

کاربرد آبیاری قطره‌ای نواری در خشکه‌کاری برنج (مطالعه موردی: لنجان اصفهان)

احمد رمضانی^{۱*} و محسن دهقانی^۲

چکیده

برنج، یکی از مهم‌ترین محصولات غذایی جهان و در حال حاضر، غذای اصلی بیشتر از ۳/۵ میلیارد نفر، یعنی حدود ۵۰ درصد جمعیت جهان است. برای بررسی امکان خشکه‌کاری برنج با روش آبیاری قطره‌ای نواری، مطالعه‌ای در قالب آزمایش کرت‌های یک‌بار خرد شده و برپایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در سال ۱۳۹۸ در منطقه لنجان اصفهان اجرا شد. چهار رژیم آبیاری به‌عنوان تیمار اصلی شامل (۱- آبیاری قطره‌ای براساس ۸۰ درصد تبخیر تجمعی (I₁), ۲- آبیاری قطره‌ای براساس ۱۰۰ درصد تبخیر تجمعی (I₂), ۳- آبیاری قطره‌ای براساس ۱۲۰ درصد تبخیر تجمعی (I₃) و ۴- آبیاری غرقابی به‌عنوان تیمار شاهد (I₄) و دو رقم برنج سازندگی و لاین امیدبخش شماره ۲ به‌عنوان تیمار فرعی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد عملکرد دانه، میزان آب مصرفی و کارایی مصرف آب آبیاری، به‌طور معنی‌داری از رژیم‌های آبیاری تأثیر گرفت. بیشترین عملکرد دانه به مقدار ۴۷۰۹/۸ کیلوگرم در هکتار در تیمار (I₄) به دست آمد که به ترتیب، ۵۹/۳، ۲۵/۶ و ۱۷/۷ درصد نسبت به عملکرد دانه در تیمارهای (I₁), (I₂) و (I₃) بیشتر بود؛ در حالی که بیشترین میزان صرفه‌جویی در مصرف آب در تیمارهای (I₁), (I₂) و (I₃) به ترتیب، معادل ۶۱/۰، ۵۰/۹ و ۴۱/۲ درصد نسبت به تیمار شاهد حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری متناوب، قطره‌ای نواری، کشت مستقیم، کارایی مصرف آب آبیاری.

ارجاع: رمضانی ا. و دهقانی م. ۱۴۰۰. کاربرد آبیاری قطره‌ای نواری در خشکه‌کاری برنج (مطالعه موردی: لنجان اصفهان). مجله پژوهش آب ایران. ۴۱: ۱۱۹-۱۲۷.

۱- استادیار پژوهش بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.
۲- استادیار پژوهش بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.

* نویسنده مسئول: Ramazaani@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۰۵

مقدمه

برنج (*Oryza sativa*) یکی از مهم‌ترین محصولات غذایی جهان و در حال حاضر، غذای اصلی بیشتر از ۳/۵ میلیارد نفر یعنی حدود ۵۰ درصد جمعیت جهان است (ایری، ۲۰۱۲). برنج از جمله محصولات زراعی است که به روش‌های متنوعی در مناطق مختلف دنیا کشت می‌شود (سک و همکاران، ۲۰۱۲). سطح زیر کشت برنج در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ در استان اصفهان، ۶۷۸۹ هکتار با میانگین عملکرد ۵۷۶۱ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (آمارنامه، ۱۳۹۹). به‌طور کلی، روش‌های کشت برنج را به دو روش کشت مستقیم^۱ (DSR) و نشاکاری با غرقاب دائم^۲ (TPR) می‌توان تقسیم کرد. در روش نشاکاری، ابتدا برنج، خزانه‌گیری و سپس نشاها به زمینی منتقل می‌شود که به روش گلخراپی آماده شده است. در کشت مستقیم، بذر (خشک و یا جوانه‌دار) برنج در بستر مرطوب یا خشک کاشته می‌شود (ماهاجان و همکاران، ۲۰۱۲). خشکه‌کاری برنج^۳ (DDSR) عبارت است از کشت مستقیم بذر برنج در بستر خشک و غیرغرقاب، بدون انجام دادن عملیات گلخراپی که به‌عنوان جایگزینی برای نشاکاری معرفی شده است (لی و همکاران، ۲۰۱۵).

تا پیش از سال ۱۹۵۰، کشت برنج، بیشتر به روش مستقیم انجام می‌شد؛ ولی به تدریج، به نشاکاری در شرایط غرقاب تبدیل شد. هم‌اکنون، حدود ۷۷ درصد از برنج دنیا به روش نشاکاری (TPR) کشت می‌شود. افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی (از جمله آهن، روی و فسفر)، کنترل علف‌های هرز، استقرار بهتر نشاها و ایجاد شرایط بی‌هوازی برای افزایش جذب عناصر غذایی از مزایای روش نشاکاری است. همچنین، اتلاف و هدررفت آب، تخریب ساختمان خاک، کاهش نفوذپذیری لایه‌های سطحی خاک و ایجاد لایه سخت در عمق خاک، افزایش پمپاژ آب در اوج گرمای تابستان، افت سطح آب‌های زیرزمینی، کاهش کیفیت آب آبیاری و انتشار گازهای گلخانه‌ای از معایب این روش است (ماهاجان و همکاران، ۲۰۱۲؛ گوپال و همکاران، ۲۰۱۰). افزون بر معایب اشاره‌شده برای نشاکاری، شالیکاران به تغییر این سیستم کشت به یک روش کشت ماشینی

غیرغرقاب علاقه دارند (ونگ و همکاران، ۲۰۱۷؛ گوپال و همکاران، ۲۰۱۰).

نتایج پژوهشی در خوزستان روی سه روش کاشت برنج، شامل نشاکاری، کشت مستقیم در بستر مرطوب و خشکه‌کاری نشان داد بیشترین عملکرد به ترتیب در روش نشاکاری، کشت مستقیم در بستر مرطوب و خشکه‌کاری به میزان ۶۳۹۴/۴، ۴۹۲۰ و ۴۶۲۲ کیلوگرم در هکتار به دست آمد؛ در حالی که میزان آب مصرفی در سه روش مذکور به ترتیب، برابر ۳۸۹۸۱، ۲۸۵۳۱ و ۲۰۶۹۱ مترمکعب در هکتار بود. این پژوهشگران، عملکرد بیشتر در روش نشاکاری را به تعداد بیشتر دانه در خوشه نسبت داده‌اند (گیلانی و همکاران، ۱۳۹۵).

در پژوهش دیگری، که در پنجاب هند به مدت دو سال اجرا شد، چهار رژیم آبیاری، شامل غرقاب دائم و آبیاری قطره‌ای براساس ۱/۵، ۲/۲۵ و ۳ برابر مقدار تبخیر از تشت تبخیر و سه سطح ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بررسی شد. نتایج نشان داد بیشترین عملکرد در آبیاری قطره‌ای (۷/۳-۸ تن در هکتار) در مقایسه با غرقاب دائم (۶/۶-۷/۶ تن در هکتار) با ۴۰ درصد کاهش مصرف آب به دست آمد. علاوه بر این، بیشترین کارایی آب مصرفی، ۰/۸۸-۰/۸۱ کیلوگرم بر مترمکعب در تیمار ۱/۵ برابر تبخیر در مقایسه با غرقاب دائم (۰/۴۲-۰/۵۲) به دست آمد (شاردا و همکاران، ۲۰۱۷).

مطالعه‌ای برای مقایسه عملکرد، میزان آب مصرفی و کارکرد آب آبیاری برنج در شرایط کشت مستقیم و نشاکاری مرسوم در پنجاب پاکستان به مدت دو سال انجام شد. در این پژوهش، سه رژیم آبیاری، شامل غرقاب دائم (مکش رطوبتی خاک بیشتر از ۱۰- کیلوپاسکال)، آبیاری متناوب با مکش رطوبتی خاک ۲۰- کیلوپاسکال و آبیاری متناوب با مکش رطوبتی خاک ۴۰- کیلوپاسکال به کار رفت. نتایج نشان داد در کشت مستقیم، عملکرد، ۱۳-۱۸ درصد بیشتر، مصرف آب، ۱۲-۱۸ درصد کمتر و راندمان آبیاری، ۴۵-۵۰ درصد بهبود یافت (اشفق و همکاران، ۲۰۲۰).

دهقانیان و باقری (۱۳۸۸)، پژوهشی با به‌کارگیری پنج روش آبیاری، شامل قطره‌ای، بارانی، تلفیق غرقابی-قطره‌ای، تلفیق غرقابی-بارانی و غرقابی (سنتی)، دو روش کشت مستقیم و نشایی و دو رقم برنج قصرالدشتی G28 و حسنی در کوشکک فارس در سه سال اجرا کردند. آنها

1- Direct Seeded Rice (DSR)

2- Puddled Transplanted Rice (TPR)/ Conventional puddled transplanted rice

3- Dry seeding/ Direct Seeding into Dry/ Direct Dry Seeded Rice (DDSR)

به‌ویژه در استان‌های خوزستان و گلستان به دست آمده است، پژوهش حاضر با هدف بررسی امکان خشکه‌کاری برنج با آبیاری قطره‌ای در منطقه لنجان اصفهان اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در قالب آزمایش کرت‌های یک‌بار خرد شده برپایه بلوک‌های کاملاً تصادفی با ۳ تکرار در سال ۱۳۹۸ در روستای بهجت‌آباد شهرستان لنجان استان اصفهان واقع در ۵۵ کیلومتری جنوب غربی اصفهان با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۸ دقیقه، ارتفاع ۱۷۰۰ متر از سطح دریا و میانگین بارندگی سالیانه، ۱۵۵ میلی‌متر اجرا شد. عامل اصلی، شامل چهار رژیم آبیاری بود که عبارت است از: ۱- آبیاری قطره‌ای براساس ۸۰ درصد تبخیر جمعی (I_1)، ۲- آبیاری قطره‌ای براساس ۱۰۰ درصد تبخیر جمعی (I_2)، ۳- آبیاری قطره‌ای براساس ۱۲۰ درصد تبخیر جمعی (I_3) و ۴- غرقاب دائم مزرعه به‌عنوان شاهد (I_4) و عامل فرعی، شامل دو رقم برنج سازندگی و لاین امیدبخش شماره ۲. در طول دوره رشد در تیمارهای آبیاری قطره‌ای، مقدار آب آبیاری براساس تبخیر جمعی از تشت تبخیر کلاس A محاسبه شد. دور آبیاری نیز براساس ۲۰ میلی‌متر تبخیر جمعی از تشت تبخیر در نظر گرفته شد. به این منظور، یک دستگاه تشت تبخیر کلاس A در محل اجرای آزمایش، نصب و مقدار تبخیر روزانه، محاسبه و با در نظر گرفتن ضرایب مربوط، حجم آب آبیاری محاسبه و اعمال شد؛ به‌گونه‌ای که ضریب تشت تبخیر براساس نشریه شماره ۵۶ فاو (الن و همکاران، ۱۹۹۸) برابر ۰/۷ و ضریب گیاهی برای هر ۱۰ روز از دوره رشد، معادل ضرایب محاسبه شده برای برنج در شهرستان لنجان در نظر گرفته شد (فرشی، ۱۳۷۷). این مقادیر در طول دوره رشد از ۱/۲ برای ابتدای دوره رشد آغاز شد؛ سپس تا ۱/۱ کاهش داشت و دوباره از دهه سوم خرداد تا دهه سوم مرداد به ۱/۲ افزایش و درنهایت، در پایان دوره به ۰/۹۸ کاهش یافت.

اجرای تیمارهای آزمایشی

در تمامی تیمارها به‌جز تیمار شاهد، ابتدا عملیات تهیه بستر، شامل شخم و تسطیح خاک، افزودن کودهای پایه، مرزکشی و آماده‌سازی بستر انجام شد. مقدار بذر مصرفی

گزارش کردند متوسط آب مصرفی در روش آبیاری تلفیقی غرقابی- قطره‌ای و غرقابی- بارانی به‌ترتیب، ۶۱ و ۴۹ درصد نسبت به کشت غرقابی کاهش داشت. مقایسه عملکرد روش آبیاری تلفیقی غرقابی- قطره‌ای و غرقابی- بارانی در رقم قصرالدشتی G28 به‌ترتیب، ۲۰ و ۵۹ درصد کاهش نسبت به تیمار آبیاری غرقابی در همین رقم نشان داد. متوسط کارایی مصرف آب در تیمارهای آبیاری غرقابی، تلفیقی غرقابی- بارانی و غرقابی- قطره‌ای در رقم قصرالدشتی G28 به‌ترتیب، برابر ۰/۱۸، ۰/۱۶ و ۰/۴۲ کیلوگرم بر مترمکعب آب مصرفی بود.

در پژوهشی، تنش خشکی ارقام برنج هوازی به روش خشکه‌کاری (آبیاری براساس تبخیر و تعرق) بررسی و با روش کشت نشایی در مازندران مقایسه شد. نتایج نشان داد عملکرد، به‌طور محسوسی در روش خشکه‌کاری کاهش می‌یابد. میزان آب مصرفی از ۷۴۰۰ مترمکعب در روش نشاکاری به ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار در روش خشکه‌کاری (۶۰ درصد) کاهش یافت و کارایی آب مصرفی از ۰/۲ به ۰/۷ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش پیدا کرد (اسدی و همکاران، ۱۳۹۰). عربزاده و همکاران (۱۳۸۱) پژوهشی با به‌کارگیری هفت تیمار آبیاری سطحی (۱- غرقاب دائم با ارتفاع ۵ سانتی‌متر، ۲- غرقاب دائم با ارتفاع ۳ سانتی‌متر، ۳- آبیاری متناوب با ارتفاع ۵ - ۰ سانتی‌متر در طول دوره رشد، ۴- آبیاری متناوب با ارتفاع صفر تا سه سانتی‌متر در طول دوره رشد، ۵- آبیاری متناوب با ارتفاع صفر تا سه سانتی‌متر تا شروع مرحله زایشی و سپس غرقاب دائم با ارتفاع ۳ سانتی‌متر تا پایان دوره رشد، ۶- آبیاری متناوب با ارتفاع ۵ - ۰ سانتی‌متر تا شروع مرحله زایشی و سپس غرقاب دائم با ارتفاع ۵ سانتی‌متر تا پایان دوره رشد و ۷- غرقاب دائم به مدت ۱۵ روز به ارتفاع ۵ سانتی‌متر و سپس حالت اشباع تا پایان دوره رشد) برنج رقم طارم در شرایط خشکه‌کاری در مازندران در دو سال انجام دادند. نتایج نشان داد بیشترین و کمترین میزان عملکرد دانه متعلق به تیمارهای اول (غرقابی دائم به عمق ۵ سانتی‌متر) و هفتم (غرقابی دائم به مدت ۱۵ روز پس از شروع آبیاری و سپس اشباع تا پایان دوره رشد)، به‌ترتیب با ۳۲۶۳/۸ و ۲۵۷۵/۲ کیلوگرم در هکتار بود.

با توجه به گسترش روش خشکه‌کاری برنج در دنیا و نتایج امیدوارکننده‌ای که از اجرای این روش کشت در کشور

هدایت الکتریکی $1/53$ دسی‌زیمنس بر متر داشت. همچنین، میزان قابل جذب عناصر پرمصرف و تعدادی از عناصر کم‌مصرف آن در جدول ۱ آورده شده است. این جدول نشان می‌دهد خاک مزرعه هیچ محدودیت خاص آبی و خاکی ندارد و برای کاشت برنج مناسب است.

ویژگی‌های اکوفیزیولوژیکی اندازه‌گیری شده، شامل عملکرد و اجزای عملکرد دانه، درصد پوکی، شاخص برداشت، ارتفاع بوته، تعداد پنجه کل و پنجه بارور در مترمربع و میزان آب مصرفی در هکتار بود. مراحل فنولوژیکی گیاه (زمان سبز شدن و استقرار گیاه، پنجه‌زنی، ۵۰ درصد گل‌دهی، ۵۰ درصد رسیدگی و برداشت) نیز ثبت شد.

برای اندازه‌گیری عملکرد تمامی سطح هر پلات با کمباین مخصوص برنج، برداشت و براساس رطوبت ۱۴ درصد محاسبه شد. حجم آب آبیاری نیز با نصب کنتور در ابتدای هر تیمار اندازه‌گیری شد. در پایان دوره رشد، حجم آب مصرفی در هر کدام از تیمارها محاسبه و کارایی مصرف آب تعیین شد. در تیمارهای آبیاری قطره‌ای، ۱۰ روز و در تیمار شاهد، ۱۵ روز پیش از برداشت، آبیاری کاملاً قطع شد. تجزیه‌های آماری و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS و Excel و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه دانکن انجام شد.

نتایج و بحث

تأثیر رژیم‌های آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد

براساس نتایج این پژوهش، عملکرد دانه به‌طور بسیار معنی‌داری ($p < 0.01$) از رژیم‌های آبیاری متأثر است (جدول ۲)؛ به‌گونه‌ای که بیشترین عملکرد دانه (۴۷۰۹ کیلوگرم در هکتار) در تیمار غرقاب دائم و حداقل آن (۲۷۹۳/۳ کیلوگرم در هکتار) در تیمار (I_1) به دست آمد (شکل ۱)؛ به عبارت دیگر، در تمامی تیمارهای خشکه‌کاری، عملکرد دانه نسبت به غرقاب دائم، کمتر بود. عملکرد بیشتر در تیمار غرقاب دائم را به نبود تنش رطوبتی در این تیمار و بالاتر بودن تعداد دانه‌پر در خوشه و وزن هزاردانه و کاهش درصد پوکی و کنترل مؤثرتر علف‌های هرز می‌توان نسبت داد. این نتایج با یافته‌های گیلانی و همکاران (۱۳۹۵) و عرب‌زاده و همکاران (۱۳۸۱) مطابقت دارد که گزارش کردند عملکرد در روش خشکه‌کاری در مقایسه با کشت نشاکاری کاهش داشت.

۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بذر خشک در تاریخ ۲۶ اردیبهشت با استفاده از خطی‌کار غلات (خطی‌کار همدانی مدل ۲۵۱۷، با فاصله ردیف‌های کشت $12/5$ و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۳-۵ سانتی‌متر) کاشته شد. برای آبیاری از نوارهای آبیاری روزنه‌دار از جنس پلی‌اتیلن با فاصله نوار ۵۰ سانتی‌متر، فاصله روزنه‌های روی نوار ۲۰ سانتی‌متر و دبی روزنه‌ها ۲ لیتر در ساعت استفاده شد. در تیمار شاهد، کلیه عملیات تهیه بستر و آبیاری و کنترل علف‌های هرز براساس روش معمول و عرف منطقه (شخم زمین با گاواهن، انجام‌دادن عملیات گلخراپی با کولتیواتور، غرقاب دائم مزرعه در طول دوره رشد و مصرف علف‌کش بوتاکلر^۱ به میزان ۳ لیتر در هکتار پیش از کاشت) انجام شد. خزانه‌گیری در داخل سینی‌های مخصوص کشت ماشینی و هم‌زمان با کاشت تیمارهای خشکه‌کاری با مصرف ۱۲۰ گرم بذر در سینی انجام شد. نشاکاری در هفته آخر خرداد با استفاده از نشاکار چهار ردیفی رونده دایدونگ (با فاصله ردیف ۳۰ و فاصله روی ردیف ۱۸ سانتی‌متر و متوسط ۶ نشا در کپه معادل $18/5$ کپه در هر مترمربع و با استفاده از نشاهای ۳۵ روزه) انجام شد.

ابعاد کرت‌های اصلی، $20 \times 5/5$ متر و کرت‌های فرعی، $20 \times 2/5$ متر بود. برای جلوگیری از نشت آب و تداخل تیمارهای آبیاری، فاصله بین تکرارها، کرت‌های اصلی و کرت‌های فرعی به ترتیب، ۲، ۱ و $0/5$ متر در نظر گرفته شد. در تیمارهای خشکه‌کاری برای کنترل علف‌های هرز از مخلوط علف‌کش‌های تاپیک و توفوردی به ترتیب به میزان ۱ و $1/5$ لیتر در هکتار، ۲۵ روز پس از کاشت استفاده شد. مقادیر مصرف کودهای پرمصرف براساس آزمون اولیه خاک و توصیه مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور تعیین شد و کودهای سوپر فسفات تریپل، سولفات پتاسیم و اوره، به ترتیب برای تأمین کودهای فسفر، پتاسیم و نیتروژن به کار رفت. تمامی کود فسفر و پتاسیم و یک‌سوم کود نیتروژن در زمان تهیه بستر و دوسوم اوره باقیمانده در مراحل پنجه‌زنی و آغاز گل‌دهی به‌طور مساوی تقسیم و مصرف شد.

برای تعیین مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک، پیش از اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک محل آزمایش نمونه‌برداری و در آزمایشگاه تجزیه شد. براساس این نتایج، خاک محل آزمایش، بافت لومی، اسیدیته $6/95$ ،

جدول ۱- نتایج آزمون خاک مزرعه قبل از شروع آزمایش

رس	سیلت	شن	مجموع کاتیون‌ها	سدیم	منیزیم	کلسیم	مجموع آنیون‌ها	سولفات	کلرید	بی‌کربنات
			S.Cations	Na ⁺	Mg	Ca	S.Anion	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ³⁻
میلی اکی والان بر لیتر										
۱۲	۴۵	۴۳	۱۸/۳۷	۴/۱۷	۱۴/۲	۱۸/۵	۹/۹	۴/۴	۴/۲	۴/۲

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی متأثر از تیمارهای آزمایشی

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	تعداد خوشه در مترمربع	تعداد دانه بر در خوشه	وزن هزار دانه	درصد پوکی	ارتفاع بوته	تعداد پنجه کل	تعداد پنجه بارور	۵۰ درصد گل‌دهی	رسیدگی فیزیولوژیکی	آب مصرفی	کارایی آب آبیاری (WPP)
تکرار	۲	۰/۵۹	۴۴/۱۷	۹۷/۰۴	۰/۹۲	۴/۶۳	۲۶/۹۳	۸۵۴/۱۷	۵۵۴/۳۲	۲۷/۱۳	۳۲۱/۱۳	۲۷۰۰/۴۷	۰/۰۰۳۸
رژیم آبیاری (I)	۲	۳/۸۳ ^{**}	۷۴۱۹/۰۴ ^{**}	۱۳۴۰/۳۸ [*]	۱۶/۳۳ ^{**}	۶۸/۲۶ ^{**}	۲۹۴/۰۱ ^{**}	۷۳۷۹/۰۹ ^{**}	۵۲۶/۰۱۳۲ ^{**}	۳۱۶/۷۳ [*]	۴۵۹/۸۵ [*]	۱۸۴۴۵/۱۳ ^{**}	۰/۰۱۸۳ ^{**}
خطای (a)	۶	۰/۱۳	۳۶۹/۶۷	۲۶۲/۵۴	۱/۶۹	۵/۳۵	۱۲/۵۴	۶۱۱۷/۶۳	۳۲۵/۳۲	۶۷/۹۵	۸۹/۷۴	۲۰۸۱۷/۰۶۱	۰/۰۰۱۵
رقم (V)	۱	۰/۷۱	۴۵۰/۶۷ ^{ns}	۱۰۹/۵۴	۶/۶۶ [*]	۰/۰۴	۴۶۷/۱۷ [*]	۷۲۷/۴۲ ^{**}	۳۶۸/۷۹ ^{**}	۳۵/۰۴ [*]	۰/۳۹	۸۸۱۶/۴۰ ^{ns}	۰/۰۰۳۱
(V) * (I)	۴	۰/۰۵	۲۶/۳۷۳ ^{ns}	۲۲۵/۹	۲/۰۱	۱۱۸/۴۹ ^{**}	۷/۲۸	۵۸۲۵/۷۳ ^{**}	۵۴۵۹/۳۴ ^{**}	۱۱/۷۲	۶/۸۲	۳۰۸۹/۴۲	۰/۰۰۰۲
خطا	۸	۰/۳۳	۲۱۶/۴۵	۲۱۶/۷	۰/۷۴	۴/۵۰	۸/۳۸	۴۳۸/۹۱	۱۴۸/۸۷	۵/۶۷	۶/۵۷	۱۶۳۳۷۹/۳۰	۰/۰۰۲۲
ضریب تغییرات	-	۱۲/۸	۱۰/۳۱	۲۲/۳۳	۱۲/۳	۸/۷	۱۳/۱	۱۴/۶	۱۰/۶	۱۰/۶	۱۵	۲۴	۱۴/۶

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های صفات مورد ارزیابی متأثر از تیمارهای آبیاری^{*}

تیمارهای آبیاری	خوشه در مترمربع	تعداد دانه بر در خوشه	درصد پوکی	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	پنجه کل در مترمربع	پنجه بارور در مترمربع	روز تا رسیدگی گل‌دهی	روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی	کارایی آب آبیاری (Kg.ha ⁻¹)
I ₁	۳۰۴/۸۳ ^b	۵۱/۶۷ ^b	۴۰/۱۷ ^a	۸۳/۰۱ ^b	۹۶/۰۱ ^b	۶۱/۹۳ ^b	۱۳۲/۶۷ ^a	۱۶۷/۳۹ ^a	۰/۳۴ ^a
I ₂	۳۵۱/۸۳ ^a	۶۳/۱۷ ^b	۲۷/۳۳ ^b	۸۷/۰۳ ^b	۸۲/۰۸ ^b	۶۶/۷۲ ^b	۱۳۰/۱۷ ^a	۱۶۵/۸۳ ^a	۰/۳۴ ^a
I ₃	۳۶۷/۸۱ ^a	۶۱/۶۷ ^b	۲۰/۶۷ ^c	۸۶/۳۳ ^b	۹۰/۷۲ ^b	۷۵/۶۰ ^b	۱۲۸/۶۷ ^a	۱۶۴/۵۷ ^a	۰/۳۱ ^a
I ₄	۲۹۴/۶۷ ^b	۸۶/۶۷ ^a	۱۵/۳۳ ^d	۹۹/۱۱ ^a	۳۱۱/۱۰ ^a	۲۲۵/۰۳ ^a	۱۱۵/۰۵ ^b	۱۴۸/۳۳ ^b	۰/۲۲ ^b

* ** و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و یک درصد و غیر معنی دار
 اعدادی که حداقل یک حرف مشترک در هر ستون دارد، تفاوت آماری معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارد.

تحمل گیاه، به‌ویژه در مرحله گیاهچه‌ای بر صفات رشدی گیاه، اثر منفی می‌گذارد و موجب کاهش رشد رویشی می‌شود (صالحی‌فر و همکاران، ۲۰۱۴). کمبود آب، به‌ویژه در دوره‌های فنولوژیکی حساس به تنش، مانند مراحل زایشی گیاه و پرشدن دانه باعث کاهش عملکرد محصول می‌شود (مجیدیان و قدیری، ۲۰۰۳). کمبود آب در مرحله گل‌دهی و گرده‌افشانی، باعث افت زیاد عملکرد از طریق نمو غیرطبیعی کیسه جنینی، عقیقه دانه گرده و درنهایت، کاهش تعداد دانه‌های بارور می‌شود؛ زیرا در شرایط تنش رطوبتی، رشد زایشی گیاه بیشتر به ذخایر برگ و ساقه وابسته است و تشکیل نامناسب دانه می‌تواند به علت ناکافی بودن مواد فتوسنتزی فراهم در زمان گرده‌افشانی، پرشدن دانه یا پیش از آن باشد (دندم و شاه، ۱۹۶۰). پژوهشگران گزارش کردند در زمان پرشدن دانه، تنش رطوبتی با کاهش فتوسنتز باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود؛ بنابراین، نیاز مقصد برای پرشدن دانه با انتقال مجدد مواد فتوسنتزی ذخیره‌شده تأمین می‌شود (توکلی، ۲۰۰۴).

تأثیر رژیم‌های آبیاری بر گل‌دهی و رسیدگی

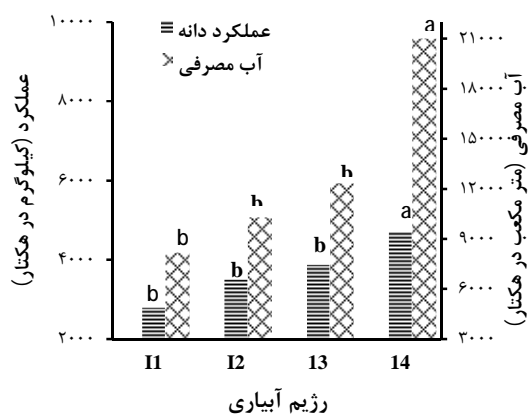
فیزیولوژیکی

تأثیر رژیم‌های آبیاری بر صفت تعداد روز تا ۵۰ درصد گل‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیکی معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد خشکه‌کاری باعث تأخیر در گل‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیکی در هر دو رقم شد (جدول ۳)؛ به‌گونه‌ای که در تیمار غرقاب دائم، گیاهان پس از ۱۱۵ روز و در تیمارهای خشکه‌کاری، پس از ۱۳۰ روز (به‌طور متوسط) به گل رفتند. روند مشابهی نیز در فرایند رسیدگی فیزیولوژیکی اتفاق افتاد. در واقع، در تیمارهای خشکه‌کاری، گل‌دهی، دو هفته و رسیدگی فیزیولوژیکی، حدود سه هفته به تأخیر افتاد. ضمن اینکه در تیمارهای خشکه‌کاری، غیریکنواختی در رسیدگی نیز بیشتر از تیمار شاهد بود.

تأثیر رژیم‌های آبیاری بر آب مصرفی و کارایی

مصرف آب

تأثیر رژیم‌های آبیاری بر میزان آب مصرفی و کارایی مصرف آب آبیاری در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین آب



شکل ۱- میزان آب مصرفی و عملکرد دانه در رژیم‌های مختلف آبیاری - I₁، I₂، I₃ و I₄ به ترتیب، آبیاری براساس ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد تبخیر تجمعی و غرقاب دائم

گزارش‌های گوناگونی درباره تغییر عملکرد در روش خشکه‌کاری نسبت به کشت رایج برنج وجود دارد. در برخی مطالعات، عملکرد در روش خشکه‌کاری، مشابه روش نشاکاری گزارش شده است (سینگ و همکاران، ۲۰۰۹)؛ در حالی که نتایج بسیاری از مطالعات، کاهش عملکرد (کومار و همکاران، ۲۰۱۱؛ غلامی، ۱۳۸۰) و نتایج مطالعات اندکی، افزایش عملکرد را نشان می‌دهد (کاتو و همکاران، ۲۰۰۹). علل گوناگونی نیز برای کم‌بودن عملکرد در روش خشکه‌کاری بیان شده است که به‌طور عمده، شامل استقرار نامطلوب گیاه، مدیریت نامناسب آبیاری، علف‌های هرز و ایجاد ورس است (وانگ و همکاران، ۲۰۱۷).

تعداد خوشه در مترمربع، وزن هزاردانه و درصد پوکی در سطح احتمال یک‌درصد و تعداد دانه در خوشه در سطح احتمال پنج‌درصد، از تیمارهای آبیاری تأثیر گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد با کاهش مقدار آب مصرفی، تعداد دانه‌پر در خوشه و وزن هزاردانه کاهش یافت؛ ولی تعداد خوشه در مترمربع و درصد پوکی افزایش داشت (جدول ۳). به نظر می‌رسد علت کاهش درصد دانه‌های پر و افزایش پوکی دانه‌ها ناشی از تنش رطوبتی واردشده به گیاه در تیمارهای خشکه‌کاری است. همچنین، کاهش تعداد خوشه در مترمربع در تیمار غرقاب دائم را به تراکم کمتر به‌کاررفته (تعداد بوته در مترمربع) در این تیمار می‌توان نسبت داد.

تنش رطوبتی و کاهش آب در دسترس گیاه در رژیم‌های آبیاری چندروزه (نظیر شرایط این آزمایش) بیشتر از

نتیجه‌گیری

وضعیت آب و هوایی ایران، خشک و نیمه‌خشک است، میانگین نزولات جوی آن حدود یک‌سوم متوسط نزولات جوی در دنیاست و چالش کمبود آب، مهم‌ترین چالش تولید محصولات کشاورزی محسوب می‌شود؛ از این‌رو، میزان آب مصرفی و کارکرد مصرف آب، عامل بسیار مهمی در تولید محصولات کشاورزی است؛ به عبارت دیگر، میزان آب مصرفی برای تولید هر واحد محصول بسیار اهمیت دارد. با توجه به نتایج این پژوهش، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب آبیاری مطلوب به‌دست‌آمده در تیمار (I₃) نشان می‌دهد خشکه‌کاری، جایگزین مناسبی برای کشت غرقابی برنج (روش متداول) است؛ به‌گونه‌ای که با صرفه‌جویی در مصرف آب به تولید مطلوبی می‌توان دست یافت. البته در این زمینه باید پژوهش‌های تکمیلی انجام شود.

سپاس‌گزاری

نویسندگان لازم می‌دانند از همکاری مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان و مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان لنجان در اجرای این طرح پژوهشی، صمیمانه تشکر کنند.

منابع

- اسدی ر.، نصیری م.، ستاری م.، محمدیان م.، طبری م.، رستمی م.، لطیفی ع.، عمرانی م.، یوسفیان م. و خلیلی ر. ۱۳۹۰. بررسی تنش خشکی ارقام هواری در کشت مستقیم به روش خشکه‌کاری و مقایسه آن با روش کشت نشایی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. شماره ثبت: ۴۲۸۱۴. ۳۰ ص.
- آمارنامه. ۱۳۹۹. سازمان جهاد کشاورزی استان اصفهان. محصولات زراعی. سال زراعی ۹۷-۹۸. <https://www.agri-es.ir/Default.aspx?tabid=1927>
- دهقانیان ا. ۱۳۹۴. آبیاری قطره‌ای نواری در زراعت برنج. نشریه فنی. شورای انتشارات مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس. ۱۹: ۱-۸.
- دهقانیان ا. و باقری م.م. ۱۳۸۸. بررسی اثرات روش‌های آبیاری بارانی، قطره‌ای (نواری) و غرقابی در کارایی مصرف آب دو رقم برنج در فارس.

مصرفی (۲۱۰۰۸/۳) مترمکعب در هکتار) در تیمار غرقاب دائم و کمترین آن (۸۱۹۳/۳) مترمکعب در هکتار) در تیمار (I₁) مشاهده شد؛ در حالی که روند دقیقاً معکوسی در کارایی مصرف آب آبیاری مشاهده شد؛ به عبارت دیگر، بیشترین کارایی مصرف آب آبیاری (۰/۳۴) کیلوگرم بر متر مکعب) در تیمار (I₁) و کمترین آن (۰/۲۲) کیلوگرم بر متر مکعب) در تیمار غرقاب دائم مشاهده شد. کاهش مصرف آب در تیمارهای خشکه‌کاری، به‌طور عمده به‌علت کاهش نفوذ عمقی و جانبی آب در خاک و کاهش میزان تبخیر بوده است که در مطالعات دیگران نیز به آن اشاره شده است؛ به‌گونه‌ای که کاهش مصرف آب در تیمارهای خشکه‌کاری (آبیاری متناوب) را بین ۱۵-۴۰ درصد گزارش کرده‌اند (همفریز و همکاران، ۲۰۱۱؛ رائو و همکاران، ۲۰۱۷). دهقانیان (۱۳۹۴) گزارش کرد، روش آبیاری قطره‌ای نواری، مصرف آب آبیاری برنج را ۶۴ درصد نسبت به روش آبیاری غرقابی، کاهش و بیشتر از دو برابر شاخص کارایی مصرف آب آبیاری را نسبت به آبیاری غرقابی افزایش داد. همچنین، این نتایج با نتایج اسدی و همکاران (۱۳۹۰) مطابقت دارد که گزارش کردند میزان آب مصرفی برنج از ۷۴۰۰ مترمکعب به ۳۰۰۰ مترمکعب در هکتار (۶۰ درصد) کاهش و کارایی آن از ۰/۲ به ۰/۷ افزایش یافت. عرب‌زاده و توکلی (۱۳۸۴) نیز در آزمایشی به روش خشکه‌کاری با آبیاری متناوب در مازندران گزارش کردند، صرفه‌جویی در مصرف آب، ۲۵ درصد بود؛ در حالی که فقط ۸ درصد افت عملکرد نسبت به شاهد به دست آمد.

در این مطالعه، عملکرد دانه در تیمار غرقاب دائم، بیشتر از سایر تیمارها به دست آمد؛ ولی کارایی مصرف آب آبیاری در این تیمار حداقل بود. همچنین، در تیمار (I₃)، عملکرد در مقایسه با تیمار شاهد، حدود ۱۸ درصد کاهش یافت؛ ولی بیشتر از ۴۰ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی شد و کارکرد مصرف آب، ۰/۳۱ کیلوگرم در مترمربع بود. این مطالعه نشان داد با مصرف آب کمتر و با اجرای آبیاری هدفمند و متناسب با نیاز گیاه در مراحل مختلف رشد، ضمن اینکه گیاه دچار تنش خشکی نشود (و یا میزان تنش حداقل باشد)، به عملکرد مطلوب می‌توان دست یافت.

14. IRRI. 2012. Rice basics. International Rice Research Institute, Philippines. www.irri.org/index.php.
15. Ishfaq M. Akbar N. Anjum S. A. and Anwar M. 2020. Growth, yield and water productivity of dry direct seeded rice and transplanted aromatic rice under different irrigation management regimes. *Journal of Integrative Agriculture*. 19(11): 2656-2673.
16. Kato Y. Okami M. and Katsura K. 2009. Yield potential and water use efficiency of aerobic rice (*Oryza sativa* L.) in Japan. *Field Crops Research*. 113(3): 328-334.
17. Kumar V. and Ladha J. K. 2011. Direct seeding of rice: recent developments and future research needs. in *Advances in agronomy*, Academic Press. 111: 297-413.
18. Liu H. Hussain S. Zheng M. Peng S. Huang J. Cui K. and Nie L. 2015. Dry direct-seeded rice as an alternative to transplanted-flooded rice in central China. *Agronomy for Sustainable Development*. 35(1): 285-294.
19. Mahajan G. Chauhan B. S. Timsina J. Singh P. P. and Singh K. 2012. Crop performance and water-and nitrogen-use efficiencies in dry-seeded rice in response to irrigation and fertilizer amounts in northwest India. *Field Crops Research*. 134: 59-70.
20. Majidian M. and Ghadir H. 2003. Effects of water stress and nitrogen fertilizer at different growth stages on yield, yield components and water use efficiency and some physical properties of corn, *Iranian Journal of Agricultural Sciences*. 33(3): 521-533 (in Persian with English Summary).
21. Rao K. V. R. Gangwar S. Keshri R. Chourasia L. Bajpai A. and Soni K. 2017. Effects of drip irrigation system for enhancing rice (*Oryza sativa* L.) yield under system of rice intensification management. *Applied Ecology and Environmental Research*. 15: 487-495.
22. Salehifar M. Rabiei B. Afshar Mohammadian M. and Asghari J. 2014. Effect of IAA and Kinetin application on plant characteristics and chlorophyll fluorescence parameters in rice seedlings under drought stress condition. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 16(4): 293-307.
23. Seck P. A. Diagne A. Mohanty S. and Wopereis M. C. 2012. Crops that feed the world 7: Rice. *Food security*. 4(1): 7-24.
24. Sharda R. Mahajan G. Siag M. Singh A. and Chauhan B.S. 2017. Performance of drip-irrigated dry-seeded rice (*Oryza sativa* L.) in South Asia. *Paddy and Water environment*. 15(1): 93-100.
25. Singh U. P. Singh Y. Kumar V. and Ladha J. K. 2009. Evaluation and promotion of resource conserving tillage and crop سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. ۳۰ ص.
۵. عربزاده ب. نصیری م. و امانی رو. ۱۳۸۱. بررسی اثر کم آبیاری تنظیم شده در روش خشکه کاری برنج رقم طارم بر روی رشد و عملکرد برنج. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. شماره ثبت: ۸۴/۲۰۱. ۱۱ ص.
۶. عربزاده ب. و توکلی ع. ۱۳۸۴. تحلیل اقتصادی مدیریت آبیاری در خشکه کاری برنج. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۷(۲۶): ۹۹-۱۱۰.
۷. غلامی م. ۱۳۸۰. بررسی میزان مصرف آب در ارقام مختلف برنج با دو روش خشکه کاری و نشاکاری با استفاده از آبیاری بارانی. سازمان کشاورزی مازندران. مدیریت ترویج. نشریه ترویجی. ۲۲ ص.
۸. فرشی ع. ۱۳۷۷. برآورد آب مورد نیاز گیاهان زراعی و باغی کشور (گیاهان زراعی). جلد ۱. نشر آموزش کشاورزی. ۹۱۸ ص.
۹. گیلانی ع. آسلان ش. و جلالی س. ۱۳۹۵. مقایسه روش خشکه کاری با شیوه های رایج کاشت ارقام برنج از نظر میزان آب مصرفی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. شماره ثبت: ۴۹۸۰۲. ۲۷ ص.
10. Allen R. G. Pereira L. S. Raes D. and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome. 300(9): 12-25.
11. Denmead O. T. and Shaw R. H. 1960. The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn, *Agronomy Journal*. 52: 272-274.
12. Gopal R. Jat R. K. Kumar V. Alam M. M. Jat M. L. Mazid M. A. Saharawat Y. S. McDonald A. and Gupta R. 2010. Direct dry seeded rice production technology and weed management in rice-based systems. New Delhi: CIMMYT. 31p.
13. Humphreys E. Kukal S. S. Gill G. and Rangarajan R. 2011. Effect of water management on dry seeded and puddled transplanted rice: Part2: Water balance and water productivity. *Field Crops Research*. 120(1): 123-132.

- establishment techniques in rice-wheat system in Eastern India. In: Ladha J. yandvider S. Erenstein O. and hard B. editors Integrated crop and resource management in the rice-wheat system of South Asia. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute. 2009. 395 p.
26. Tavakoli A. R. 2004. The effect of different doses of supplemental irrigation and nitrogen fertilizer on wheat yield components and Sabalan. Seed Magazine. 19(3): 367-380.
27. Wang W. Peng S. Liu H. Tao Y. Huang J. Cui K. and Nie L. 2017. The possibility of replacing puddled transplanted flooded rice with dry seeded rice in central China: a review. Field Crops Research. 214: 310-320.

