., Begay, D., Angadi, S.V., Koudahe, K., Allen, S. & Lombard, K. 2018. Seed Yield and Water Productivity of Irrigated Winter Canola (*Brassica napus* L.) under Semiarid Climate and High Elevation. *Agronomy*. 8(6): 90.
- Dogan, E., Copur, O., Kahraman, A., Kirnak, H. & Guldur, ME. 2011. Supplemental irrigation effect on canola yield components under semiarid climatic conditions. *Agricultural Water Management*. 98(9): 1403-1408.
- Faraji, A., Latifi, N., Soltani, A. & Rad, AHS. 2009. Seed yield and water use efficiency of canola (*Brassica napus* L.) as affected by high temperature stress and supplemental irrigation. *Agricultural Water Management*. 96(1): 132-140.
- Gunasekera, CP., Martin, LD., French, RJ., Siddique, KH. & Walton, GH. 2003. Effects of water stress on water relations and yield of Indian mustard (*Brassica juncea* L.) and canola (*Brassica napus* L.). In Proceedings of the 11th Annual Agronomy Conference.
- Hergert, GW., Margheim, JF., Pavlista, AD., Martin, DL., Supalla, RJ. & Isbell, TA. 2016. Yield, irrigation response, and water productivity of deficit to fully irrigated spring canola. *Agricultural Water Management*. 168: 96-103.
- Kamkar, B., Daneshmand, AR., Ghooshchi, F., Shiranirad, AH. & Langeroudi, AS. 2011. The effects of irrigation regimes and nitrogen rates on some agronomic traits of canola under a semiarid environment. *Agricultural Water Management*. 98(6): 1005-12.
- Pavlista, AD., Hergert, GW., Margheim, JM. & Isbell, TA. 2016. Growth of spring canola (*Brassica napus*) under deficit irrigation in Western Nebraska. *Industrial Crops and Products*. 83: 635-4

## Determination of Yield and Water Productivity Functions of Common Hybrids of Canola (Case Study of Miandoab City)

M. Rahimi<sup>1</sup>, V. Rezaverdinejad<sup>2\*</sup> and H. Tayefe Rezaie<sup>3</sup>

### Abstract

To evaluate the effect of irrigation on seed yield and water productivity of three common canola hybrids including: Okapi (T<sub>1</sub>), Elite (T<sub>2</sub>) and Milena (T<sub>3</sub>) in the strip-plot statistical design with three repeats for 2004-2005 and 2005-2006 a field experiment was conducted in Miandoab agricultural and natural resources research center. To extract production and water productivity functions, eight treatments of different irrigation levels with IP<sub>1</sub> to IP<sub>8</sub> symbols including 120, 110, 100, 90, 80, 80, 70, 60 and 50% of water requirement calculated by the Penman Monteith FAO method was considered. The results showed that the production functions in T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> and T<sub>3</sub> hybrids have a correlation of 0.98, 0.98 and 0.97. By extracting the productivity functions, it was observed that the amount of water productivity decreased under severe stress conditions and increased with increasing water content. If deficit irrigation is required, IP<sub>4</sub> treatment is recommended due to the highest seed yield (average seed yield equal to 3758.5 kg/ha for two years). The results of statistical analysis of studied parameters showed that with 10% reduction in water consumption, benefit decreased 7.83% in the first year and 3.44% in the second year. T<sub>2</sub> and T<sub>1</sub> hybrids had the highest yield in the first and second years, respectively, and the yield was higher in the second year than in the first year. The reason for this is the increase in temperature and more radiation received in the second year. To maximize productivity, IP<sub>4</sub> and T<sub>2</sub> hybrid are recommended.

**Key words:** Basin Irrigation, Benefit, Deficit Irrigation, Phonological Stages of Plant Growth, Seed Yield.

<sup>1</sup> Ph.D. Student in Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor of Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. (\*Corresponding Author, Email: v.verdinejad@urmia.ac.ir)

<sup>3</sup> Instructor of Agricultural and Natural Resources Research Center of West Azerbaijan Province, Urmia, Iran

Received: 10 September 2020

Accepted: 21 October 2020