نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۸، مهر - آبان ۱۴۰۳، ص. ۶۵۵-۶۶۵

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.4, Vol. 18, Oct.-Nov. 2024, p. 655-665

مقاله علمی-پژوهشی

ارزیابی بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب تحت شرایط کم‌آبیاری تنظیم شده و کم‌آبیاری ناقص ریشه گیاه آفتابگردان

حجت علیخانی مهوار[۱]، حسین بابازاده[۲*]، علی قدمی فیروزآبادی[۳]، مهدی سرائی تبریزی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۷

چکیده:

مدیریت آب آبیاری و افزایش بهره‌وری آب با اعمال روش‌های کم‌آبیاری در بخش کشاورزی از مهم‌ترین اقدامات سازگاری با کم‌آبی است. در این پژوهش اثر کم‌آبیاری تنظیم‌شده و کم‌آبیاری ناقص ریشه بر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در گیاه آفتابگردان، در قالب بلوک‌های کامل تصادفی بررسی شد. تیمارها شامل آبیاری کامل (FI)، کم‌آبیاری تنظیم‌شده (DI) و آبیاری ناقص ریشه (PRD) در دو سطح ۷۵ و ۵۵ درصد بود. نتایج نشان داد که اعمال تیمارهای PRD_{75} و DI_{75} باعث کاهش مصرف آب به میزان ۱۶/۵درصد و اعمال تیمارهای PRD_{55} و DI_{55} باعث کاهش، ۲۹/۵ درصدی در آب آبیاری، در دوره رشد گیاه، در مقایسه با تیمار FI شد. از طرفی اثر تیمارها بر بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری بر عملکرد دانه، در سطح یک درصد معنی‌دار شد. بیشترین مقدار بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری بر عملکرد دانه، مربوط به تیمار PRD_{75} با مقدار ۱/۳ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمد. اثر تیمارها بر بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری بر عملکرد زنده گیاهی نیز، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. بیشترین میزان بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری بر عملکرد توده زنده گیاهی مربوط به تیمار FI با مقدار ۴/۳ کیلوگرم بر مترمکعب شد. همچنین اثر تیمارها بر بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری بر عملکرد دانه نیز، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. بیشترین میزان بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری بر عملکرد دانه، مربوط به تیمار PRD_{75} با مقدار۴۱۴/۶ هزار ریال بر مترمکعب شد. لذا استفاده از روش کم آبیاری ناقص ریشه در سطح ۷۵ درصد، بدلیل بالا بودن بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب آبیاری بر عملکرد دانه و همچنین صرفه‌جویی در مصرف آب، توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری‌کامل، آفتابگردان، بهره‌وری، عملکرد توده زنده گیاه، عملکرد دانه

مقدمه:

در سال‌های اخیر، مسئله کمبود آب به مهم‌ترین مشکل کشور تبدیل شده است. کمبود یا بحران آب باعث می‌شود که نیاز به مدیریت و بهینه‌سازی مصرف آب در بخش کشاورزی بیش از پیش احساس گردد. یکی از موثرترین راهکارهای مقابله با بحران آب، توجه جدی به بهره‌وری (فیزیکی و اقتصادی) آب و ارتقای آن با اعمال روش‌ها و سیاست‌های مناسب است (ملا رضا قصاب و همکاران، ۱۳۹۹). بطور کلی می‌توان گفت که بهره‌وری آب در کشاورزی شاخص مناسبی برای ارزیابی مدیریت کشاورزی در مناطق مختلف بوده (Karimi et al., 2017) و تعیین آن در مزارع و باغات یکی از ملزومات بهینه‌سازی مصرف آب و بالابردن راندمان کاربرد آب در سطح مزارع و باغ ها است (Johnson et al., 2016). بهره‌وری فیزیکی آب[۵] (WP) یا مقدار ماده خشک تولیدی به ازای واحد حجم آب مصرفی و بهره‌وری اقتصادی آب[۶] (NBPD) یا مقدار سود خالص به ازای واحد حجم آب مصرفی، از مهم‌ترین عوامل مؤثر در برنامه-ریزی آبیاری می‌باشند. به طور نسبی، در شرایط زراعی، کاهش آب

۱-دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲-استاد، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۳-دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران
۴-استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: h_babazadeh@srbiau.ac.ir)

5- Water productivity
6- Net Benefit Per Drop

مصرفی، سبب افزایش راندمان و بهره‌وری آب می‌شود. به عبارت دیگر در شرایط نزدیک به تنش آبی، گیاه در مقایسه با شرایط آبیاری کامل[1]، نسبت به مقدار آب مصرف شده، محصول بیشتری تولید می‌کند (Ghaffari et al., 2020). بنابراین یکی از روش‌های مؤثر در ارتقاء بهره‌وری آب، می‌تواند استفاده از روش‌های کم‌آبیاری، بدلیل کاهش مصرف آب باشد. در سال‌های اخیر، روش‌های مختلف کم‌آبیاری، توسعه پیدا کرده و برای گیاهان مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌اند (Omidi et al., 2020). هدف اساسی کم‌آبیاری، افزایش بهره‌وری مصرف آب به وسیله افزایش کفایت آبیاری است (English et al., 1990). کم‌آبیاری یک راهکار بهینه برای به عمل آوردن محصول، تحت شرایط کمبود آب است که معمولاً همراه با کاهش محصول در واحد سطح می‌باشد (Sarami et al., 2020). برای انجام کم‌آبیاری می‌توان از دو روش کم‌آبیاری تنظیم شده[2] و کم‌آبیاری به کمک روش آبیاری ناقص ریشه[3]، استفاده کرد. در روش کم‌آبیاری تنظیم شده، میزان آب داده شده به گیاه کمتر از حد مورد نیاز آن بوده و در دوره‌های غیرحساس رشد گیاه اعمال می‌شود تا موجب کاهش محصول نگردد. در کم‌آبیاری با روش آبیاری ناقص ریشه نیز، عمدتاً منطقه ریشه به دو نیمه تقسیم شده و در هر بار آبیاری، نیمی از منطقه ریشه، کمتر از حد مورد نیاز گیاه، آبیاری شده و نیمه دیگر بصورت خشک، رها می‌گردد. این عمل به صورت تناوبی برای نیمه دیگر ریشه، تکرار می‌گردد (Shahnazari et al., 2007).

اثرات مثبت بهره‌گیری از روش‌های کم‌آبیاری، این لازمه را ایجاد می‌کند که این روش‌ها، در گیاهان مختلف، مورد بررسی قرار گیرند. یکی از گیاهان قابل توصیه برای اعمال کم‌آبیاری، گیاه آفتابگردان است. این گیاه بهتر از سایر گیاهان زراعی یک ساله، قادر به تحمل کم‌آبی است (اسماعیلی و همکاران، ۱۴۰۱). آفتابگردان یکی از چهار گیاه عمده تولید روغن درجهان بوده و عمدتاً به خاطر روغن خوراکی آن کشت می‌شود. با توجه به اهمیت دانه‌های روغنی و واردات بیش از ۹۰ درصدی روغن مورد نیاز کشور از خارج، افزایش سطح زیر کشت و عملکرد دانه در واحد سطح این دسته از گیاهان، اهمیت بالایی دارد (Ghaffari et al., 2020). در بین گیاهان دارای دانه های روغنی، طبق گزارش سازمان جهانی خواربار و کشاورزی، آفتابگردان سهم ۸ درصدی در تولید روغن‌های گیاهی را در دنیا داشته و جایگاه مهمی را در بین این دسته از گیاهان به خود اختصاص داده است (FAO, 2020). نیاز مداوم به روغن خوراکی، سبب افزایش قابل توجه کشت آفتابگردان در ایران و جهان، طی سال‌های اخیر شده است. بر اساس آمار سازمان جهانی خواربار و کشاورزی، کل تولید جهانی آفتابگردان در سال۲۰۲۰ حدود ۵۰/۲ میلیون تن و سطح زیر کشت آن حدود ۳۳ میلیون هکتار با متوسط عملکرد حدود ۱۴۸۲ کیلوگرم در هکتار بوده است (FAO, 2020). روسیه بزرگ‌ترین تولیدکننده آفتابگردان با حدود ۸/۹ میلیون هکتار سطح زیر کشت و تولید حدود ۱۳/۳ میلیون تن در سال می‌باشد و کشورهای اوکراین و آرژانتین در رتبه‌های دوم و سوم و ایران در رتبه ۳۵ دنیا قرار دارند (FAO, 2020). سطح زیرکشت این گیاه در ایران حدود ۱۲ هزار هکتار و متوسط تولید حدود ۹۰۰ کیلوگرم در هکتار است و استان‌های سمنان، گلستان و خراسان شمالی به ترتیب بیشترین سطح زیرکشت این محصول را به خود اختصاص داده‌اند (آمارنامه کشاورزی، سال زراعی۱۴۰۰-۱۴۰۱). نیاز آبی آفتابگردان از۶۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر بسته به اقلیم و طول دوره‌ی رشد، متفاوت است (Doorenbos et al., 1979).

اگرچه عوامل مختلفی در کاهش عملکرد و میزان تولید آفتابگردان مؤثر می‌باشند، اما تنش آبی، از عوامل اصلی محدودکننده تولید این گیاه در مناطق خشک و نیمه خشک به شمار می‌آید (اسماعیلی و همکاران، ۱۴۰۱؛ راضی و همکاران، ۱۳۷۷). در خصوص اثر تنش آبی بر گیاه آفتابگردان، مطالعات مختلفی انجام شده است. در این پژوهش‌ها اعمال کم‌آبیاری در مراحل مختلف رویش گیاه، اعمال کم‌آبیاری بر مبنای برآورده کردن بخشی از نیاز آبی گیاه در کل دوره رشد و اعمال کم‌آبیاری با تنظیم دور آبیاری بصورت ثابت و متغیر، مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا، اسماعیلی و همکاران (۱۴۰۱) به منظور بررسی اثر کم‌آبیاری در مرحله زایشی بر کارآیی مصرف آب و تحمل خشکی ارقام آفتابگردان، آزمایشی با تیمارهای کرت اصلی شامل: بدون تنش کم‌آبی، تنش کم‌آبی ملایم و تنش کم‌آبی شدید و کرت فرعی شامل پنج هیبرید جدید آفتابگردان روغنی به نام‌های کیارا، اسکار، فانتازیا، های سان ۹۹ و شمس انجام دادند. نتایج نشان داد بیشترین کارآیی مصرف آب، در شرایط تنش کم‌آبی ملایم و تنش کم آبی شدید به ترتیب با ۰/۸۵ و ۰/۷۲ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمد. در بین ارقام آفتابگردان بیشترین کارآیی مصرف آب متعلق به رقم هایسان ۳۳ با مقدار ۱/۰۴ کیلوگرم بر مترمکعب بود. چراغی زاده و همکاران (۱۳۹۷) اثر کم‌آبیاری ناقص ریشه در دورهای آبیاری مختلف، بر بهره‌وری آب و پارامترهای رشد گیاه آفتابگردان، را با شش تیمار دور آبیاری و مقدار آب آبیاری، بررسی نمودند. دورها شامل آبیاری بعد از۲۰، ۳۵ و۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر و مقدار آب آبیاری در سه مقدار ۱۰۰، ۷۵ و ۵۵ درصد نیاز آبی بود. با بررسی همزمان شاخص بهره‌وری آب آبیاری و نیز پارامترهای رشد گیاه آفتابگردان، این نتیجه حاصل شد که با بهره‌گیری ازکم آبیاری ناقص ریشه در سطح ۷۵ درصد و دور آبیاری ۳۵ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر، می‌توان ضمن افزایش شاخص بهره‌وری آب، با کمترین کاهش در شاخص‌های رشد گیاه آفتابگردان مواجه شد. قدمی فیروزآبادی و همکاران (۲۰۱۵) طی پژوهشی تأثیر سطوح مختلف

1- Full Irrigation
2- Regulated deficit irrigation
3- Partial rootzone drying

آبیاری را بر روی گیاه آفتابگردان مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد اثر تیمارهای مختلف بر میزان عملکرد دانه، وزن هزاردانه، عملکرد بیولوژیکی، درصد روغن دانه، عملکرد روغن، قطر طبق، تعداد دانه در طبق، درصد مغز به‌کل دانه و شاخص سطح برگ، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. بیشترین مقدار عملکرد دانه مربوط به تیمار آبیاری کامل و بیشترین تعداد دانه در طبق نیز مربوط به تیمار آبیاری کامل و آبیاری بخشی ریشه در سطح ۷۵ درصد بود. الباجی و همکاران (۲۰۱۱) عملکرد گیاه آفتابگردان را در دشت اهواز و برای روشهای مختلف آبیاری (آبیاری مرسوم، کم‌آبیاری تنظیم شده و کم-آبیاری ناقص ریشه در سطوح ۵۰ و ۷۰ درصد)، با هدف تعیین بهترین روش آبیاری (بیشترین تولید در واحد حجم آبیاری)، بررسی نمودند. نتایج نشان داد روش آبیاری مرسوم روش برتر بوده و بیشترین عملکرد دانه و عملکرد روغن را داشته است. سرائی تبریزی و همکاران (۲۰۱۲) اثر آبیاری ناقص ریشه (PRD) را با اعمال تیمارهای DI_{50}، DI_{75} و PRD_{50} بر روی محصول سویا، بررسی نمودند. نتایج نشان داد که بهره‌وری فیزیکی آب در تیمار PRD_{50} بیشتر از سایر تیمارها بود و در شرایط نامحدود بودن زمین زراعی، بعنوان تیمار برتر قابل توصیه می‌باشد. فیروزپور و همکاران (۱۴۰۲) برای بررسی اثرات روش‌های کم آبیاری بر بهره‌وری آب برای برنج (رقم بینام)، آزمایشی با هشت تیمارشامل: کم‌آبیاری تنظیم شده و کم‌آبیاری بخشی ریشه در تنش‌های خشکی خاک ۱۰، ۳۰ و ۶۰ کیلوپاسکال و آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و آبیاری غرقابی انجام دادند. بر اساس نتایج، بیشترین و کمترین میزان بهره‌وری فیزیکی آب، به‌ترتیب برای تیمارهای PRD_{60} و آبیاری غرقابی بود و بیشترین و کمترین بهره‌وری سود خالص به ازای واحد حجم آب، بترتیب برای تیمارهای PRD_{60} و RDI_{60} بدست آمد. پالاش و همکاران (۱۴۰۱) اثرات کم آبیاری بر خصوصیات کمی، کیفی و بهره‌وری آب در ذرت دانه ای رقم سینگل کراس ۷۰۶ را در کرمانشاه، بررسی نمودند. نتایج نشان داد اثرات کم آبیاری بر عملکرد دانه، بهره‌وری مصرف آب نسبت به دانه و بهره‌وری مصرف آب نسبت به زیست توده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. مقدار بیشینه کارآیی مصرف آب نسبت به عملکرد دانه و زیست توده در تیمار بیش آبیاری به ترتیب معادل ۱/۱۵ و ۲/۷۴ کیلوگرم بر هکتار به دست آمدند. لذا، کم آبیاری ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۶ در کرمانشاه توصیه نشد. ذوالفقاران (۲۰۲۲) در یک کار تحقیقاتی، آب کاربردی و بهره‌وری مصرف آب در مزارع زعفران استان خراسان رضوی را بررسی نمود. نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های میدانی نشان داد که بیشترین حجم آب آبیاری زعفران متعلق به آبیاری سطحی به میزان ۴۶۹۱ مترمکعب در هکتار و کمترین آن مربوط به آبیاری با لوله‌های پیفلکس به میزان ۳۷۱۳ مترمکعب در هکتار بود. بیشترین بهره‌وری مصرف آب در شهرستان زاوه به میزان ۰/۰۰۱۶۶۹ کیلوگرم بر متر مکعب و کمترین آن مربوط به شهرستان گناباد به میزان ۰/۰۰۱۰۷۶ کیلوگرم بر متر مکعب به دست آمد.

با توجه به مطالب فوق و با عنایت به اهمیت شاخص بهره‌وری آب، نیاز به انجام مطالعات بیشتر به‌ویژه در استفاده از روش کم‌آبیاری ناقص ریشه، که کمتر به آن پرداخته شده است، لازم و ضروری به نظر رسید. لذا این پژوهش با هدف بررسی تأثیر مقدار آب آبیاری بر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب، با اعمال تنش آبی بر گیاه آفتابگردان، مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا با اعمال کم‌آبیاری تنظیم شده وکم‌آبیاری ناقص ریشه در سطوح مختلف، میزان آب مصرفی و بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب، نسبت به آبیاری کامل، بررسی شد که در ادامه به تفصیل ارائه می‌گردد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش بصورت یکساله و در یک مزرعه تحقیقاتی در نزدیکی شهر ساری، بر روی گیاه آفتابگردان (رقم آذر گل) انجام شد. طول و عرض جغرافیایی محدوده مطالعاتی، به ترتیب ۵۳/۰۷ و ۳۶/۶۵ درجه بود. مساحت زمین در نظر گرفته شده برای انجام آزمایش، حدود ۸۰۰ متر مربع تعیین شد. برای تعیین نیاز کودی از عمق توسعه ریشه، نمونه‌های خاک تهیه شده و مشخصات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ها مشخص گردید (جدول۱و۲).

جدول ۱- تجزیه شیمیایی و فیزیکی خاک مزرعه مطالعاتی

بافت خاک	pH	EC(ds/m)	OM%	OC%	K	P	N	Na	Mg	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn
لوم شنی	۷/۴۴	۳/۱۸	۱/۲۵	۰/۷۳	۱۲۳/۷۲	۳/۰۹	۰/۰۳۹	۲۸۲/۴	۱۶۵۸/۷	۵۶۹۰/۰۵	۱۴/۴۲	۱۴/۱۶	۱/۸۷	۰/۸۲

جدول۲- سایرخصوصیات خاک مزرعه مطالعاتی تا عمق ۸۰ سانتی‌متری

عمق (cm)	بافت	FC (٪ حجمی)	PWP(٪ حجمی)	ρ_b (gr/cm^3)
۰-۲۰	لوم شنی	۳۰/۳۲	۱۵/۴۲	۱/۴۶
۲۰-۸۰	لوم رسی	۳۲/۱۵	۱۵/۶۳	۱/۳۶

پس از تعیین نیاز کودی بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش خاک و توصیه‌های بهینه مصرف کود برای محصولات کشاورزی در ایران (ملکوتی، ۱۳۹۴)، کود نیتروژن به شکل اوره، کود پتاسیم به شکل سولفات پتاسیم و کود فسفر به شکل سوپر فسفات تریپل، به زمین داده شد. مقدار اوره، سوپر فسفات و سولفات پتاسیم مورد استفاده به ترتیب برابر ۲۳۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار بود. کود فسفر تماماً در حین کاشت و کود نیتروژن و پتاسیم در دو نوبت، یکی ۱۰ روز و دیگری ۳۰ روز بعد از کاشت، به‌صورت کودآبیاری با میزان یک‌سوم در نوبت اول و دوسوم در نوبت دوم به زمین داده شد. آزمایش با پنج تیمار آبیاری کامل (FI[1])، آبیاری ناقص ریشه در دو سطح ۷۵ درصد (PRD_{75}[2]) و ۵۵ درصد (PRD_{55}) و کم آبیاری تنظیم شده در دو سطح ۷۵ درصد (DI_{75}[3]) و ۵۵ درصد (DI_{55}) و در قالب بلوکهای کامل تصادفی و در سه تکرار انجام شد. فاصله ردیف-های کاشت ۷۵ سانتی‌متر، فاصله بوته روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر، طول ردیف‌های کشت ۱۰ متر و عمق کاشت در حدود ۴ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. همچنین به‌منظور جلوگیری از تأثیر تیمارها روی یکدیگر فاصله بین تیمارها یک متر تعیین شد. تاریخ کاشت اول خرداد و زمان شروع تیمارهای آبیاری ۳۸ روز بعد از کاشت (بعد از مرحله V8 یا همان ۸ برگی شدن گیاه) بوده است. تا زمان شروع اعمال تیمارهای آبیاری، تمام تیمارها به یک اندازه و برابر حجم آب مورد نیاز در تیمار آبیاری کامل، آب دریافت کردند. نوع سیستم آبیاری، قطره‌ای سطحی بود و از نوارهای تیپ با فواصل قطره‌چکان ۲۰ سانتی‌متر و دبی دو لیتر بر ساعت استفاده گردید. به‌منظور تأمین آب آبیاری، دو نوار تیپ به فاصله ۱۵ سانتی‌متر در طرفین ردیف‌های کشت قرار داده شد (شکل۱). در تیمارهای آبیاری کامل و کم‌آبیاری تنظیم شده، در هر نوبت آبیاری، آب در هر دو نوار موجود در اطراف ردیف کشت جریان داشت اما در تیمارهای آبیاری ناقص ریشه، در هر نوبت آبیاری، به‌صورت یک‌درمیان، تنها در یکی از نوارهای اختصاص‌یافته به هر ردیف کشت، آب جریان داشت. منبع تامین آب چاه بود، که مشخصات کیفی آن در جدول (۳) ارائه شده است. بر اساس طبقه‌بندی ویل کاکس (۱۹۵۸)، آب مورد استفاده در طبقه C2-S1 قرار گرفت، که محدودیتی برای استفاده در کشاورزی نداشت (قدمی و همکاران، ۱۳۹۳). با توجه به روش آبیاری قطره‌ای، آبیاری تیمارها یک روز در میان انجام می‌شد و در آبیاری ناقص ریشه، تغییر شیفت آبیاری ازیک‌طرف ردیف‌کشت به سمت دیگر آن، پس از شش روز (سه نوبت آبیاری) انجام می‌گرفت. همچنین جهت تعیین دقیق میزان حجم آب مصرفی مربوط به هر تیمار، از کنتورهای حجمی استفاده شد. لازم به ذکر است در آبیاری کامل، نیاز آبیاری بر پایه رابطه (۱) تعیین گردید و در تیمارهای کم‌آبیاری، بسته به نوع تیمار، درصدی از نیاز آبیاری کامل (FI) اعمال می‌شد.

که در رابطه فوق، θ_{FCi} درصد مقدار رطوبت وزنی در حد ظرفیت زراعی، θ_{li} درصد میزان رطوبت وزنی در خاک پیش از آبیاری، D_i عمق خاک آبیاری شده به میلی‌متر و Bd_i و Bd_w چگالی خاک و آب بر حسب گرم برسانتی‌متر مکعب است.

همچنین برای محاسبه مقدار بارندگی مؤثر در طول دوره رشد گیاه نیز از روش SCS استفاده گردید (علیزاده، ۱۳۹۴). برای تعیین عملکرد دانه و عملکرد توده زنده گیاه، در پایان فصل رشد، نمونه‌برداری‌های لازم انجام و وزن کل اندام هوایی و وزن دانه گیاه، در واحد سطح، اندازه‌گیری و بهره‌وری فیزیکی بر اساس رابطه ۲ تعیین شد. همچنین جهت تعیین بهره‌وری اقتصادی آب، هزینه کل و درآمد حاصل از کشت(دانه) برای واحد سطح (بر اساس قیمت‌های سال ۱۴۰۱)، مشخص و سپس سود خالص و بهره‌وری اقتصادی بر اساس رابطه ۳ محاسبه گردید:

$$WP = \frac{Y}{V} \qquad (۲)$$

در این رابطه WP بهره‌وری فیزیکی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، Y عملکرد فیزیکی محصول (حسب کیلوگرم) و V حجم آب مصرف شده (مترمکعب) هستند.

$$NBPD = \frac{P}{V} \qquad (۳)$$

که در آن NBPD بهره‌وری اقتصادی مصرف آب (هزار ریال بر مترمکعب)، P سود خالص حاصل از محصول تولیدی (هزار ریال) و V حجم آب مصرفی (مترمکعب) می‌باشد.

در ادامه جدول تجزیه واریانس و آنالیز آماری در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، برای عملکرد دانه و توده زنده گیاه و همچنین برای مقادیر محاسباتی بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب، تشکیل و مقایسه میانگین، برای همه شاخص‌ها، از طریق آزمون دانکن، انجام شد.

نتایج و بحث

میزان آب آبیاری در تیمارها

مقدار آب آبیاری و مقدار کاهش مصرف در تیمارهای مختلف در دوره رشد گیاه، در جدول (۴) ارائه گردیده است. همانگونه که جدول مذکور نشان می‌دهد، اعمال تیمارهای PRD_{75} و DI_{75} باعث کاهش ۲۵/۲ درصدی کاهش در مصرف آب آبیاری در طول دوره اعمال تیمار و همچنین کاهش مصرف آب آبیاری به میزان ۱۶/۵۲ درصد در دوره رشد گیاه در مقایسه با تیمار آبیاری کامل شد. از طرفی نتایج نشان داد که اعمال تیمارهای PRD_{55} و DI_{55} باعث کاهش ۴۴/۹

1- Full Irrigation
2- Partial Root Drying
3- Deficit Irrigation

درصدی در مقدار آب آبیاری در طول دوره اعمال تیمار و کاهش مصرف آب آبیاری به میزان ۲۹/۵۱ درصد در دوره رشد گیاه در مقایسه با تیمار آبیاری کامل گردید.

$$D_n = \sum_{i=1}^{m}\left[\frac{(\theta_{Fci} - \theta_{1i}) \times Bd_i \times D_i}{Bd_w \times 100}\right] \quad (۱)$$

شکل ۱- تصویری از ردیف‌های کشت در مزرعه و استقرار لترال‌های آبیاری

جدول ۳- آنالیز کیفی آب مورد استفاده در پژوهش

طبقه‌بندی	SAR	EC(ds/m)	Ca(meq/l)	Mg(meq/l)	Na(meq/l)	pH	TDS(mg/l)
C2-S1	۳/۵	۰/۳۸۲	۱/۶۵	۰/۴۹	۳/۷۲	۷/۴	۳۸۹

جدول (٤) – مقدار آب آبیاری در تیمارهای مختلف

تیمار آبیاری	قبل از اعمال تیمار(mm)	بعد از اعمال تیمار(mm)	مجموع (mm)	کاهش مصرف مجموع نسبت به FI (درصد)	کاهش مصرف بعد از اعمال تیمار نسبت به FI (درصد)
FI	۱۵۶	۲۹۸	۴۵۴	–	–
DI_{75}	۱۵۶	۲۲۳	۳۷۹	۱۶/۵۲	۲۵/۲
PRD_{75}	۱۵۶	۲۲۳	۳۷۹	۱۶/۵۲	۲۵/۲
DI_{55}	۱۵۶	۱۶۴	۳۲۰	۲۹/۵۱	۴۴/۹
PRD_{55}	۱۵۶	۱۶۴	۳۲۰	۲۹/۵۱	۴۴/۹

بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری برای عملکرد دانه

شاخص بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری بر اساس عملکرد دانه از تقسیم عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) بر میزان آب آبیاری (مترمکعب در هکتار) محاسبه شد. اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری دانه در آزمایش انجام شده، در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول۵). همچنین جدول مقایسه میانگین شاخص بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری برای عملکرد دانه در جدول (۶) ارائه گردیده است. همانگونه که جدول مذکور نشان می‌دهد، بیشترین میزان بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری برای عملکرد دانه، مربوط به تیمار PRD_{75} با مقدار ۱/۲۷ کیلوگرم بر مترمکعب بود و تیمارهای FI و DI_{75} در رتبه‌های بعدی بودند. میزان بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری در تیمار آبیاری کامل (FI) برابر ۱/۱۵۳ کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین میزان بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری برای عملکرد دانه مربوط به تیمار DI_{55} با مقدار ۰/۹۶۲کیلوگرم بر مترمکعب بود. همچنین تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بین تیمارهای آبیاری FI، DI_{75} و PRD_{55} از نظر بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری برای عملکرد دانه وجود نداشت. دلیل اصلی بالا بودن بهره‌وری آب در تیمار PRD_{75}، کاهش حجم آب مصرفی در این تیمار بوده و عدم کاهش زیاد عملکرد محصول (علیرغم معنی‌دار بودن عملکرد محصول در تیمار PRD_{75} نسبت به تیمار FI)، نیز در آن موثر بوده است. در مطالعات مشابه، بسته شدن نسبی روزنه‌ها و جلوگیری از هدر رفت آب و استفاده مطلوب‌تر از رطوبت جذب‌شده توسط گیاه نیز، از عوامل تاثیرگذار در بالا بودن بهره‌وری آب در تیمار PRD_{75}، نسبت به تیمار آبیاری کامل، گزارش‌شده است (چراغی زاده و همکاران، ۱۳۹۷؛

اسماعیلی و همکاران، ۱۴۰۱؛ پرچمی و همکاران،۱۴۰۰؛ سرائی تبریزی و همکاران، ۱۳۸۹).

بهره‌وری فیزیکی مجموع آبیاری و بارندگی برای عملکرد دانه

اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر بهره‌وری فیزیکی مجموع آبیاری و بارندگی نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول۵). همچنین مقایسه میانگین شاخص بهره‌وری فیزیکی مجموع آب آبیاری و بارندگی بر عملکرد دانه در جدول (۶) ارائه شده است. همانگونه که ملاحظه می‌گردد بیشترین میزان بهره‌وری فیزیکی مجموع آبیاری و بارندگی بر عملکرد دانه مربوط به تیمار PRD_{75} با مقدار ۱/۰۶۸ کیلوگرم بر مترمکعب بود. بعد از تیمار آبیاری PRD_{75}، تیمارهای FI و DI_{75} به ترتیب به میزان ۰/۹۹۳ و ۰/۹۵۲ کیلوگرم بر مترمکعب بیشترین بهره‌وری فیزیکی مجموع آبیاری و بارندگی بر عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند. کمترین میزان بهره‌وری فیزیکی مجموع آبیاری و بارندگی بر عملکرد دانه نیز مربوط به تیمار DI_{55} به میزان ۰/۷۸۸کیلوگرم برمترمکعب بود. همچنین مقایسه میانگین شاخص بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری و بارندگی برای عملکرد دانه، تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد بین تیمارهای آبیاری FI و DI_{75} و همچنین بینDI_{75} و PRD_{55}، از نظر بهره‌وری فیزیکی مجموع آب آبیاری و بارندگی بر عملکرد دانه، نشان نداد. شایان ذکر است بدلیل ثابت بودن مقدار بارندگی مؤثر (۷۳/۵ میلیمتر) برای همه تیمارها در طول دوره رشد، روند ترتیب مقدار شاخص بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری و بارندگی بر عملکرد دانه (صعودی و یا نزولی)، در تیمارهای مختلف، شبیه به شاخص بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری بر عملکرد دانه می‌باشد (جدول ۶). در اینجا نیز علیرغم اینکه تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد بین تیمارهای PRD_{75}، FI و همچنین سایر تیمارها از نظر عملکرد دانه وجود دارد ولی مقدار بهره-وری فیزیکی مجموع آب آبیاری و بارندگی برای عملکرد دانه در تیمار PRD_{75}، بخاطر کاهش حجم آب مصرفی، بیشترین مقدار را به‌خود اختصاص داده است. در مطالعات مشابه، بسته شدن نسبی روزنه‌ها و جلوگیری از هدر رفت آب و استفاده مطلوب‌تر از رطوبت جذب‌شده توسط گیاه در تیمار PRD_{75}، در مقایسه با آبیاری کامل، دلایل دیگری است که به آنها اشاره شده است (چراغی زاده و همکاران، ۱۳۹۷ و اسماعیلی و همکاران، ۱۴۰۱).

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس بهره‌وری فیزیکی آب‌آبیاری و بهره‌وری فیزیکی مجموع آب‌آبیاری و بارندگی برای عملکرد دانه

منبع تغییر	درجه آزادی df	بهره‌وری آب آبیاری برای عملکرد دانه (kg/m^3)	بهره‌وری آب آبیاری و بارندگی برای عملکرد دانه (kg/m^3)
تکرار(r)	۲	۰/۰۲۴**	۰/۰۱۷**
تیمار(t)	۴	۰/۰۷۷**	۰/۰۶۸**
خطا(E)	۸	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱
c.v		۳/۶۱	۳/۶۱

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر متوسط عملکرد دانه و بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری و بهره‌وری فیزیکی مجموع آب آبیاری و بارندگی برای عملکرد دانه

تیمار آبیاری	میزان آب آبیاری مصرفی (m^3/ha)	متوسط عملکرد دانه (kg/ha)	بهره‌وری آب آبیاری (kg/m^3)	بهره‌وری آب آبیاری و بارندگی (kg/m^3)
FI	۴۵۴۰	۵۲۳۱^{a}	۱/۱۵۳^{b}	۰/۹۹۳^{b}
PRD_{75}	۳۷۹۰	۴۸۳۴^{b}	۱/۲۷۵^{a}	۱/۰۶۸^{a}
DI_{75}	۳۷۹۰	۴۲۸۴^{c}	۱/۱۳۳^{b}	۰/۹۵۲^{bc}
PRD_{55}	۳۲۰۰	۳۴۵۲^{d}	۱/۰۸۷^{b}	۰/۸۸۷^{c}
DI_{55}	۳۲۰۰	۳۰۵۹^{e}	۰/۹۶۳^{c}	۰/۷۸۸^{d}

بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری برای عملکرد توده زنده

اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر عملکرد زنده گیاهی مطابق با جدول (۷)، در سطح یک درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین شاخص بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری توده زنده گیاهی نیز در جدول (۸)، ارائه شده است. مطابق جدول مذکور، بیشترین میزان بهره‌وری فیزیکی آبیاری برای عملکرد توده زنده گیاهی مربوط به تیمار FI به میزان ۴/۲۹ کیلوگرم بر مترمکعب شد. کمترین میزان شاخص بهره‌وری فیزیکی آبیاری برای عملکرد توده زنده گیاهی، مربوط به تیمار DI_{55} با مقدار ۳/۱۴ کیلوگرم بر مترمکعب بود که از نظر آماری تفاوت معنی داری با تیمار PRD_{55} و DI_{75} نداشت. تحقیقات مشابه نیز بالا بودن میزان بهره‌وری فیزیکی آبیاری عملکرد توده زنده گیاهی در تیمار FI را تایید می‌کنند (پالاش و همکاران، ۱۴۰۱؛ عابدینی و همکاران،

۱۳۹۷). علاوه بر بهره‌وری فیزیکی آبیاری بر عملکرد توده زنده گیاهی، بیشترین میزان عملکرد توده زنده گیاهی نیز مربوط به تیمار FI با مقدار۱۹۴۹۰کیلوگرم شد و این میزان عملکرد در سطح احتمال یک درصد، تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها داشت (جدول۸). لذا باتوجه به اینکه تفاوت معنی‌داری بین تیمار FI و تیمارهای PRD_{75}، DI_{75} و PRD_{55} در سطح احتمال یک درصد از نظر شاخص بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری بر عملکرد توده زنده گیاهی، وجود نداشت، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که علیرغم بالا بودن عملکرد توده زنده گیاهی در تیمار FI، بهره‌وری فیزیکی حاصله بدلیل عدم معنی‌دار شدن نسبت به سایر تیمارها، قابل توجه نبوده و صرفاً افزایش آب مصرفی را به همراه داشته است. این در حالیست که تیمار PRD_{75} با داشتن رتبه دوم در بهره‌وری فیزیکی و همچنین با داشتن اختلاف بسیار ناچیز با تیمار FI در بهره‌وری فیزیکی آبیاری بر عملکرد توده زنده گیاهی ($۰/۰۴\ kg/m^3$)، ضمن داشتن بهره‌وری فیزیکی مناسب، در صرفه جویی آب مصرفی نیز مؤثرتر از سایر تیمارها بوده است.

بهره‌وری فیزیکی مجموع آبیاری و بارندگی برای عملکرد توده زنده

اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر بهره‌وری فیزیکی مجموع آب آبیاری و بارندگی برای عملکرد توده زنده گیاهی نیز، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۷). همچنین مقایسه میانگین شاخص بهره‌وری فیزیکی مجموع آبیاری و بارندگی در جدول (۸) ارائه گردیده است. مطابق جدول مذکور، بیشترین میزان بهره‌وری فیزیکی مجموع آب آبیاری و بارندگی عملکرد توده زنده گیاهی مربوط به تیمار FI به میزان ۳/۶۹ کیلوگرم بر مترمکعب شد. کمترین میزان شاخص بهره‌وری فیزیکی آبیاری و بارندگی بر عملکرد توده زنده گیاهی مربوط به تیمار DI_{55} با مقدار۲/۵۷ کیلوگرم بر مترمکعب شد که از نظر آماری، تفاوتی با تیمار PRD_{55} و DI_{75} نداشت. در اینجا نیز تحقیقات مشابه، بالا بودن میزان بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری و بارندگی عملکرد توده زنده گیاهی در تیمار FI را تایید می‌کنند (پالاش و همکاران، ۱۴۰۱ ؛ عابدینی و همکاران، ۱۳۹۷). لازم به ذکر است بدلیل ثابت بودن مقدار بارندگی مؤثر برای همه تیمارها در طول دوره رشد، روند ترتیب مقدار شاخص بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری و بارندگی برای عملکرد توده زنده گیاه، در تیمارهای مختلف، شبیه به شاخص بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری بر عملکرد توده زنده گیاه شد (جدول ۸). لذا در اینجا نیز با توجه به اینکه تفاوت معنی‌دار بین تیمار FI و تیمارهای PRD_{75}، DI_{75} و PRD_{55} در سطح احتمال یک درصد از نظر شاخص بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری و بارندگی برای عملکرد توده زنده گیاهی، وجود نداشت، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که علیرغم بالا بودن عملکرد توده زنده گیاهی در تیمار FI، بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری و بارندگی در تیمار مذکور، بدلیل عدم معنی‌دار شدن نسبت به سایر تیمارها، قابل توجه نبوده و صرفاً افزایش آب مصرفی را به همراه داشته است. این در حالیست که تیمار PRD_{75} با داشتن رتبه دوم در بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری و بارندگی و همچنین با داشتن اختلاف ناچیز با تیمار FI در بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری و بارندگی بر عملکرد توده زنده گیاهی ($۰/۱۳\ kg/m^3$)، ضمن داشتن بهره‌وری فیزیکی مناسب، در صرفه جویی آب مصرفی نیز مؤثرتر از سایر تیمارها بوده است.

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس بهره‌وری فیزیکی آب‌آبیاری و بهره‌وری فیزیکی مجموع آب‌آبیاری و بارندگی برای توده زنده گیاهی

منبع تغییر	درجه آزادی df	بهره‌وری آب آبیاری برای عملکرد توده زنده (kg/m^3)	بهره‌وری آب آبیاری و بارندگی برای عملکرد توده زنده (kg/m^3)
تکرار(r)	۲	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۰ ns
تیمار(t)	۴	۱/۳۱۵ **	۱/۱۸ **
خطا(E)	۸	۰/۱۴۱	۰/۰۹۴
c.v		۹/۷۹	۹/۶۲

جدول۸- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری و بهره‌وری فیزیکی مجموع آب آبیاری و بارندگی برای عملکردتوده زنده گیاهی

تیمار آبیاری	میزان آب آبیاری مصرفی (m^3/ha)	عملکرد توده زنده (kg/ha)	بهره‌وری آب آبیاری برای توده زنده گیاهی (kg/m^3)	بهره‌وری آب آبیاری و بارندگی برای توده زنده گیاهی (kg/m^3)
FI	۴۵۴۰	۱۹۴۹۰ a	۴/۲۹ a	۳/۶۹ a
PRD_{75}	۳۷۹۰	۱۶۱۰۰ b	۴/۲۵ a	۳/۵۶ a
DI_{75}	۳۷۹۰	۱۳۹۱۰ bc	۳/۶۷ ab	۳/۰۸ ab
PRD_{55}	۳۲۰۰	۱۲۱۳۰ cd	۳/۷۹ ab	۳/۰۹ ab
DI_{55}	۳۲۰۰	۱۰۰۴۰ d	۳/۱۴ b	۲/۵۷ b

بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری برای عملکرد دانه

شاخص بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری برای عملکرد دانه، از تقسیم سود خالص (هزار ریال در هکتار) بر میزان آب آبیاری (مترمکعب در هکتار) محاسبه شد. اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری برای عملکرد دانه، مطابق با جدول (۹)، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. همچنین جدول مقایسه میانگین شاخص بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری برای عملکرد دانه در جدول (۱۰) ارائه گردید. همانگونه که جدول مذکور نشان می‌دهد، بیشترین میزان بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری بر عملکرد دانه، مربوط به تیمار PRD_{75} با مقدار۴۱۴/۶ هزار ریال بر مترمکعب بود و تیمارهای FI و DI_{75} در رتبه‌های بعدی بودند. میزان بهره‌وری اقتصادی مصرف آب آبیاری در تیمار آبیاری کامل (FI) برابر ۳۷۹/۸ هزار ریال بر مترمکعب و کمترین میزان بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری برای عملکرد دانه مربوط به تیمار DI_{55} با مقدار ۲۷۷/۱ هزار ریال بر مترمکعب بود. همچنین مقایسه میانگین شاخص بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری برای عملکرد دانه، تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد بین تیمارهای آبیاری FI وPRD_{75} و همچنین بین FIوDI_{75} و نهایتاً بینDI_{75} و PRD_{55} از نظر بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری دانه، نشان نداد. بنابراین در این تحقیق علیرغم اینکه عملکرد دانه و سود خالص از دانه، در تیمار FI بیشتر از سایر تیمارهاست (جداول ۶ و۱۰) ولی بهره‌وری اقتصادی در تیمار PRD_{75} بیشترین مقدار را دارد، که با نتایج مطالعات چراغی زاده و همکاران (۱۳۹۷)، فیروزپور و همکاران (۱۴۰۲) و امیدی و همکاران (۱۳۹۹) مطابقت دارد. لذا در این پژوهش، علیرغم عدم معنی‌دار بودن میانگین شاخص بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری بر عملکرد دانه در بین تیمارهای FI وPRD_{75}، بدلیل کاهش آب مصرفی و بالا بودن بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری بر عملکرد دانه در تیمار PRD_{75}، استفاده از تیمار مذکور، توصیه شد.

بهره‌وری اقتصادی مجموع آب آبیاری و بارندگی برای عملکرد دانه

اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر بهره‌وری اقتصادی مجموع آبیاری و بارندگی نیز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۹). همچنین مقایسه میانگین شاخص بهره‌وری اقتصادی مجموع آب آبیاری و بارندگی برای عملکرد دانه در جدول (۱۰) ارائه گردیده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود بیشترین میزان بهره‌وری اقتصادی مجموع آبیاری و بارندگی برای عملکرد دانه مربوط به تیمار PRD_{75} با مقدار ۳۴۷/۲ هزار ریال بر مترمکعب بود. بعد از تیمار آبیاری PRD_{75}، تیمارهای FI و DI_{75} به ترتیب به میزان ۳۲۶/۹ و ۳۰۰/۴ هزار ریال بر مترمکعب، بیشترین بهره‌وری اقتصادی مجموع آبیاری و بارندگی برای عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند. کمترین میزان بهره‌وری اقتصادی مجموع آبیاری و بارندگی برای عملکرد دانه نیز مربوط به تیمار DI_{55} به میزان۲۲۵/۴ هزار ریال برمترمکعب بود. همچنین مقایسه میانگین شاخص بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری و بارندگی بر عملکرد دانه، تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد بین تیمارهای آبیاری FI و PRD_{75} و همچنین بین DI_{75} و FI، از نظر بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری و بارندگی بر عملکرد دانه، نشان نداد. بنابراین می‌توان گفت بدلیل ثابت بودن مقدار بارندگی مؤثر برای همه تیمارها در طول دوره رشد، روند ترتیب مقدار شاخص بهره‌وری اقتصادی مجموع آب آبیاری و بارندگی بر عملکرد دانه، در تیمارهای مختلف، شبیه به شاخص بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری بر عملکرد دانه شد (جدول۱۰). لذا در اینجا نیز علیرغم اینکه عملکرد دانه و سود خالص از دانه، در تیمار FI بیشتر از سایر تیمارهاست (جداول ۶ و۱۰) ولی بهره‌وری اقتصادی مجموع آب آبیاری و بارندگی برای عملکرد دانه، در تیمار PRD_{75} بیشترین مقدار را دارد. لذا در این پژوهش، علیرغم عدم معنی‌دار بودن میانگین شاخص بهره‌وری اقتصادی مجموع آب آبیاری و بارندگی عملکرد دانه در بین تیمارهای FI وPRD_{75}، بدلیل کاهش آب مصرفی و بالا بودن بهره‌وری اقتصادی مجموع آب آبیاری و بارندگی برای عملکرد دانه، در تیمار PRD_{75}، استفاده از تیمار مذکور، توصیه شد.

جدول ۹- نتایج تجزیه واریانس بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری و بهره‌وری اقتصادی مجموع آب آبیاری و بارندگی برای عملکرد دانه

منبع تغییر	درجه آزادی df	بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری برای عملکرد دانه (هزار ریال بر مترمکعب)	بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری و بارندگی برای عملکرد دانه (هزار ریال بر مترمکعب)
تکرار(r)	۲	۹/۱۲**	۹/۲۹**
تیمار(t)	۴	۴۲/۴۹**	۵۳/۷۹**
خطا(E)	۸	۱۹۵/۶۹	۱۳۳/۳۳
c.v		۳/۹۸	۳/۹۴

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری و بهره‌وری اقتصادی مجموع آب آبیاری و بارندگی برای عملکرد دانه

تیمار آبیاری	میزان آب آبیاری مصرفی (m^3/ha)	سود خالص از دانه (هزار ریال در هکتار)	بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری برای عملکرد دانه (هزار ریال بر مترمکعب)	بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری و بارندگی برای عملکرد دانه (هزارریال بر مترمکعب)
FI	۴۵۴۰	۱۷۲۴۲۷۰	۳۷۹/۸^{ab}	۳۲۶/۹^{ab}
PRD_{75}	۳۷۹۰	۱۵۷۱۲۱۰	۴۱۴/۶^{a}	۳۴۷/۲^{a}
DI_{75}	۳۷۹۰	۱۳۵۹۱۷۰	۳۵۸/۶^{bc}	۳۰۰/۴^{b}
PRD_{55}	۳۲۰۰	۱۰۳۸۳۹۰	۳۲۴/۵^{c}	۲۶۳/۹^{c}
DI_{55}	۳۲۰۰	۸۸۶۸۸۰	۲۷۷/۱^{d}	۲۲۵/۴^{d}

نتیجه گیری

بهبود مدیریت زراعی از لحاظ میزان آب مصرفی، عملکرد و بهره‌وری آب، از طریق کاربرد عمق مناسب آبیاری و برنامه‌ریزی صحیح آبیاری در شرایط مختلف، امکان پذیر است. در این تحقیق، حجم آب کاربردی، عملکرد دانه و توده زنده گیاه، بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب، در شرایط کم‌آبیاری، مورد ارزیابی قرار گرفت. مهم‌ترین یافته تحقیق این بود که در تیمار PRD_{75}، با استفاده از عمل کم-آبیاری و صرفه‌جویی در مصرف آب، بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی (دانه) بالاتری در مقایسه با تیمار آبیاری کامل، حاصل شد. این موضوع در حالی اتفاق افتاد که بیشترین عملکرد دانه و سود خالص از دانه، درتیمار آبیاری کامل بود و اختلاف معنی‌داری بین عملکرد دانه در تیمار PRD_{75} با تیمار آبیاری کامل، در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. لذا استفاده از روش کم‌آبیاری ناقص ریشه، در سطح ۷۵ درصد (PRD_{75})، در منطقه مورد مطالعه و برای کشت گیاه آفتابگردان، به‌عنوان نتیجه کاربردی تحقیق، توصیه شد.

منابع

اسماعیلی، م.، مدنی، ح.، مجد نصیری، ب.، چاوشی، س. و ساجدی، ن. ۱۴۰۱. بررسی اثر تنش کم آبی بر کارآیی مصرف آب و تحمل خشکی ارقام جدید آفتابگردان. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۶(۴)، ۳۷۵-۳۵۹ .

امیدی، ف. و همایی، م. ۱۳۹۹. تأثیر کم آبیاری بر قیمت آب آبیاری و بهره‌وری آب. تحقیقات منابع آب ایران. ۱۶(۲): ۳۲۲-۳۱۲ .

پالاش، م.، بافکار، ع.، فرهادی بانسوله، ب. و قبادی، م. ۱۴۰۱. بررسی اثرات کم‌آبیاری بر خصوصیات کمی، کیفی و بهره‌وری آب در ذرت دانه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۶ در کرمانشاه. فناوری های پیشرفته در بهره‌وری آب. ۲(۱)، ۳۷-۱۶.

پرچمی عراقی، ف.، معیری، م. و زینل زاده تبریزی، ح. ۱۴۰۰. ارزیابی آب کاربردی و بهره‌وری فیزیکی آب کلزا در دشت مغان. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۶(۵)، ۱۱۸۶-۱۱۷۲ .

چراغی زاده، م.، شاهنظری، ع. و ضیاتباراحمدی، م. ۱۳۹۷. بررسی اثر کم‌آبیاری بخشی ریشه در دورهای آبیاری مختلف بر کارآیی مصرف آب و پارامترهای رشد گیاه آفتابگردان. *آب و خاک*, ۳۲(۳), ۵۰۱-۵۱۶.

ذوالفقاران، ا. ۱۴۰۱. تعیین آب آبیاری و بهره‌وری مصرف آب در مزارع زعفران استان خراسان رضوی، فناوری های پیشرفته در بهره‌وری آب. ۲(۱)، ۵۱-۳۸ .

راضی، ه. و آساد، م. ۱۳۷۷ . ارزیابی تغییرات صفات مهم زراعی و معیارهای سنجش تحمل به خشکی در ارقام آفتابگردان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۲(۱). ۴۳-۳۱.

سرائی تبریزی، م.، بابازاده، ح.، پارسی نژاد، م. و مدرس ثانوی، س. ۱۳۸۹ . بهبود کارایی مصرف آب سویا با استفاده از آبیاری بخشی منطقه ریشه. علوم آب و خاک. ۱۴(۵۲)، ۱۳-۱ .

علیزاده، ا. ۱۳۹۴ . اصول هیدرولوژی کاربردی. دانشگاه فردوسی مشهد.

فیروزپور بندپی، ر.، شاهنظری، ع.، یوسفیان، م. و اکبرزاده، ع. ۱۴۰۲. بررسی تأثیر روش‌های کم آبیاری بر شاخص بهره‌وری آب و برخی صفات زراعی گیاه برنج(رقم بینام). نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آ ب ایرا ن. ۱۳(۵۲)، ۱۳۲-۱۱۵ .

ملا رضا قصاب، ف.، عبدشاهی، عباس. و مرزبان، ا. ۱۳۹۹. تعیین بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب کشاورزی: مطالعه‌ی موردی شهرستان دزفول. فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات اقتصاد کشاورزی. ۱۲(۳)، ۷۲-۴۹.

ملکوتی، م. ۱۳۹۴. توصیه بهینه مصرف کود برای محصولات کشاورزی در ایران. دانشگاه تربیت مدرس.

Albaji, M., Behzad, M., Nasab, S.B., Naseri, A.A., Shahnazari, A., Meskarbashee, M., Judy, F. and Jovzi, M., 2011. Investigation on the effects of

43(72): 1-15. https://doi.org/10.1515/helia-2020-0004.

Johnson, L.F., Cahn, M., Martin, F., Melton, F., Benzen, S., Farrara, B. and Post, K., 2016. Evapotranspiration-based irrigation scheduling of head lettuce and broccoli. Journal of the American Society for Horticultural Science. 51(7): pp. 935-940.

20- Karimi, M. and Jolaini, M., 2017. Evaluation of Agricultural Water Productivity Indices in Major Field Crops in Mashhad Plain. Journal of Water and Sustainable Development. 4(1): 133-138.

Shahnazari, A., Liu, F., Andersen, M.N., Jacobsen, S.E. and Jensen, C.R. (2007). Effects of partial root-zone drying on yield, tuber size and water use efficiency in potato under field conditions. Field Crops Research. 100: 117-124.

Sarai tabrizi, m. and Babazadeh, h.(2012). Efficacy of partial root drying technique for optimizing soybean crop production in semi-arid regions. 61(1): 80-88.

Shahnazari, A., Liu, F., Andersen, M.N., Jacobsen, S.E. and Jensen, C.R. (2007). Effects of partial root-zone drying on yield, tuber size and water use efficiency in potato under field conditions. Field Crops Research. 100: 117-124.

conventional irrigation (CI), regulated deficit irrigation (RDI) and partial root zone drying (PRD) on yield and yield components of sunflower (Helianthus annuus L.). Research on Crops. 12(1): 142-154.

Doorenbos, J. and Kassam. A. H. (1979). Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33. FAO, Rome, Italy.

English M.J, Musick J.T., and Murty V.V.N. 1990. Deficit irrigation. In: Management of farm irrigation systems (Hoffman G.J., Howell T.A. and Solomon K.H., Editors). ASAE Monograph no. 9. American Society of Agricultural Engineers publisher, 1020p.

FAO. 2020. Available in http://faostat3.fao.org/

Ghadami Firouzabadi A. 2015. Management of water use and soil moisture changes in full irrigation, regulated deficit irrigation and partial rootzone drying in sunflower plant. Ph.D. thesis in irrigation and drainage. Irrigation engineering department. Sari agricultural sciences and natural resources university.

Ghaffari, M., Andarkhor, S.A., Homayonifar, M., Kalantar Ahmadi, S.A., Shariati, F., Jamali, H., Rahmanpour, S., 2020. Agronomic attributes and stability of exotic sunflower hybrids in Iran. Helia.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.4, Vol. 18, Oct.-Nov. 2024, p. 655-665

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۸، مهر - آبان ۱۴۰۳، ص. ۶۵۵-۶۶۵

Evaluation of Physical and Economic Water Productivity Under Regulated Deficit Irrigation and Partial Rootzone Drying of Sunflower Crop

H. Alikhani-Mahvar[1], H. Babazadeh[2]*, A. Ghadami-Firouzabadi[3], M. Sarai-Tabrizi[4]
Recived: Jul.29, 2024 Accepted: Aug.28, 2024

Abstract:

Managing water consumption and increasing water productivity by applying deficit irrigation methods in the agricultural sector is one of the most important measures to adapt to water scarcity. In this study, the effect of Regulated deficit irrigation and Partial rootzone drying on the physical and economic water productivity of sunflower plants was investigated in the form of randomized complete blocks. The treatments included full irrigation (FI), regulated deficit irrigation (DI) and partial rootzone drying (PRD) at two levels of 75 and 55%. The results showed that the application of PRD_{75} and DI_{75} treatments reduced water consumption by 16.52% and the application of PRD_{55} and DI_{55} treatments caused a reduction of 29.51% in the plant growth period, compared to the FI treatment. On the other hand, the effect of treatments on the physical productivity of irrigation water on grain yield was significant at the level of 1%. The highest amount of physical productivity of irrigation water on grain yield was related to PRD_{75} treatment with a value of 1.3 kg/m^3. The effect of the treatments on the physical productivity of irrigation water on plant biomass yield was also significant at the probability level of 1%. The highest amount of physical productivity of irrigation water on plant biomass yield was related to FI treatment with a value of 4.3 kg/m^3. Also, the effect of treatments on the economic productivity of irrigation water on grain yield was also significant at the probability level of 1%. The highest amount of economic productivity of irrigation water on grain yield was related to PRD_{75} treatment with the amount of 414.6 thousand rials per cubic meter. Therefore, it was recommended to use the partial rootzone drying method at the level of 75%, due to the high physical and economic productivity of irrigation water on seed yield, as well as saving water consumption.

Keywords: Biomass yield, Full irrigation, Productivity, Seed yield, Sunflower

1- Ph.D. Candidate of Irrigation and Drainage, Department of Water Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2- Professor, Department of Water Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
3- Agricultural Engineering Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran
4- Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
(*- Corresponding author Email: h_babazadeh@srbiau.ac.ir)