نشریه علوم آب و خاک
سال بیست و هفتم / شماره دوم / تابستان ۱۴۰۲ / مقاله علمی- پژوهشی: صفحات ۱ تا ۱۸

# ارزیابی عملکرد و بهره‌وری آب کاربردی در سامانه‌های آبیاری سطحی و بارانی کلزا (مطالعه موردی بهبهان)

نادر سلامتی[1*]، منصور معیری[2] و فریبرز عباسی[3]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۸/۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۱۲)

## چکیده

**این پژوهش با هدف مطالعه‌ای میدانی برای پایش مزرعه‌ای آب آبیاری کلزا تحت مدیریت کشاورزان در سال زراعی (۱۳۹۹-۱۳۹۸) در ۲۷ مزرعه شهرستان بهبهان در استان خوزستان انجام شد. نیاز آبی بر اساس مدل فائو پنمن- مانتیث با استفاده از آمار روزانهٔ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک بهبهان محاسبه شد. برای مقایسه آماری نتایج اندازه‌گیری و محاسبه‌شده همانند عمق آب آبیاری و بهره‌وری آب کاربردی در سامانه‌های مختلف آبیاری از آزمون تی استفاده شد. برای بررسی اثرات متغیر مستقل بر پارامتر وابسته بهره‌وری آب از تجزیه و تحلیل رگرسیون چند متغیره خطی استفاده شد. دامنه تغییرات حجم آب کاربردی (آب آبیاری و بارش مؤثر) در مزارع از میزان ۴۰۸۵/۵ الی ۷۸۶۵/۳ مترمکعب در هکتار در نوسان بود. نتایج مقایسه میانگین عملکرد دو سامانه آبیاری در آزمون تی (t-Test) نشان داد دو سامانه بارانی و سطحی به‌ترتیب با عملکردهای ۲۶۱۴ و ۲۳۳۰ کیلوگرم در هکتار اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. بهره‌وری آب کاربردی در مزارع سنتی و مدرن به‌ترتیب معادل ۰/۳۸۶ و ۰/۴۸۶ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه شدند که اختلاف معنی‌داری با هم داشتند. نتایج تجزیه و تحلیل واریانس در مدل رگرسیون نشان داد در بین متغیرهای مستقل، عملکرد با آمارهٔ t به میزان (۲۳/۹۹۷) و ضریب بتایی معادل (۰/۸۸۰)، بیشترین اثر مثبت معنی‌دار در سطح ۱ درصد بر بهره‌وری آب کاربردی داشت و پس از آن حجم آب کاربردی با آمارهٔ t به میزان (۱۱/۷۰۲-) و ضریب بتایی معادل (۰/۷۹۳-) بیشترین اثر منفی و معنی‌دار در سطح ۱ درصد بر بهره‌وری آب کاربردی داشت. نتایج ضریب همبستگی پیرسون نشان داد نوبت‌های آبیاری، همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۵ درصد با صفات حجم آب کاربردی و عملکرد داشتند. این میزان همبستگی به‌ترتیب معادل ۰/۴۵۵ و ۰/۳۸۰ بودند. با بیشترشدن نوبت‌های آبیاری درعمل حجم آب آبیاری کاهش یافته و به اندازهٔ نیاز گیاه نزدیک شده و همین مسئله موجب افزایش بهره‌وری آب شد.**

**واژه‌های کلیدی: آزمونT، ضریب رگرسیون، نوبت‌های آبیاری، نیاز آبی**

۱. بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.
۲. بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی صفی‌آباد دزفول، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، دزفول، ایران.
۳. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: nadersalamati@yahoo.com

## مقدمه

بخش وسیعی از گستره ایران در شرایط آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک واقع شده است. باوجود کمبودهای موجود، کشاورزی ایران به‌شدت به آب آبیاری وابسته است. به‌طوری که آب به‌عنوان مهم‌ترین و محدودکننده‌ترین نهاده تولید کشاورزی در ایران به شمار می‌رود (۲۱). کلزا (*Brassica napus* L.) پس از نخل روغنی و سویا سومین گیاه روغنی یکساله جهان است که به خاطر روغن خوراکی آن کشت شده و به‌راحتی در تناوب با غلات قرار می‌گیرد (۸). بر اساس آمارنامه کشاورزی مربوط به سال زراعی ۱۳۹۷- ۱۳۹۶، سطح زیرکشت کلزا در کشور در اراضی آبی و دیم به‌ترتیب معادل ۱۵۵۶۲۲ و ۳۵۶۲۹ هکتار و عملکرد به‌ترتیب معادل ۱۷۷۷ و ۱۴۹۵ کیلوگرم در هکتار اعلام شد. همچنین، سطح زیرکشت کلزا در استان خوزستان در اراضی آبی و دیم به‌ترتیب معادل ۱۵۴۲۱ و ۲۵۸۵ هکتار و عملکرد به‌ترتیب معادل ۱۹۵۲ و ۴۳۱ کیلوگرم در هکتار اعلام شد (۵). از آن جایی که بیش از ۹۰ درصد روغن مصرفی در ایران از واردات تأمین می‌شود، کشت دانه‌های روغنی در سال‌های اخیر در اولویت قرار گرفته است (۸).

بهره‌وری آب به مقدار محصولی گفته می‌شود که از هر واحد حجم آب آبیاری به‌دست می‌آید (۱). هدف اصلی در بهبود بهره‌وری آب کشاورزی در جهان، افزایش بیشتر محصولات کشاورزی با مصرف آب کمتر است تا از این طریق امکان کاهش سهم آب بخش کشاورزی و تخصیص بیشتر آب به سایر مصارف و از همه مهم‌تر نیاز آبی محیط زیست فراهم آید (۱۱). در واقع می‌توان اذعان داشت، موضوع ارتقای بهره‌وری آب در تولید مواد غذایی از مسائل اساسی در کشورهای مختلف جهان و بخصوص کشورهای کم‌آب نظیر ایران است (۲۰).

در پژوهشی که در استان خراسان رضوی انجام شد میانگین عملکرد، حجم آب آبیاری و بهره‌وری فیزیکی آب کلزا در تمامی مزارع شهرستان‌های استان خراسان رضوی به‌ترتیب ۲۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، ۵۱۰۰ مترمکعب در هکتار و ۰/۴۱ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه شدند (۱۰). در یک پژوهش، برخی فناوری‌های به‌زراعی مانند تغییر روش‌های خاک‌ورزی، اصلاح ابعاد کرت آبیاری، تغییر ارقام گیاهی و اصلاح برنامه کودی در ۴ مزرعهٔ کلزا که شامل مزارع تیمار و شاهد بودند، اعمال شدند. ۴ مزرعه کلزای مذکور در شهرستان‌های اسکو و عجب‌شیر در حوضهٔ شرقی دریاچه ارومیه واقع شده‌اند. تعداد ۵ نوبت آبیاری در مزارع ثبت شدند و در مزارع تیمار و شاهد شهرستان عجب‌شیر مقادیر تجمعی میزان آب آبیاری به‌ترتیب ۵۵۵ و ۶۱۰ میلی‌متر و در شهرستان اسکو این مقادیر به‌ترتیب ۶۱۵ و ۵۳۴ میلی‌متر اندازه‌گیری شدند. بهره‌وری آب ۴ مزرعه فوق به‌ترتیب ۰/۷۴، ۰/۶۵، ۱/۱۱ و ۰/۲۱ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه شدند (۱۸).

برای ارزیابی تأثیر آبیاری بر عملکرد دانه و بهره‌وری آب سه هیبرید مرسوم کلزا آزمایش‌هایی در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان میاندوآب انجام شد. هشت تیمار سطوح آبیاری به‌ترتیب معادل ۱۲۰، ۱۱۰، ۱۰۰، ۹۰، ۸۰، ۷۰، ۶۰ و ۵۰ درصد نیاز خالص آبیاری محاسبه شده با روش فائو پنمن- مانتیث در نظر گرفته شدند. کمترین و بیشترین عملکرد بین ۱۴۴۹ و ۳۹۹۷ کیلوگرم در هکتار و بهره‌وری آب از ۰/۷۸ تا ۱/۰۷ کیلوگرم بر مترمکعب در سال اول پژوهش متغیر بودند. مقادیر متناظر در سال دوم در عملکرد بین ۱۳۸۱ تا ۳۹۳۸ کیلوگرم در هکتار و بهره‌وری آب بین ۰/۷۵ تا ۱/۱۲ کیلوگرم بر مترمکعب در نوسان بودند (۱۵).

در پژوهشی دیگر که به‌منظور اندازه‌گیری و مقایسه بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی مصرف آب آبیاری در دو سامانه آبیاری سنتی و مدرن برای محصولات عمده زراعی شامل گندم، جو، کلزا، یونجه و ذرت علوفه‌ای در شهرستان شهریار انجام شد، نتایج نشان داد میزان مصرف آب در مزارع سنتی و مدرن کلزا به‌ترتیب معادل ۵۶۵۰ و ۳۹۰۰ مترمکعب در هکتار و عملکرد متناظر نیز به‌ترتیب ۲۳۵۵ و ۲۸۵۰ کیلوگرم در هکتار اندازه‌گیری و محاسبه شدند. بنابراین، میزان بهره‌وری آب مزارع سنتی و مدرن به‌ترتیب معادل ۰/۴۱۷ و ۰/۷۳۱ کیلوگرم بر

مترمکعب محاسبه شدند (۶). آزمایشی در قالب طرح کرت‌های خردشده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی طرق مشهد در استان خراسان رضوی اجرا شد که در آن چهار سطح تأمین نیاز آبی شامل ۱۰۰ (شاهد)، ۸۰، ۶۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی کلزا در کرت‌های اصلی و چهار رقم کلزا زرفام، اکاپی، اس ال ام ۰۴۶و لیکورد در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. میانگین مصرف آب در تیمار شاهد در همه ارقام معادل ۳۵۰۰ مترمکعب در هکتار محاسبه شد. و در تیمار تنش شدید (۵۰ درصد تامین نیاز آبی) این مقدار معادل ۱۷۵۰ مترمکعب در هکتار محاسبه شد (۱۹).

نتایج آزمایشی در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج در مورد تیمارهای تاریخ کاشت و تنش آبیاری نشان داد که عملکرد در سال اول در ارقام از ۱۷۶۴/۶ لغایت ۲۰۲۲/۹ کیلوگرم در هکتار و در سال دوم از ۱۹۲۵/۹ لغایت ۲۵۳۵/۶ کیلوگرم در هکتار در نوسان بودند. در تیمارهای آبیاری در سال اول کمترین و بیشترین عملکرد به‌ترتیب در تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به میزان‌های ۱۴۸۲/۶ و ۲۴۲۲/۲ کیلوگرم در هکتار و در سال دوم این مقادیر متناظر به‌ترتیب ۱۸۰۶/۵ و ۲۳۲۰/۹ کیلوگرم در هکتار محاسبه شدند. به‌عنوان یک نتیجه اظهار کردند که در شرایط آب و هوایی معتدل سرد، تاریخ کاشت دارای اهمیت بیشتری نسبت به عامل آبیاری در آزمایش آنها بود (۱۴).

افشاری و همکاران (۳) به‌منظور بررسی عملکرد و بهره‌وری آب در گندم (چمران ۲)، کلزا (هایولا ۵۰)، سیب‌زمینی (سانته) و ذرت (۷۰۴) تحت سطوح مختلف آبیاری، پژوهشی را در مرکز تحقیقات و کشاورزی جیرفت انجام دادند. میزان آبیاری در سه سطح ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاهان بود. صفات عملکرد، وزن بیوماس، شاخص برداشت و بهره‌وری آب برای گیاهان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که اثر سطوح آبیاری بر عملکرد دانه، وزن بیوماس و بهره‌وری آب گیاهان مختلف در سطح ۱ درصد و شاخص برداشت در سطح ۵ درصد معنی‌دار بودند. با افزایش آب آبیاری، صفات عملکرد و وزن بیوماس در همه گیاهان به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. بهره‌وری آب کلزا از ۱/۲۹ تا ۱/۸۴ کیلوگرم بر متر مکعب در نوسان بود.

در پژوهشی که به‌منظور مقایسه حجم آب آبیاری و بهره‌وری آب گندم در روش‌های مختلف آبیاری در شهرستان بهبهان انجام شد. نتایج تغییرات ضرایب همبستگی نشان داد روند تغییرات نیاز آبشویی با روند تغییرات شاخص‌های شوری خاک، شوری آب و دبی مورد استفاده تغییرات معنی داری در سطح یک درصد داشتند. روند تغییرات نیاز آبشویی با روند تغییرات شوری آب و خاک هم‌راستا بود. همچنین، رعایت تاریخ کاشت گندم موجب افزایش طول دوره رشد گندم شده و این مسئله در افزایش عملکرد و به‌تبع آن بهره‌وری آب آبیاری اثر معنی‌داری نشان داد (۱۷). فرح‌زا و همکاران (۹) با انجام پژوهشی در دشت مغان به ارزیابی وضعیت بهره‌وری آب محصولات زراعی با استفاده از شاخص‌های بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی پرداختند. بهره‌وری فیزیکی آب محصولات گندم، کلزا، سویا، برنج، ذرت علوفه‌ای، ذرت دانه‌ای، خربزه، یونجه، گوجه فرنگی، جو، شلیل، هندوانه، خیار و چغندرقند محاسبه شدند. بهره‌وری فیزیکی آب کلزا ۰/۶۷ و بهره‌وری اقتصادی آن معادل ۷۰۲ تومان بر مترمکعب محاسبه شدند.

در پژوهشی که در مدت دو سال در ایستگاه شهید زنده‌روح جوپار کرمان اجرا شد، از سه تیمار آبیاری قطره‌ای برای کشت کلزا استفاده شد. تیمارهای سطوح آبیاری شامل تیمارهای ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی کلزا بودند. نتایج به‌دست آمده در هر دو سال پژوهش نشان داد که تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی، بیشترین عملکرد را در بین تیمارهای سطوح مختلف آبیاری به خود اختصاص داد. در تیمارهای ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی کلزا، عملکرد به‌ترتیب در سال اول ۱۱۴۴/۱۲، ۲۲۰۸/۹۷ و ۲۸۰۱/۰۵ کیلوگرم در هکتار و بهره‌وری آب در تیمارهای فوق به‌ترتیب ۰/۵۴، ۰/۶۹ و ۰/۶۷ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه شدند. در سال دوم مقادیر فوق به‌ترتیب ۱۰۷۹/۶۹، ۲۰۲۷/۹۲ و ۲۶۳۱/۶۵ کیلوگرم در هکتار و بهره‌وری آب به‌ترتیب ۰/۵۴،

۰/۶۸ و ۰/۶۵ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه شدند (۱۲). عباس‌پور و یزدان‌پناه (۲) به‌منظور بررسی تأثیر دور و روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی بر ویژگی‌های رشدی گیاه کلزا، آزمایشی در ایستگاه مرکز تحقیقات کشاورزی حاجی‌آباد در استان هرمزگان انجام دادند. در این راستا، سه دور آبیاری شامل آبیاری پس از ۲۰، ۴۰ و ۶۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشت تبخیر (به‌ترتیب $I_1$، $I_2$ و $I_3$) و دو روش آبیاری قطره‌ای (سطحی و زیرسطحی) انجام شد. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین عملکرد محصول (۱/۹۷ – ۳/۱۵ تن در هکتار)، وزن هزار دانه (۳/۴–۳۸/۸۲ گرم) و تعداد دانه در خورجین (۱۴/۵–۲۴/۱) به‌ترتیب در دور آبیاری $I_1$ و $I_3$ ایجاد شد. این در حالی بود که تیمار دور آبیاری $I_2$ افزایش ۹/۶ درصدی کارایی مصرف آب را نسبت به دور آبیاری $I_1$ را به‌همراه داشت.

تا کنون در مورد ارزیابی سامانه‌های مختلف آبیاری در کشت کلزا در شرق خوزستان گزارشی ارائه نشده است. بنابراین، مقاله حاضر با هدف تعیین بهره‌وری آب و مقایسه حجم آب آبیاری کلزا، تحت مدیریت‌های زراعی مختلف و در سامانه‌های متفاوت آبیاری انجام شده است. هدف اصلی این مقاله اندازه‌گیری میدانی آب آبیاری مزارع کلزا در سطح شهرستان بهبهان و مقایسه بهره‌وری آب آنها بود. تا بدین وسیله میزان آب آبیاری و بهره‌وری آب تحت مدیریت‌های زراعی مختلف و در سامانه‌های آبیاری مورد مقایسه و ارزیابی قرار گیرند. همچنین، اثر کل متغیرهای مستقل (سطح سواد بهره‌بردار، منبع آب، نوع شبکه بهره‌برداری، سطح کل بهره‌بردار، سطح زیرکشت کلزا، بافت خاک، طول دوره رشد، روش آبیاری، نوبت‌های آبیاری، بارش مؤثر و عملکرد) بر بهره‌وری آب به‌عنوان متغیر وابسته مورد ارزیابی قرار گرفتند. در پایان مهم‌ترین متغیرهای مستقل اثرگذار بر بهره‌وری آب مشخص شدند.

## مواد و روش‌ها

این پروژه به‌صورت میدانی و به‌منظور تعیین آب آبیاری کلزا تحت مدیریت کشاورزان در سطح شهرستان بهبهان اجرا شد. بدین صورت که در تعداد ۲۷ مزرعه از مزارع کشاورزان، حجم آب آبیاری کلزا (بدون دخالت در برنامه آبیاری آنها) اندازه‌گیری انجام شد. اطلاعات پایه شامل مشخصات و موقعیت مزرعه، بافت خاک، EC خاک و آب آبیاری با استفاده از نمونه‌برداری از آب و خاک مزرعه تعیین شدند. منابع آبی مزارع طوری انتخاب شدند که عوامل مختلف از جمله روش آبیاری، بافت خاک و کیفیت آب آبیاری را پوشش دهند. حجم آب آبیاری کلزا زیر هر منبع آبی در طول یک فصل زراعی با اندازه‌گیری دبی منبع آبی و زمان کارکرد آن تعیین شد.

برای تعیین حجم آب آبیاری، ابتدا مقدار دبی خروجی از منبع آبی انتخاب شده، با وسیله مناسب (فلوم WSC، کنتور و دستگاه دبی‌سنج اولتراسونیک) اندازه‌گیری شدند. ویژگی‌های مزارع شامل روش آبیاری، منبع آب آبیاری (سطحی، زیرزمینی)، نوع شبکه (مدرن، سنتی)، موقعیت دقیق مکانی با GPS، سطح زیرکشت هر محصول و سطح کل اراضی زیر منبع آبی، بافت خاک مزارع، هدایت الکتریکی خاک و آب آبیاری مورد استفاده، اندازه‌گیری و ثبت شد. نیاز آبی خالص به روش فائو پنمن– مانتیث با استفاده از داده‌های ایستگاه هواشناسی سینوپتیک بهبهان تهیه و تعیین شد. عملکرد محصول در پایان فصل زراعی نیز با مشاهده فاکتورهای فروش و برگه‌های باسکول بهره‌بردارانی که مزارع آن‌ها تحت مطالعه بود مشخص شد و بهره‌وری آب آبیاری تعیین و مقایسه شدند. آب مورد نیاز برای آبشویی مزارع مورد مطالعه بر اساس نشریه فائو ۲۹ در آبیاری سطحی و بارانی از رابطه (۱) برآورد شدند (۴):

$$LR=EC_w/(5EC_e-EC_w) \quad (۱)$$

که در آن، ECw (dS/m) هدایت الکتریکی آب آبیاری و ECe (dS/m) آستانه تحمل محصول است. آستانه تحمل با ۱۰ درصد کاهش عملکرد برای محصول‌های مورد مطالعه از نشریه فائو ۲۹ استخراج شده است. آستانه تحمل با ۱۰ و ۱۰۰ درصد کاهش عملکرد برای کلزا به‌ترتیب ۷/۴ و ۲۰ دسی زیمنس بر متر توسط فائو گزارش شده است. برای مقایسه آماری نتایج اندازه‌گیری و محاسبه‌شده در مزرعه در سامانه‌های مختلف

آبیاری از آزمون تی (t-Test) استفاده شد. مقادیر خروجی آزمون تی دو مقدار آماره T statistic (T) و T بحرانی (T critical) هستند. اگر قدرمطلق مقادیر آماره T از T بحرانی کوچک‌تر باشد، نتیجه آزمون معنی‌دار نبودن اختلاف مقادیر اندازه‌گیری‌شده در دو سامانه آبیاری را نشان می‌دهند وگرنه مقادیر اندازه‌گیری شده، اختلاف معنی‌دار خواهند داشت. از ضرایب همبستگی پیرسون برای مقایسه آماری نتایج پارامترهای اندازه‌گیری یا محاسبه‌شده استفاده شد. بر اساس معنی‌داربودن روند تغییرات ضرایب همبستگی در سطوح ۱ و ۵ درصد و هم‌سو یا ناهم‌سو بودن این روند تغییرات، نتایج تجزیه و تحلیل شدند.

برای تجزیه و تحلیل رگرسیون چند متغیره خطی (Linear Multivariate Regression) به روش گام به گام (Stepwise) از نرم‌افزار SPSS16 بهره گرفته شد. برای بررسی اثرات متغیر مستقل بر پارمترهای وابسته فوق از تجزیه و تحلیل رگرسیون چند متغیره خطی استفاده شد. به‌عبارت دیگر تجزیه فوق به‌منظور تبیین میزان تغییرات متغیرهای مستقل (سطح سواد بهره‌بردار، منبع آب مورد استفاده، نوع شبکه آبیاری، نوع سامانه آبیاری، دبی آب آبیاری، شوری آب آبیاری، شوری خاک، طول دوره رشد، متوسط عمق هر آبیاری، تعداد کل نوبت‌های آبیاری، نیاز آبی، نیاز آبشویی، ارتفاع از سطح دریا، سطح زیر کشت، سطح کل مزرعه، بارش مؤثر و عملکرد) بر بهره‌وری آب آبیاری به‌عنوان متغیر وابسته مورد پژوهش و بررسی قرار گرفتند. اثر متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته بدین‌گونه بررسی شد که از طریق نرم‌افزار SPSS16، آنالیز تجزیه واریانس رگرسیون برای متغیرهای مختلف انجام شد. اگر در جدول تجزیه واریانس رگرسیون، سطح معنی‌داری از ۵ درصد بیشتر بود با حذف متغیرهای مستقلی که نزدیک‌ترین آماره t به عدد صفر را داشتند با تجزیه رگرسیون مجدد این کار تا مرحله‌ای ادامه پیدا کرد تا سطح معنی‌داری جدول تجزیه واریانس مدل رگرسیون حداقل به زیر ۵ درصد رسید. متغیر مستقلی که ضریب t آن در جدول تجزیه واریانس رگرسیون به ۱/۹۶ یا ۲/۵۶ یا (۱/۹۶- یا ۲/۵۶-) برسد اثر آن متغیر مستقل بر متغیر وابسته به‌ترتیب در سطوح ۵ و ۱ درصد معنی‌دار بود. بنابراین، متغیری که دارای بیشترین قدرمطلق ضریب t در جدول تجزیه واریانس رگرسیون بود، بیشترین اثر معنی‌دار را بر متغیر وابسته داشت. منفی یا مثبت‌بودن ضریب t به معنی غیرهمراستا یا هم‌راستا بودن روند تغییرات متغیر مستقل با متغیر وابسته است. برای مقایسه آماری نتایج حاصل از پارامترهای اندازه‌گیری یا محاسبه شده از ضرایب همبستگی پیرسون استفاده شد. تجزیه و تحلیل نتایج، بر اساس معنی‌دار بودن ضرایب همبستگی شاخص‌های محاسبه یا اندازه‌گیری شده در سطوح ۱ و ۵ درصد، انجام شد.

نیاز آبی بر اساس مدل فائو پنمن- مانتیث با استفاده از آمار روزانهٔ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک بهبهان (دمای حداقل و حداکثر روزانه، رطوبت حداقل و حداکثر روزانه سرعت باد و حداکثر ساعات آفتابی) و با استفاده از نرم‌افزار EToCalculator محاسبه شد.

بهره‌وری آب کاربردی (WP) با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد. بهره‌وری آب از تقسیم عملکرد بر حجم آب کاربردی محاسبه شد (۱۶). حجم آب کاربردی شامل مجموع آب آبیاری و بارندگی مؤثر بود. بارندگی مؤثر سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ در شهرستان بهبهان با استفاده از روش وزارت کشاورزی ایالات متحده آمریکا (USDA) محاسبه شد. در این روش مقادیر بارش مؤثر در دوره زمانی ماهانه با احتمال وقوع ۶۵ درصد از رابطه‌های زیر محاسبه شد (۱۳). در روش مذکور در بازه زمانی ماهانه مقادیر بارش مؤثر برای گیاه کلزا در شهرستان بهبهان محاسبه شد. در این روش نیز دو رابطه برای بارش‌های بالای ۲۵۰ میلی‌متر و کمتر از آن داده شده است که در مناطق مورد مطالعه در یک ماه بیش از ۲۵۰ میلی‌متر بارندگی وجود نداشت، بنابراین، محاسبه‌ها با رابطه ۳ انجام شد.

$$WP = Y/(Pe+Ir) \quad (۲)$$

$$Pe = P\times((125-(0.2\times P))/125) \quad P<250 \text{ mm} \quad (۳)$$

$$Pe = 01P+125 \quad P>250 \text{ mm} \quad (۴)$$

که در آن، WP بهره‌وری آب کاربردی ($kg/m^3$)، Y عملکرد دانه

(kg)، Pe بارندگی مؤثر (mm)، Ir عمق آبیاری (mm) و P بارندگی ماهیانه (mm) است. در رابطه (۳) مقادیر مخرج در واحد سطح ضرب، تا واحد آن به مترمکعب تبدیل شود. راندمان کاربرد مزرعه از نسبت نیاز خالص آبیاری بر آب آبیاری (آب داده شده) تعیین می‌شود.

## نتایج و بحث

تعداد ۲۷ مزرعه در نقاط مختلف شهرستان بهبهان انتخاب شدند. ۱۱ مزرعه در بخش حومه و مرکزی، ۷ مزرعه در بخش دودانگه و ۹ مزرعه در بخش زیدون انتخاب شدند. ۱۴ مزرعه از رودخانه، ۱۱ مزرعه از چاه و ۲ مزرعه از چشمه برای آبیاری استفاده کردند، ۱۷ مزرعه به روش مدرن آبیاری می‌شدند و ۱۰ مزرعه با استفاده از چاه و آب رودخانه و چشمه به روش سنتی آبیاری شدند. تعداد ۱۴ مزرعه‌ی کلزا به روش بارانی و ۱۳ مزرعه به روش سطحی آبیاری شدند. میانگین، کمترین و بیشترین مقادیر اندازه‌گیری و محاسبه شده در ۲۷ مزرعه در شکل ۱ نشان داده شده است. دبی مورد استفاده در مزارع از ۶/۴۵ تا ۱۰۸/۰ (lit/s)، شوری آب آبیاری نیز از ۱/۵ تا ۶/۰ (dS/m)، شوری خاک مزارع از ۱/۴۳ تا ۲۱/۰۵ (dS/m)، طول دوره رشد از ۱۴۴ تا ۲۰۰ روز، حجم کل آب آبیاری از ۴۰۸۵/۵ تا ۷۸۶۵/۳ مترمکعب در هکتار، نیاز آبی بر اساس داده‌های هواشناسی از ۲۴۳/۲ تا ۴۳۶/۱ میلی‌متر، سطح زیرکشت مزارع از ۰/۴۳ تا ۹۰/۰ هکتار متغیر، عملکرد از ۱۰۰۰ تا ۳۵۰۰ کیلوگرم در هکتار و بهره‌وری آب آبیاری از ۰/۲۴۵ تا ۰/۷۶۲ کیلوگرم بر مترمکعب در نوسان بودند (شکل ۱).

در شکل ۲ میزان حجم آب کاربردی (آب آبیاری + بارندگی مؤثر) در دو سامانه آبیاری بارانی و سطحی نشان داده است. میانگبن حجم آب کاربردی (آب آبیاری + بارندگی مؤثر) درمزارع دارای سامانه‌های بارانی و سطحی به‌ترتیب معادل ۵۲۶۱/۱ و ۶۱۵۶/۶ و در مزارعی که از آب سطحی و زیرزمینی استفاده می‌کردند این میزان به‌ترتیب معادل ۵۸۴۲/۴ و ۵۵۳۰/۵ مترمکعب در هکتار محاسبه شدند (شکل ۲).

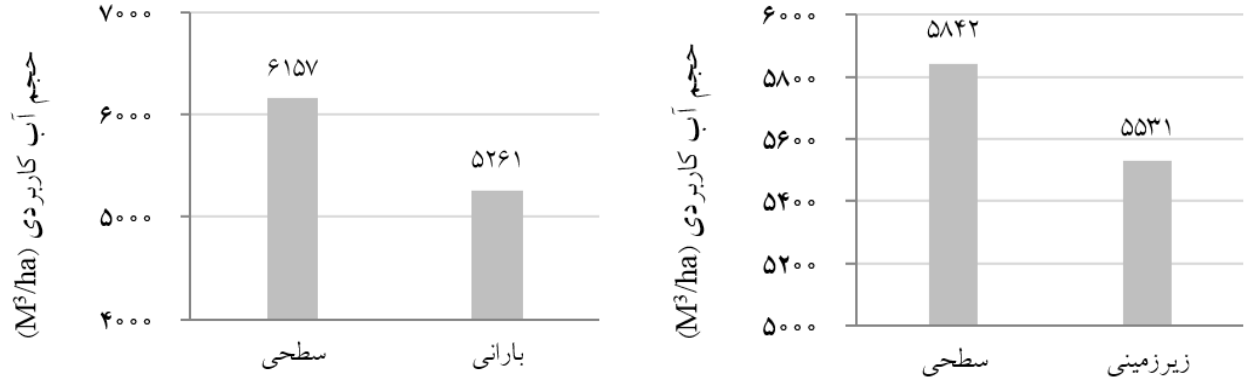
میانگین حجم آب کاربردی در مزارع این پژوهش از مقادیر آب مصرفی در پژوهش حقایقی و دهقانی‌سانیج (۱۰) تقریباً مساوی و از تیمار شاهد و فاقد تنش در پژوهش وفابخش و همکاران (۱۹) بیشتر بودند.

در شکل ۳ حجم آب کاربردی (آب آبیاری + بارندگی مؤثر) در دو روش سنتی و مدرن آبیاری نشان داده است. میانگبن حجم آب کاربردی (آب آبیاری + بارندگی مؤثر) در مزارعی که به روش سنتی آبیاری می‌شوند در مزارع دارای منبع آب سطحی و زیرزمینی به‌ترتیب ۵۳۰۸ و ۶۳۷۳ مترمکعب در هکتار محاسبه شدند. در مزارع مدرن، حجم آب از منابع آب سطحی و زیرزمینی به‌ترتیب معادل ۶۰۵۶ و ۴۸۰۸ مترمکعب در هکتار و در سامانه‌های آبیاری سطحی و بارانی به‌ترتیب معادل ۶۷۶۴ و ۵۱۶۶ مترمکعب در هکتار محاسبه شدند (شکل ۳). در هر دو سامانه آبیاری سنتی و مدرن مصرف آب از منابع آب زیرزمینی بیش از منابع آب سطحی است.

### آزمون تی (t-Test)

مقایسه نتایج میانگین عملکرد دو سامانه آبیاری در آزمون تی (t-Test) نشان داد دو سامانه بارانی و سطحی به‌ترتیب با عملکردهای ۲۶۱۴ و ۲۳۳۰ کیلوگرم در هکتار اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. بهره‌وری آب کاربردی در دو سامانه بارانی و سطحی اختلاف معنی داری با هم نداشتند. سامانه بارانی با راندمان کاربرد ۶۵/۵۴ درصد، اختلاف معنی‌داری با سامانه آبیاری سطحی داشت که دارای راندمان کاربرد معادل ۵۲/۲۶ درصد بود و از این لحاظ با نتایج پژوهش انجام شده توسط سلامتی و همکاران (۱۷) هم‌خوانی داشت. سامانه آبیاری سطحی با طول دوره رشدی معادل ۱۸۰/۹ روز، دارای بیشترین طول دوره رشد بوده و اختلاف معنی‌داری با سامانه آبیاری بارانی به میزان ۱۸۵/۷ روز نداشت. سامانه سطحی با حجم آب کاربردی معادل ۶۱۵۶/۶ مترمکعب بر هکتار، بیشترین حجم آب کاربردی را به خود اختصاص داد و با ۵۲۶۱/۱ مترمکعب بر هکتار که برای سامانه بارانی محاسبه شد اختلاف معنی‌داری

**شکل ۱. فراوانی و نحوه پراکندگی داده‌های اندازه‌گیری و محاسبه‌شده در ۲۷ مزرعهٔ مورد بررسی**




**شکل ۲. مقایسه حجم آب کاربردی (آب آبیاری + بارندگی مؤثر) در دو سامانه آبیاری بارانی و سطحی و دو منبع آب سطحی و زیرزمینی**

داشت. مزارع بزرگ در شهرستان بهبهان اغلب مجهز به سامانه آبیاری بارانی هستند. بنابراین، مالکان بزرگ یا مستأجرانی که سطح اراضی بیشتری را تحت اجاره داشتند، اغلب دارای مزارعی بودند که مجهز به سامانه آبیاری بارانی بودند. بنابراین، سطح کل اراضی این مالکین نسبت به سطح کل اراضی مالکینی که کلزا به روش سطحی کشت کردند با هم اختلاف معنی داری داشتند. به‌طوری که میانگین مساحت کل اراضی دارای پوشش آبیاری بارانی که در این پژوهش بررسی شدند معادل ۲۲/۴ هکتار بود و

**شکل ۳. مقایسه حجم آب کابردی (آب آبیاری + بارندگی مؤثر) در دو روش آبیاری سنتی و مدرن**

این مساحت در اراضی دارای سامانه آبیاری سطحی معادل ۶/۴ هکتار بود و از این لحاظ با هم اختلاف معنی داری داشتند. همچنین، در این مزارع بزرگ مقداری که به کشت کلزا اختصاص یافت، در سامانهٔ بارانی و سطحی به‌صورت میانگین معادل ۱۲/۴ و ۴/۱ هکتار بودند که هر چند دارای اختلاف هستند ولی این اختلاف معنی دار نبود (جدول ۱).

مقایسه نتایج میانگین شاخص‌های اندازه‌گیری و محاسبه شده برای منابع آب سطحی و زیرزمینی در جدول ۲ نشان داده شده است. نیاز آبشویی در مزارعی که از آب سطحی استفاده کردند، نسبت به مزارعی که از آب زیرزمینی استفاده کردند، پایین‌تر بود به‌طوری که نیاز آبشویی در مزارع کلزایی که از منبع آب سطحی استفاده کردند، معادل ۵/۴۸ درصد و در مزارعی که منبع آب مورد استفاده زیرزمینی بود میزان متناظر معادل ۱۳/۲۲ درصد محاسبه شد که از این لحاظ با هم اختلاف معنی‌داری داشتند. به‌همین ترتیب نیاز آبشویی در مزارع دارای منبع آب سطحی و زیرزمینی به‌ترتیب معادل ۲۰/۹ و ۴۷/۹ میلی‌متر محاسبه شدند که با هم اختلاف معنی‌داری داشتند. همچنین، مصرف آب از منابع آب سطحی و زیرزمینی در مزارع مورد بررسی از نظر ارتفاع نیز اختلاف معنی داری با هم داشتند به‌طوری که میانگین ارتفاع مزارعی که از منابع آب سطحی استفاده کردند معادل ۳۰۹/۵ متر و میزان متناظر آن در زیرزمینی معادل ۲۱۸/۲ متر محاسبه شدند. به عبارت دیگر عمده مزارع مورد بررسی کلزا در این پژوهش که دارای منبع آب سطحی بودند از آب رودخانه‌های مارون و خیرآباد استفاده کردند و مزارعی که از آب زیرزمینی استفاده کردند، اغلب در منطقه زیدون شهرستان بهبهان بودند و از آب چاه یا چشمه به‌عنوان منبع آب زیرزمینی استفاده کردند. مزارعی که از منابع آب سطحی استفاده کردند، دبی بیشتری برای آبیاری در اختیار داشتند. به‌طوری که میزان دبی آب آبیاری در مزارعی با منبع آب سطحی و زیرزمینی به‌ترتیب معادل ۴۹/۹۸ و ۲۲/۳۷ لیتر در ثانیه محاسبه شدند که از این لحاظ اختلاف آن‌ها معنی‌دار بود و نشان داد مزارعی که از آب‌های سطحی همانند رودخانه استفاده کردند، دبی بیشتری نسبت به مزارعی که از چاه و چشمه استفاده کردند در اختیار داشتند. میانگین شوری آب منابع آب سطحی و زیرزمینی به‌ترتیب با ۱/۹۱ و ۴/۳۰ دسی زیمنس بر متر با هم اختلاف معنی داری داشتند که این مطلب شور بودن آب منابع زیرزمینی (شامل چاه‌ها و چشمه‌ها) در مزارع مورد بررسی را نشان داد (جدول ۲). بقیه پارامترهای مورد بررسی از این لحاظ اختلاف معنی داری باهم نداشتند (جدول ۲). بهره‌وری آب آبیاری در مزارع دارای منابع آب سطحی و زیرزمینی به‌ترتیب معادل ۰/۴۴۳ و ۰/۴۵۴ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه شدند که اختلاف معنی داری نداشتند. این میزان بهره‌وری با بهره‌وری آب محاسبه شده در پژوهش حقایقی مقدم و دهقانی‌سانیج (۱۰) و میزان بهره‌وری آب مزارع سنتی در پژوهش بهرامی و همکاران (۶) تقریباً برابر بودند ولی از بهره‌وری آب محاسبه شده در پژوهش‌های سنگ‌تراشان و همکاران (۱۸)، رحیمی و همکاران (۱۵) و افشاری و همکاران (۳) به میزان قابل توجهی کمتر بود که شاید دلیل این کاهش

**جدول ۱. مقایسه نتایج میانگین‌های شاخص‌های اندازه‌گیری و محاسبه‌شده برای دو سامانه آبیاری بارانی و سطحی در آزمون تی (t-Test)**

| تیمار | بارانی | سطحی | تی آماری | تی بحرانی | تیمار | بارانی | سطحی | تی آماری | تی بحرانی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| عملکرد (kg/ha) | ۲۶۱۴ | ۲۳۳۰ | -۰/۱۹۹n.s | ۲/۱۶۰ | حجم آب کاربردی ($m^3$/ha) | ۵۲۶۱/۱ | ۶۱۵۶/۶ | ۲/۲۲۸* | ۲/۱۶۰ |
| بهره‌وری آب کاربردی ($kg/m^3$) | ۰/۴۸۸ | ۰/۳۸۱ | ۲/۴۳۶* | ۲/۱۶۰ | نوبت آبیاری | ۸/۷ | ۴/۰ | ۷/۹۰* | ۲/۱۶۰ |
| دبی (lit/s) | ۳۳/۶۶ | ۳۹/۹۵ | -۰/۵۱۳n.s | ۲/۱۶۰ | سطح کل (ha) | ۲۲/۴ | ۶/۴ | ۲/۲۱۸* | ۲/۱۶۰ |
| شوری آب (dS/m) | ۳/۰۹ | ۳/۰۳ | ۰/۱۱۲n.s | ۲/۱۶۰ | سطح زیرکشت (ha) | ۱۲/۴ | ۴/۱ | ۲/۰۰n.s | ۲/۱۶۰ |
| شوری خاک (dS/m) | ۷/۲۹ | ۷/۱۵ | ۰/۰۷۷n.s | ۲/۱۶۰ | دوره رشد (day) | ۱۸۰/۹ | ۱۸۵/۷ | -۰/۹۱۸n.s | ۲/۱۶۰ |
| بارش سال جاری (mm) | ۲۸۵/۳ | ۲۹۶/۱ | -۰/۹۴۶n.s | ۲/۱۶۰ | نیاز آبی محاسبه شده (mm) | ۳۷۰/۲ | ۳۷۰/۳ | -۰/۰۰۱n.s | ۲/۱۶۰ |
| راندمان کاربرد (٪) | ۶۵/۵ | ۵۲/۳ | ۲/۱۶۱* | ۲/۱۶۰ | نیاز آبشویی (٪) | ۹/۳ | ۹/۱ | ۰/۱۳۰n.s | ۲/۱۶۰ |

*: اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد و .n.s: اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

**جدول ۲. مقایسه نتایج میانگین شاخص‌های اندازه‌گیری و محاسبه‌شده برای منابع آب سطحی و زیرزمینی در آزمون تی (t-Test)**

| تیمار | سطحی | زیرزمینی | تی آماری | تی بحرانی | تیمار | سطحی | زیرزمینی | تی آماری | تی بحرانی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| عملکرد (kg/ha) | ۲۵۵۸ | ۲۳۹۱ | -۰/۸۴۴n.s | ۲/۱۶۰ | حجم آب کاربردی ($m^3$/ha) | ۵۸۴۲/۴ | ۵۵۳۰/۵ | ۰/۷۹۶n.s | ۲/۱۶۰ |
| بهره‌وری آب کابردی ($kg/m^3$) | ۰/۴۴۳ | ۰/۴۵۵ | ۰/۳۲۳n.s | ۲/۱۶۰ | نوبت آبیاری | ۵/۷ | ۷/۲ | ۱/۶۸۵n.s | ۲/۱۶۰ |
| دبی (lit/s) | ۴۹/۹۸ | ۲۲/۳۷ | -۲/۷۸۷* | ۲/۱۶۰ | سطح کل (ha) | ۱۲/۸ | ۱۶/۸ | ۰/۴۳۶n.s | ۲/۱۶۰ |
| شوری آب (dS/m) | ۱/۹۱ | ۴/۳۰ | ۸/۷۶۱* | ۲/۱۶۰ | سطح زیرکشت (ha) | ۸/۱ | ۹/۱ | ۰/۲۲۳n.s | ۲/۱۶۰ |
| شوری خاک (dS/m) | ۵/۴۰ | ۹/۱۸ | ۱/۹۸۱n.s | ۲/۱۶۰ | دوره رشد (day) | ۱۸۴/۸ | ۱۸۱/۵ | -۰/۶۵۶n.s | ۲/۱۶۰ |
| راندمان کاربرد (٪) | ۵۵/۷ | ۶۲/۹ | ۰/۷۶۴n.s | ۲/۱۶۰ | نیاز آبشویی (٪) | ۵/۵ | ۱۳/۲ | ۸/۳۸۸* | ۲/۱۶۰ |

*: اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد و.n.s: اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

بهره‌وری آب، بستگی به نوع رقم و اقلیم منطقه داشته باشد. ارقام سازگار با مناطق سردسیر به‌دلیل دوره رشد بیشتر و سازگاری با آب و هوای سردتر عملکرد خیلی بیشتری نسبت به ارقام گرمسیری که در این پژوهش آورده شده‌اند، داشتند. کوتاه‌بودن دوره رشد ارقام گرمسیری نسبت به ارقام سردسیری موجب کاهش عملکرد ارقام سازگار مناطق گرمسیر شد که به‌تبع کاهش بهره‌وری آب این ارقام نسبت به ارقام سازگار مناطق سردسیر را نیز به همراه داشت.

راندمان کاربرد در مزارع دارای منابع آب سطحی و زیرزمینی به‌ترتیب معادل ۵۵/۶۵ و ۶۲/۹۱ درصد محاسبه شدند. هرچند این اختلاف معنی دار نیست، ولی نشان‌دهنده مدیریت ناکافی شرکت‌های نیمه خصوصی آب منطقه‌ای و شرکت‌های آبیاری و زهکشی که عمده مزارع آب سطحی زیر پوشش این شرکت‌ها است، دارند. با وجود عدم نصب کنتورهای حجمی بر چاه‌ها مشخص می‌شود که راندمان کاربرد مزرعه در منابع آب زیرزمینی مطلوب‌تر از منابع آب سطحی است. به عبارت دیگر

عدم مدیریت ناکارامد و غیرمؤثر شرکت‌های آبیاری و زهکشی موجب پایین‌بودن راندمان کاربرد در مزارع مورد بررسی شده است (جدول ۲).

مقایسه نتایج میانگین‌های شاخص‌های اندازه‌گیری و محاسبه‌شده برای شبکه‌های مدرن و سنتی در جدول ۳ نشان داده شده است. بهره‌وری آب آبیاری در مزارع سنتی و مدرن به‌ترتیب معادل ۰/۳۸۶ و ۰/۴۸۶ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه شدند که اختلاف معنی داری با هم داشتند. عملکرد متناظر فوق به‌ترتیب معادل ۲۲۳۸ و ۲۶۱۹ کیلوگرم در هکتار اندازه‌گیری شدند که اختلاف هرچند معنی‌دار نشده ولی قابل ملاحظه است. چندین عامل در معنی‌دارشدن اختلاف بهره‌وری آب مزارع سنتی و مدرن مؤثر است که این عوامل در جدول ۴ نیز قابل مشاهده است. تنظیم نوبت‌های آبیاری متناسب با نیاز آبی گیاه در افزایش بهره‌وری آب مؤثر است. افزایش نوبت‌های آبیاری متناسب با نیاز آبی از یک سو موجب در دسترس‌بودن آب کافی برای ریشه کلزا شده و از سوی دیگر مدیریت بهینه موجب مصرف کمتر آب در نوبت‌های متوالی نسبت به نوبت‌های با دوره تناوب طولانی‌تر شد و این امر در کاهش فرونشت عمقی و افزایش راندمان کاربرد مزرعه مؤثر بود. بر این اساس نوبت‌های آبیاری در مزارع سنتی و مدرن به‌ترتیب معادل ۴/۵ و ۷/۶ نوبت بودند که اختلافشان معنی‌دار بود. کم بودن نوبت‌های آبیاری در مزارع سنتی موجب بروز تنش خشکی به گیاه از یک سو شده و عدم مدیریت ناکافی در زمان آبیاری در فرونشت عمقی این مزارع و به‌تبع کاهش راندمان کاربرد مزرعه بی‌تأثیر نیست. راندمان کاربرد در مزارع سنتی و مدرن به‌ترتیب معادل ۵۵/۱۷ و ۶۱/۴۸ درصد محاسبه شدند. بیشتربودن میزان راندمان کاربرد در مزارع مدرن گواهی بر صحت موضوع فوق است. دبی مزارع سنتی و مدرن به‌ترتیب معادل ۱۵/۷۴ و ۴۹/۰۱ لیتر در ثانیه محاسبه شدند که اختلاف معنی‌داری با هم داشتند. بیشتربودن دبی آبیاری در مزارع مدرن در مدیریت مصرف آب، در تعداد نوبت‌های آبیاری و کاهش میزان فرونشت عمقی و رواناب انتهایی از جویچه‌های آبیاری در افزایش راندمان کاربرد مؤثر بود (جدول ۳). اختلاف معنی‌دار بهره‌وری آب مزارع سنتی و مدرن با نتایج پژوهش بهرامی و همکاران (۶) و حقایقی و دهقانی‌سانیج (۱۰) هم‌خوانی داشت و از میزان بهره‌وری آب کلزا در منطقه مغان مقداری کمتر بود. عملکرد مزارع این پژوهش با عملکرد مزارع پژوهش بهرامی و همکاران (۶) و حقایقی و دهقانی‌سانیج (۱۰) هم‌خوانی داشت.

## مدل رگرسیون

نتایج تجزیه و تحلیل واریانس در مدل رگرسیون و ضرایب متغیرها در معادله رگرسیون برای متغیرهای وابسته عملکرد به‌ترتیب در جداول (۴) و (۵) و بهره‌وری آب کاربردی به‌ترتیب در جداول (۶) و (۷) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در متغیر وابسته عملکرد، متغیرهای مستقل منبع آب، نوع شبکه بهره‌برداری، سطح کل بهره‌بردار، سطح زیرکشت کلزا، شوری آب آبیاری، طول دوره رشد، میانگین عمق آب آبیاری و حجم آب کاربردی همگی ۵۴/۲ درصد ($R^2$=۰/۵۴۲) میزان نوسانات متغیر وابسته (عملکرد) را تبیین کردند و از طرفی معنی‌دار بودن رگرسیون و رابطه خطی بین متغیرها نیز مشخص شد (P<۰/۰۵) (جدول ۴). ضرایب معادلات استخراج شده از مدل نهایی رگرسیون چند متغیره برای متغیر وابسته عملکرد در جدول ۵ نشان داده شده است. در بین متغیرهای مستقل، سطح زیرکشت کلزا بیشترین اثر منفی معنی‌دار در سطح ۱ درصد بر عملکرد با آمارهٔ t به میزان (۲/۹۹۶) و ضریب بتایی معادل (۵۲/۱۱۷-) از خود نشان داد. علامت منفی ضریب بتا نشان دهنده اثر معکوس و کاهنده سطح زیرکشت بر عملکرد کلزا است. به بیان دیگر، هرچه سطح زیرکشت کلزا کمتر شده بهره‌بردار مدیریت بهتری بر مزرعه داشته و این مدیریت بهینه باعث افزایش عملکرد محصول شده است. دومین عامل مؤثر بر عملکرد کلزا نوع شبکه آبیاری است که با آمارهٔ t به میزان (۲/۰۲۵) و ضریب بتایی معادل (۴۸۳/۶۴۵) اثری مثبت و افزایشی بر عملکرد کلزا از خود نشان داد و این بدین معنی است که

**جدول ۳. مقایسه نتایج میانگین شاخص‌های اندازه‌گیری و محاسبه‌شده برای شبکه‌های مدرن و سنتی در آزمون تی (t-Test)**

| تیمار | سنتی | مدرن | تی آماری | تی بحرانی | تیمار | سنتی | مدرن | تی آماری | تی بحرانی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| عملکرد (kg/ha) | ۲۲۳۸ | ۲۶۱۹ | ۲/۰۹۲n.s | ۲/۱۶۰ | حجم آب کاربردی ($m^3$/ha) | ۵۹۴۷/۱ | ۵۵۴۲/۳ | ۱/۰۰۲n.s | ۲/۱۲۰ |
| بهره‌وری آب کاربردی ($kg/m^3$) | ۰/۳۸۶ | ۰/۴۸۶ | ۲/۹۱۴* | ۲/۱۶۰ | نوبت آبیاری | ۴/۵ | ۷/۶ | ۴/۱۶۴* | ۲/۱۶۰ |
| دبی (lit/s) | ۱۵/۷۴ | ۴۹/۰۱ | ۴/۲۷۴* | ۲/۱۶۰ | سطح کل (ha) | ۱۲/۸ | ۱۶/۸ | ۰/۴۳۶n.s | ۲/۱۶۰ |
| شوری آب (dS/m) | ۳/۴۹ | ۲/۸۱ | -۱/۶۱۱n.s | ۲/۱۶۰ | سطح زیرکشت (ha) | ۸/۱ | ۹/۱ | ۰/۲۲۳n.s | ۲/۱۶۰ |
| شوری خاک (dS/m) | ۹/۱۳ | ۶/۱۰ | -۲/۲۸۱* | ۲/۱۶۰ | دوره رشد (day) | ۱۸۴/۲ | ۱۸۲/۶ | -۰/۴۰۳n.s | ۲/۱۶۰ |
| راندمان کاربرد (٪) | ۵۵/۲ | ۶۱/۵ | ۰/۷۷۶n.s | ۲/۱۶۰ | نیاز آبشویی (٪) | ۱۰/۶ | ۸/۴ | -۱/۵۴۵n.s | ۲/۱۶۰ |

*: اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد و n.s.: اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

**جدول ۴. تجزیه و تحلیل واریانس در مدل رگرسیون برای متغیر عملکرد در سال اجرای آزمایش**

| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات | F محاسبه‌شده | ضریب رگرسیون | ضریب تبیین | ضریب تبیین تعدیل شده | سطح معنی داری |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مدل | ۸ | ۷۱۷۰۰۰/۳۰۷ | ۲/۶۵۸ | ۰/۷۳۶ | ۰/۵۴۲ | ۰/۳۳۸ | ۰/۰۴۱* |
| خطا | ۱۸ | ۲۶۹۷۹۴/۷۹۰۰ | | | | | |
| کل | ۲۶ | | | | | | |

**: اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد،*: اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد و .n.s: اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

**جدول ۵. ضرایب متغیرها در معادله رگرسیون برای متغیر عملکرد در سال اجرای آزمایش**

| مدل | ضرایب غیر استاندارد | | ضرایب استاندارد | t محاسبه شده | سطح معنی‌داری |
|---|---|---|---|---|---|
| | ضریب B | خطای معیار | Beta | | |
| عدد ثابت | ۳۴۹۱/۶۴۶ | ۱۹۴۶/۰۷۵ | - | ۱/۷۹۴ | ۰/۰۹۰n.s |
| $X_1$= منبع آب | -۳۳۹/۰۶۷ | ۲۰۶/۴۰۳ | -۰/۳۴۰ | -۱/۶۴۳ | ۰/۱۱۸n.s |
| $X_2$= نوع شبکه بهره‌بردای | ۴۸۳/۶۴۵ | ۲۳۸/۸۳۴ | ۰/۳۷۳ | ۲/۰۲۵ | ۰/۰۴۸* |
| $X_2$= سطح کل بهره‌بردار (ha) | ۱۲/۵۲۷ | ۸/۵۸۸ | ۰/۴۱۶ | -۱/۴۵۹ | ۰/۱۶۲n.s |
| $X_3$= سطح زیرکشت کلزا (ha) | -۵۲/۱۱۷ | ۱۷/۳۹۷ | -۰/۸۷۱ | -۲/۹۹۶ | ۰/۰۰۸** |
| $X_4$= شوری آب آبیاری (dS/m) | ۳۵/۳۳۱ | ۳۳/۸۲۲ | ۰/۲۶۵ | ۱/۰۴۵ | ۰/۳۱۰n.s |
| $X_5$= طول دوره رشد (day) | -۸/۷۰۹ | ۹/۵۵۹ | -۰/۱۸۳ | ۰/۹۱۱ | ۰/۳۷۴n.s |
| $X_6$= میانگین عمق آب آبیاری (mm) | -۴/۶۲۸ | ۳/۹۸۸ | -۰/۳۳۹ | -۱/۱۶۰ | ۰/۲۶۱n.s |
| $X_7$= حجم آب کاربردی ($m^3$/ha) | ۰/۱۱۵ | ۰/۱۳۱ | ۰/۲۱۵ | ۰/۸۷۷ | ۰/۳۹۲n.s |

**: اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد،*: اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد و .n.s: اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

شبکه های مدرن در افزایش عملکرد کلزا نسبت به شبکه‌های سنتی اثری معنی‌داری از خود نشان داده‌اند (جدول ۵).

در متغیر وابسته بهره‌وری آب کاربردی، متغیرهای مستقل سطح سواد بهره‌بردار، منبع آب، نوع شبکه بهره‌برداری، شوری آب آبیاری، سطح کل بهره‌بردار، سطح زیرکشت کلزا، بافت خاک، طول دوره رشد، نوع سامانه آبیاری، میانگین عمق آب آبیاری، نوبت‌های آبیاری، عمق کل آب آبیاری، بارش مؤثر و عملکرد کلزا همگی ۹۹/۳ درصد ($R^2$=۰/۹۹۳) میزان نوسان‌های متغیر وابسته (بهره‌وری آب کاربردی) را تبیین کردند و از طرفی معنی‌دار بودن رگرسیون و رابطه خطی بین متغیرها نیز مشخص شد (P<۰/۰۱) (جدول ۶). ضرایب معادلات استخراج شده از مدل نهایی رگرسیون چند متغیره برای متغیر وابسته بهره‌وری آب آبیاری در جدول ۷ نشان داده شده است. در بین متغیرهای مستقل، عملکرد دانه بیشترین اثر مثبت معنی‌دار در سطح ۱ درصد بر بهره‌وری آب با آمارهٔ t به میزان (۲۳/۹۹۷) و ضریب بتایی معادل (۰/۸۸۰) از خود نشان داد. سپس حجم آب کاربردی با آمارهٔ t به میزان (۱۱/۷۰۲-) و ضریب بتایی معادل (۰/۷۹۳-) اثر منفی معنی‌دار در سطح ۱ درصد بر بهره‌وری آب کاربری داشت و از این لحاظ در جایگاه دوم قرار داشت. بدیهی است با افزایش عملکرد، بهره‌وری آب افزایش و با افزایش حجم آب کاربردی، بهره‌وری آب کاهش می‌یابد. منبع آب با آمارهٔ t به میزان (۲/۹۴۷) و ضریب بتایی معادل (۰/۱۷۹) اثر مثبت معنی‌داری در سطح ۱ درصد بر بهره‌وری آب داشت. نوبت‌های آبیاری با آمارهٔ t به میزان (۲/۳۰۷) و ضریب بتایی معادل (۰/۳۰۵) اثر مثبت معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر بهره‌وری آب کاربردی داشت. نوع منبع آب مورد استفاده سطحی یا زیرزمینی بر بهره‌وری آب اثر معنی‌داری داشت با توجه به اینکه حجم کل آب آبیاری اثر منفی و معنی‌داری در بهره‌وری آب کاربردی داشت بنابراین، نحوه استفاده از آب و مدیریت آن در تعداد نوبت‌های بیشتر آبیاری و عدم بروز تنش خشکی در مراحل حساس رشدی در این تفاوت معنی‌دار، مؤثر بوده است. مدیریت شخصی یا سازمانی (شبکه‌های آبیاری و زهکش) در انجام آبیاری در مراحل حساس به تنش خشکی از جمله در مراحل گل‌دهی و پرشدن غلاف‌ها در این تفاوت معنی‌دار مؤثر بوده است. مدیریت صحیح در استفاده از منبع آب سطحی از طریق شبکه‌های آبیاری و زهکشی به‌خصوص در منطقه بنه‌باشت (زیرپوشش شبکه آبیاری رودخانه خیرآباد) که اغلب سامانه‌های آبیاری بارانی وجود دارند و نوبت‌های آبیاری به‌صورت منظم ۴ روزه اعمال می‌شوند موجب شده که در مراحل گل‌دهی و پرشدن دانه در کلزا، گیاه با تنش خشکی مواجه نشود. این مدیریت در افزایش عملکرد کلزا نمود پیدا کرده و افزایش عملکرد کلزا همان‌طور که در ابتدا ذکر شد اثر بسیار معنی‌داری در افزایش بهره‌وری آب کاربردی داشت. نوبت‌های آبیاری اثر مثبت و معنی‌داری در بهره‌وری آب کاربردی داشت که اثر معنی‌دار و مثبت رعایت تاریخ کاشت کلزا بر بهره‌وری آب کاربردی کلزا با نتایج پژوهش سلامتی و همکاران (۱۷) در ارزیابی بهره‌وری آب آبیاری گندم هم‌خوانی داشت. به‌عبارت دیگر رعایت تاریخ کاشت گیاهان زراعی پاییزه در مناطق گرمسیری موجب افزایش طول دوره رشد گیاه، تکمیل مراحل رویشی و زایشی گیاه زراعی و به‌تبع افزایش عملکرد و بهره‌وری آب کاربردی گیاه خواهد شد. بیشتربودن تعداد نوبت‌های آبیاری در رسیدن به‌موقع آب به ریشه و عدم بروز تنش خشکی در مراحل گل‌دهی و پرشدن دانه مؤثر بوده است و این اثر در افزایش عملکرد دانه و به‌طور غیر مستقیم بر بهره‌وری آب کاربردی اثر معنی‌داری درسطح ۵ درصد داشت.

نتایج ضریب همبستگی پیرسون محاسبه شده برای صفات اندازه‌گیری شده در جدول ۸ نشان داد که:

نوبت‌های آبیاری همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح ۵ درصد با صفات عملکرد و بهره‌وری آب کاربردی داشتند. این میزان همبستگی به‌ترتیب معادل ۰/۳۸۰ و ۰/۴۵۵ بودند (جدول ۸). به عبارت دیگر با بیشترشدن نوبت‌های آبیاری درعمل حجم آب آبیاری کاهش یافته و به اندازهٔ نیاز گیاه نزدیک شده است و همین مسئله موجب افزایش عملکرد و بهره‌وری آب کاربردی

**جدول ۶. تجزیه و تحلیل واریانس در مدل رگرسیون برای متغیر بهره‌وری آب کاربردی (آب آبیاری + بارندگی مؤثر) در سال اجرای آزمایش**

| منابع تغییر | درجه آزادی | میانگین مربعات | F محاسبه شده | ضریب رگرسیون | ضریب تبیین | ضریب تبیین تعدیل‌شده | سطح معنی‌داری |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مدل | ۱۴ | ۰/۰۳۶ | ۱۱۵/۴۳۱ | ۰/۹۹۶ | ۰/۹۹۳ | ۰/۹۸۴ | ۰/۰۰۰** |
| خطا | ۱۲ | ۰/۰۰۰ | | | | | |
| کل | ۲۶ | | | | | | |

**: اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد،*: اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد و .n.s: اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

**جدول ۷. ضرایب متغیرها در معادله رگرسیون برای متغیر وابسته بهره‌وری آب کاربردی (آب آبیاری + بارندگی مؤثر) در سال اجرای آزمایش**

| مدل | ضرایب غیر استاندارد | | ضرایب استاندارد | t محاسبه شده | سطح معنی‌داری |
|---|---|---|---|---|---|
| | ضریب B | خطای معیار | Beta | | |
| عدد ثابت | −۰/۱۹۹ | ۰/۰۹۸ | — | ۲/۰۳۴ | ۰/۰۶۵n.s |
| $X_1$ = سطح سواد بهره‌بردار | −۰/۰۰۲ | ۰/۰۰۴ | −۰/۰۲۱ | −۰/۵۷۳ | ۰/۵۷۷n.s |
| $X_2$ = منبع آب | ۰/۰۳۹ | ۰/۰۱۳ | ۰/۱۷۹ | ۲/۹۴۷ | ۰/۰۰۸** |
| $X_3$ = دبی آب آبیاری | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | −۰/۰۷۵ | −۱/۱۶۷ | ۰/۲۶۶n.s |
| $X_5$ = شوری آب آبیاری (dS/m) | ۰/۰۸۲ | ۰/۱۱۱ | ۰/۸۱۵ | ۰/۷۴۶ | ۰/۴۷۰n.s |
| $X_6$ = سطح کل بهره‌بردار (ha) | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | −۰/۰۴۵ | −۰/۹۱۸ | ۰/۳۷۷n.s |
| $X_7$ = سطح زیرکشت کلزا (ha) | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۶۸ | ۰/۹۹۴ | ۰/۳۴۰n.s |
| $X_8$ = شوری خاک (dS/m) | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۱ | −۰/۰۲۲ | −۰/۴۸۸ | ۰/۶۳۵n.s |
| $X_9$ = طول دوره رشد (day) | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۶۵ | ۱/۶۷۰ | ۰/۱۲۱n.s |
| $X_{10}$ = نوع سامانه آبیاری | −۰/۰۲۵ | ۰/۰۲۱ | −۰/۰۹۲ | −۱/۱۹۹ | ۰/۲۵۴n.s |
| $X_{11}$ = میانگین عمق آب آبیاری (mm) | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۰ | ۰/۳۷۸ | ۲/۸۱۱ | ۰/۰۰۶** |
| $X_{12}$ = نوبت‌های آبیاری | ۰/۰۱۵ | ۰/۰۰۷ | ۰/۳۰۵ | ۲/۳۰۷ | ۰/۰۲۵* |
| $X_{13}$ = نیاز آبشویی (٪) | −۰/۰۲۸ | ۰/۰۳۳ | −۹۰۴۰ | −۰/۸۳۶ | ۰/۴۱۹n.s |
| $X_{14}$ = عملکرد کلزا (kg/ha) | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | ۰/۸۸۰ | ۲۳/۹۹۷ | ۰/۰۰۰** |
| $X_{15}$ = حجم آب کاربردی ($m^3$/ha) | −۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۰ | −۰/۷۹۳ | −۱۱/۷۰۲ | ۰/۰۰۰** |

**: اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد،*: اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد و .n.s: اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

شد. از طرفی با کاهش تعداد نوبت‌های آبیاری و افزایش دور آبیاری فاصله نوبت‌های آبیاری زیاد شده و درعمل در زمان‌هایی که گیاه کلزا می‌بایست آب بیشتری در اختیار داشته باشد از جمله زمان گل‌دهی و پرشدن دانه با کم‌آبی یا بی‌آبی مواجه شده است و همین امر در کاهش عملکرد و به تبع کاهش بهره‌وری در تیمارهای آبیاری سطحی مؤثر بوده است و باعث شده تا تیمارهایی که دور آبیاری آنها کاهش یافته یا به‌عبارتی تعداد نوبت‌های آبیاری آنها افزایش یافته اثر مثبت و معنی‌داری در روند صعودی عملکرد و بهره‌وری آب کاربردی داشته باشند. دبی آب آبیاری همبستگی منفی و معنی‌داری در

**جدول ۸. ضریب همبستگی پیرسون محاسبه شده برای شاخص‌های اندازه‌گیری شده در سامانه‌های آبیاری سطحی و بارانی**

| | حجم آب کاربردی ($m^3/ha$) | بهره‌وری آب کاربردی ($kg/m^3$) | عملکرد ($kg/ha$) | نیاز آبشویی (٪) | راندمان کاربرد (٪) | نیاز آبی (پنمن- مانتیث) (mm) | بارش مؤثر (mm) | نوبت های آبیاری | طول دوره رشد (روز) | شوری خاک (dS/m) | شوری آب (dS/m) | دبی (لیتر بر ثانیه) | n =۲۷<br>۰/۳۶۸۳=٪۵<br>۰/۴۷۱۶=٪۱ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| حجم آب کاربردی ($m^3/ha$) | ۰/۲۶۹ | -۰/۱۶۰ | ۰/۰۱۶ | -۰/۴۵۷* | -۰/۲۴۸ | ۰/۱۲۴ | -۰/۳۷۱ | -۰/۲۴۷ | -۰/۲۵۱ | -۰/۶۱۲** | -۰/۴۶۵* | ۱ | دبی (لیتر بر ثانیه) |
| بهره‌وری آب کاربردی ($kg/m^3$) | -۰/۱۱۷ | -۰/۰۰۱ | -۰/۱۵۱ | ۰/۹۹۹** | ۰/۲۴۵ | -۰/۱۷۴ | ۰/۱۸۰ | ۰/۱۶۹ | ۰/۰۶۷ | ۰/۴۲۷* | ۱ | | شوری آب (dS/m) |
| عملکرد ($kg/ha$) | ۰/۰۸۱ | ۰/۱۴۸ | ۰/۱۷۱ | ۰/۴۱۷* | -۰/۰۲۹ | -۰/۱۵۵ | ۰/۳۸۲* | ۰/۳۰۲ | ۰/۲۰۹ | ۱ | | | شوری خاک (dS/m) |
| نیاز آبشویی (٪) | ۰/۱۷۲ | ۰/۱۴۶ | ۰/۲۴۹ | ۰/۰۷۲ | ۰/۱۵۰ | ۰/۵۹۱** | ۰/۸۴۹** | -۰/۰۶۹ | ۱ | | | | طول دوره رشد (روز) |
| راندمان کاربرد (٪) | ۰/۲۱۷ | ۰/۴۵۵* | ۰/۳۸۰* | ۰/۱۷۲ | ۰/۱۰۰ | -۰/۱۲۵ | ۰/۱۹۴ | ۱ | | | | | نوبت های آبیاری |
| نیاز آبی (پنمن- مانتیث) (mm) | ۰/۲۲۷ | ۰/۲۷۲ | ۰/۴۱۸* | ۰/۱۷۷ | -۰/۱۳۹ | ۰/۱۵۳ | ۱ | | | | | | بارش مؤثر (mm) |
| بارش مؤثر (mm) | -۰/۰۰۱ | -۰/۰۷۱ | -۰/۰۷۲ | -۰/۱۶۲ | ۰/۵۲۳** | ۱ | | | | | | | نیاز آبی (پنمن-مانتیث) (mm) |
| نوبت های آبیاری | -۰/۷۹۷** | ۰/۲۳۸ | -۰/۲۷۱ | ۰/۲۵۶ | ۱ | | | | | | | | راندمان کاربرد (٪) |
| طول دوره رشد (روز) | -۰/۱۲۹ | -۰/۰۰۳ | -۰/۱۴۷ | ۱ | | | | | | | | | نیاز آبشویی (mm) |
| شوری خاک (dS/m) | ۰/۱۱۱ | ۰/۸۰۵** | ۱ | | | | | | | | | | عملکرد ($kg/ha$) |
| شوری آب (dS/m) | -۰/۴۷۸** | ۱ | | | | | | | | | | | بهره‌وری آب کاربردی ($kg/m^3$) |
| دبی (لیتر بر ثانیه) | ۱ | | | | | | | | | | | | حجم آب کاربردی ($m^3/ha$) |

سطح ۵ و ۱ درصد به‌ترتیب با صفات شوری آب و شوری خاک داشت. این میزان همبستگی به‌ترتیب معادل ۰/۴۶۵ و ۰/۶۱۲ بودند (جدول ۸). مزارعی که از دبی بالاتری استفاده کرده‌اند شوری آب و خاک آنها کمتر بوده است. هر چه میزان دبی افزایش یافته شوری آب و خاک کاهش یافته است. به عبارت دیگر مزارعی که دبی آب کمتری داشته‌اند احتمال شوری آب و خاک آنها بیشتر است. البته این نتیجه از طرفی حاکی از آن است که دبی بیشتر وبه تبع آن آب در دسترس، در آبشویی خاک بی‌تأثیر نبوده و این مسئله نشان می‌دهد عمده مزارعی که آب و خاک شوری داشتند از دبی پایین‌تری استفاده کرده‌اند بهره‌وری آب همبستگی مثبتی در سطح ۱ درصد به میزان ۰/۸۰۵ با عملکرد دانه داشت. بهره‌وری آب کاربردی همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح ۱ درصد به میزان ۰/۴۷۸ با حجم آب کاربردی داشت. به‌عبارت دیگر همان‌طور که آماره t و ضریب بتای حجم آب آبیاری با بهره‌وری از ضرایب متناظر آن در عملکرد کمتر بود، قدر مطلق ضریب همبستگی حجم آب آبیاری از عملکرد کمتر بود. به بیان دیگر، تأثیر عملکرد بر تغییرات بهره‌وری آب از حجم آب کاربردی بیشتر بود به‌طوری که عملکرد سیر تغییرات بسیار معنی‌داری را بر بهره‌وری آب کاربردی داشت. بنابراین، کاهش مصرف آب از طریق افزایش تعداد نوبت‌های آبیاری در سامانه‌های آبیاری بارانی موجب شده تا از هرزآب‌ها از جمله رواناب‌های انتهایی جویچه‌های انتهاباز در روش آبیاری سطحی جلوگیری شود و نفوذ عمقی در ابتدای جویچه‌ها آبیاری کاسته شود و کاهش هم‌زمان مصرف آب و کاسته‌نشدن عملکرد در این تیمارها نسبت به تیمارهای آبیاری سطحی با هم موجب افزایش بهره‌وری شد (جدول ۸). روند تغییرات نیاز آبشویی با روند تغییرات شاخص‌های شوری خاک و شوری آب مورد استفاده تغییرات معنی‌داری به‌ترتیب در سطوح ۱ و ۵ درصد داشتند. به‌عبارت دیگر روند تغییرات نیاز آبشویی با روند تغییرات شوری آب و خاک هم‌راستا بود. این هم‌سو بودن و معنی‌دار بودن روند تغییرات نیاز آبشویی و با شوری آب و خاک با نتایج پژوهش سلامتی و همکاران (۱۷) هم‌خوانی داشت.

## نتیجه‌گیری

مقایسه نتایج میانگین صفات با آزمون تی نشان داد که بهره‌وری آب کاربردی و حجم آب کاربردی در دو سامانه آبیاری بارانی و سطحی اختلاف معنی‌داری با هم داشتند. مقایسه نتایج میانگین شاخص‌های اندازه‌گیری و محاسبه‌شده برای مزارع سنتی و مدرن نشان داد مدیریت اعمال شده برای استفاده از منابع آب سطحی از طریق شرکت‌های آبیاری و زهکشی در مزارع مدرن موجب شده تا اراضی زیر پوشش این شبکه‌های آبیاری که گاهی دارای سامانه آبیاری بارانی هستند با دور آبیاری کمتر، تعداد نوبت‌های آبیاری را افزایش داده و در عوض حجم آب داده شده در هر نوبت آبیاری کم شده و به اندازه واقعی مورد نیاز گیاه نزدیک‌تر شود. دور آبیاری ۴ روزه در سامانه آبیاری بارانی موجب تأمین آب کافی در دوره گل‌دهی و پرشدن دانه و کاهش آب آبیاری نسبت به مزارع سنتی شده است. عدم تحویل حجمی آب منابع زیرزمینی به کشاورزان از یک‌سو، طول نامناسب و گاهی زیاد جویچه‌های آبیاری کلزا و عدم حضور به موقع آبیارها در زمان قطع آب از سوی دیگر موجب افزایش فرونشت عمقی در ابتدای جویچه‌های آبیاری و افزایش رواناب از انتهای جویچه‌ها شده است. مجموع، این عوامل موجب افزایش حجم آب آبیاری در مزارع سنتی نسبت به مزارع مدرن و کاهش راندمان کاربرد در مزارع سنتی شد. مقایسه نتایج میانگین شاخص‌های اندازه‌گیری و محاسبه شده برای شبکه‌های مدرن و سنتی بهترین عملکرد خود را در تنظیم دور آبیاری در سامانه آبیاری بارانی نشان داد و موجب شد تا بهره‌وری آب مزارع مدرن نسبت به مزارع سنتی اختلاف معنی‌داری داشته باشند. نتایج تجزیه و تحلیل واریانس در مدل رگرسیون نشان داد بعد از عملکرد و بهره‌وری آب کاربردی، نوع منبع آب مورد استفاده کشاورز که سطحی (رودخانه) یا زیرزمینی (چشمه یا چاه) باشد، بیشترین اثر معنی‌دار را بر بهره‌وری آب کاربردی داشتند. نتایج ضریب همبستگی پیرسون نشان دادند اثر افزایشی بسیار مؤثر عملکرد بر

بهره‌وری آب کاربردی ارتباط اساسی با نوبت‌های آبیاری داشت و افزایش تعداد نوبت‌های آبیاری و کاهش میزان آب آبیاری در هر نوبت آبیاری مطابق با نیاز گیاه در کاهش تلفات فرونشت عمقی بسیار مؤثر بود.

**سپاسگزاری**

بدین‌وسیله از معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان و ایستگاه تحقیقات کشاورزی بهبهان (طرح تحقیقاتی به‌شماره ۰۱۴-۷۱-۱۴-۰۳۸-۹۵۰۱۳-۹۸۰۵۹۸) برای حمایت‌های مادی و معنوی در انجام این پژوهش سپاسگزاری می‌شود.

## منابع مورد استفاده

1. Abbasi, F., N. Abbasi and A. Tavakili. 2017. Water productivity in agriculture: challenges and perspectives. *Journal of Water and Sustainable Development* 4(1): 141-144 (In Farsi).
2. Abbaspour, R. and N. Yazdanpanah. 2021. Determining the optimal irrigation interval for canola plant in surface and subsurface drip irrigation methods in Hajiabad region. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 2(15): 444-454 (In Farsi).
3. Afshari, A., P. Haghighatjo, F. Karandish, O. Mohammadrezapour and S. Kouhestani. 2020. The effect of deficit irrigation on yield and water use efficiency of several main crops in Jiroft. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 51(8): 2137-2148 (In Farsi).
4. Anonymous, 1985. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, FAO29-Chap2.
5. Anonymous. 2019. Agricultural statistics of crops. Crop year 2017-18. Statistics and Information Unit of the Ministry of Jihad Agriculture (In Farsi).
6. Bahrami, M., M. A. Asadi and S. Khalilian. 2020. Evaluation of water productivity indices with emphasis on modern and traditional irrigation in crops of Shahriar County. Environmental *Water Engineering* 6(3): 285-293 (In Farsi).
7. Cashin, P., K. Mohaddes and M. Raissi. 2014. The differential effects of oil demand and supply shocks on the global economy. *Energy Economics* 44: 113-134.
8. FAO. 2013. Food Outlook. Global Market Analysis. http://www.fao.foodoutlook.com
9. Farahza M. N., B. Nazari, M. R. Akbari, M. S. Naeini and A. Liaghat. 2020. Assessing the physical and economic water productivity of annual crops in Moghan plain and analyzing the relationship between physical and economic water productivity. *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering* 11 (44): 166-179 (In Farsi).
10. Haghayeghi, A and H. Dehghanisanij. 2018. Agricultural Water Productivity in Khorasan Razavi Province (Status, Upgrade Methods, Development Perspective). *Water Management in Agriculture* 5 (2): 1-10 (In Farsi).
11. Heydari, N. 2014. Assessment of agricultural water productivity (WP) in Iran, and the performance of water policies and plans of the government in this regard. *Majlis and Rahbord*. 21(78): 177-199 (In Farsi).
12. Kouhi Chelleh Karan, N., H. Najafi Nejad, H. Dehghanisanij and E. Kanani. 2021. Interaction of irrigation regimes and drip-line installation depth on Rapeseed water productivity. *Water Management in Agriculture* 7 (2): 91-102 (In Farsi).
13. Marie, T. A. S. 2015. Calculation of crop water requirements uses CROPWAT. FAO. CROPWAT.8. Training course on Agronomic and engineering aspects of adaptation to climate change in Mediterranean agriculture. http://www.fao.org/nr/water/infores_databases.html
14. Moradi Aghdam A., S. Seifzadeh, A. Hossein Shirani Rad, A. Valladabadi and H. Reza Zakerin. 2018. Effects of water deficit on water use efficiency and yield of Canola cultivars (*Brassica napus L.*). *Journal of Crop Physiology* 10 (38): 59-76 (In Farsi).
15. Rahimi, M., V. Rezaverdinejad and H. Tayefe Rezaie. 2020. Determination of Yield and Water Productivity Functions of Common Hybrids of Canola (Case Study of Miandoab City). *Water Management in Agriculture* 7(1): 83-94. (In Farsi).
16. Sakthivadivel, R., C. de Fraiture, D. J. Molden, C. Perry and W. Kloezen. 1999. Indicators of land and water productivity in irrigated agriculture. *International Journal Water Resources Development* 15: 161-179.
17. Salamati, N., J. Baghani and F. Abbasi. 2020. determination of water consumption and productivity of wheat in different irrigation systems in Behbahan. *Irrigation Sciences and Engineering* 43 (1): 29-42 (In Farsi).

18. Sangtarashan, A., S. M. Mirlatifi and H. Dehghani Sanij. 2021. Effects of improved agricultural field practices on water productivity and water use efficiency indices in the eastern basin of lake Urmia. *Journal of Water Research in Agriculture* 35 (1): 35-46 (In Farsi).
19. Vafabakhsh, J., M. Nassiri Mahallati, A. Koocheki and M. Azizi1. 2009. Effects of water deficit on water use efficiency and yield of Canola cultivars (*Brassica napus). Iranian Journal of Crop Research* 7 (1): 285-292 (In Farsi).
20. Zamani, O., S. A. Mortazavi and H. Balali. 2015. Economical water productivity of agricultural products in Bahar Plain, Hamadan. *Water Research in Agriculture* 28(1): 51- 61 (In Farsi).
21. Zibaei, M. 2007. Factors affecting the non-continuity of use of sprinkler irrigation systems in Fars province: comparing logit analysis and audit analysis. *Agricultural Economics* 2: 183 - 194 (In Farsi).

**Journal of Water and Soil Science**
**Vol. 27, No. 2, Summer 2023, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.**

# Evaluation of Canola Yield and Applied Water Productivity in Surface and Sprinkler Irrigation Systems (Case Study: Behbahan)

**N. Salamati[1*], M. Moayeri[2] and F. Abbasi[3]**

(Received: October 24-2021 ; Accepted: December 13-2022)

## Abstract

The objective of the present study was to conduct field studies for direct measurement of canola under farmers' management in one crop season (2019-2020) in 27 farms in Behbahan, Khuzestan province. Water requirement was calculated based on the FAO Penman-Monteith model using the daily statistics of the Behbahan synoptic meteorological station. A T-test was used to statistically compare the results such as the depth of irrigation and applied water productivity in the field in different irrigation systems. Linear multivariate regression analysis was used to investigate the effects of the independent variable on the dependent parameter of water productivity. The volume of applied water in the fields ranged from 4085.5 to 7865.3 $m^3$/ha. The results of comparing the average yield of two irrigation systems in the t-test showed that the two sprinkler and surface irrigation systems with yields of 2614 and 2330 kg/ha, respectively, were not significantly different. Applied water productivity in traditional and modern irrigation systems was calculated to be 0.386 and 0.486 kg/$m^3$, respectively, which had significant differences. The results of the analysis of variance in the regression model showed that among the independent variables, yield with t-statistic (23.997) and equivalent beta coefficient (0.880) had the most significant positive effect at a 1% level on applied water productivity. After that, the volume of applied water (irrigation water + effective rainfall) with a t-statistic of (-11.702) and a beta coefficient of equivalent (-0.793) had the most negative and significant effect at the level of 1% on the applied water productivity. The results of the Pearson correlation coefficient showed that irrigation events had a positive and significant correlation at a 5% level with applied water and yield. These correlations were 0.455 and 0.380, respectively. By increasing irrigation events, the volume of applied water has practically decreased and has become as close as the plant needs, and has increased water productivity.

**Keywords**: T-test, Regression coefficient, Irrigation events, Water requirement

1. Department of Agricultural Engineering Research, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran.
2. Department of Agricultural Engineering Research, Safiabad Dezful Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education, and Extension Organization (AREEO), Dezful, Iran.
3. Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research Education, and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
*: Corresponding author, Email: nadersalamati@yahoo.com