

اثر کم آبیاری تنظیم شده و خشکی بخشی ریشه بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب برنج در روش جوی وپشته و کرتی

<http://dx.doi.org/10.22092/JWRA.2018.117788>

مصطفی یوسفیان، علی شاهنظری^{۱*}، میرخالتق ضیاءتبار احمدی، محمود رایینی سرجاز و

بهروز عربزاده

دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

mostafa_uosefian@yahoo.com

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

aliponh@yahoo.com

استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

mzahmadi@yahoo.com

استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

raeini@yahoo.com

استادیار پژوهش موسسه تحقیقات برنج کشور - معاونت آمل.

beh_arabzadeh@yahoo.com

چکیده

با توجه به بروز بحران خشکسالی طی سالهای اخیر در سطح جهان، استفاده از روشهای کشت جایگزین که ضمن حفظ میزان عملکرد، موجب صرفه‌جویی در مصرف آب شود، رو به افزایش است. لذا به منظور ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد و میزان بهره‌وری آب در برنج هاشمی تحت رژیم‌های مختلف آبیاری و مقایسه آن با روش غرقاب، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در موسسه تحقیقات برنج کشور در مازندران طی دو سال زراعی ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ انجام گردید. تیمارها شامل دو روش کم آبیاری تنظیم شده (آبیاری همه جویچه‌ها) و خشکی بخشی ریشه (آبیاری یک در میان جویچه‌ها)، هر کدام با سه سطح تنش خشکی ۱۰، ۳۰ و ۶۰ کیلوپاسکال (RD_{10} ، RD_{30} ، RD_{60} و PRD_{10} ، PRD_{30} ، PRD_{60}) در کشت جوی و پشته و تیمار آبیاری کرتی با مدیریت غرقاب داریم در زمین گلخراپ به روش سنتی به عنوان تیمار شاهد (FI) و در سه تکرار انتخاب گردید. در هر تیمار میزان عملکرد، ارتفاع بوته، تعداد پنجه، طول خوشه، تعداد دانه پر، وزن هزار دانه، آب مصرفی و میزان بهره‌وری آب بر اساس میزان محصول تولید شده در ازای حجم آب مصرف شده (kg/m^3) اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که عملکرد دانه، ارتفاع بوته، طول خوشه، تعداد دانه پر، وزن هزار دانه، آب مصرفی و میزان بهره‌وری در تیمارهای مختلف اختلاف معنی‌دار از لحاظ آماری داشته است. طبق نتایج این آزمایش، اگرچه بیشترین عملکرد در تیمار غرقاب دائم آبیاری بدست آمد، اما کاهش عملکرد در تیمارهای با تنش جزئی (RD_{10} و PRD_{10}) ناچیز می‌باشد، همچنین استفاده از روش خشکی بخشی ریشه (PRD) موجب کاهش چشمگیر مصرف آب و افزایش بهره‌وری می‌شود، به طوری که تیمار PRD_{10} موجب ۳۲ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب نسبت به تیمار شاهد شده و بیشترین میزان بهره‌وری آب براساس شاخص CPD در تیمار PRD_{30} به مقدار ۰/۷۷۴ کیلوگرم شلتوک بر مترمکعب آب مصرفی محاسبه گردید. براساس نتایج، اعمال خشکی بخشی ریشه در مقایسه با کم آبیاری تنظیم شده با تنش مشابه ضمن اینکه مصرف آب کمتری داشت، عملکرد و بهره‌وری آب بالاتری را نشان می‌داد، به طوری که متوسط مصرف آب تیمار PRD_{10} در دو سال نسبت به تیمار RD_{10} حدود ۱۵ درصد کاهش داشت در حالی که عملکرد آن بیش از یک درصد و بهره‌وری آن بیش از ۱۸ درصد (متوسط دو سال) بیشتر بود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری یک در میان جویچه‌ها، خشکی بخشی ریشه، کشت روی جوی و پشته، کم آبیاری برنج

۱- آدرس نویسنده مسوول: مازندران- ساری- دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری- دانشکده مهندسی زراعی- گروه مهندسی آب

*- دریافت: آذر ۱۳۹۶ و پذیرش: مرداد ۱۳۹۷

مقدمه

با توجه به افزایش روزافزون نیاز به مواد غذایی و کاهش منابع آبی در سطح جهان، بروز بحران دور از انتظار نیست. با روند فعلی جمعیت جهان تا سال ۲۰۲۵ به بیش از هشت میلیارد نفر می‌رسد، لذا باید سطح اراضی تحت آبیاری ۲۰ درصد و مقدار تولید محصول ۴۰ درصد افزایش یابد تا جوابگوی نیاز غذایی در سطح جهانی باشد. (لیو و همکاران، ۲۰۰۸) علاوه بر این، بررسی‌های انجام شده در زمینه سرانه منابع آب تجدید شونده در جهان نشان می‌دهد که در سال ۱۹۵۰ ایران جزء مناطقی با سرانه آب تجدید شونده بین ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ مترمکعب بوده است، درحالی‌که پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۲۵ سرانه منابع آب تجدید شونده در ایران کمتر از ۱۰۰۰ مترمکعب باشد. از این‌رو برنامه‌ریزی و بهره‌برداری صحیح و بهینه از منابع آب در جهت توسعه پایدار الزامی است. (گلابی و همکاران، ۱۳۸۵)

با توجه به تنوع زیاد شرایط محیطی و ارقام مختلف برنج یک روش استاندارد برای آبیاری وجود ندارد. لذا سوء مدیریت یا ترس از خطر خشکی در طول فصل رشد موجب افراط در استفاده از آب می‌گردد. در شالیزار معمولاً آبیاری بصورت غرقاب دائم صورت می‌گیرد، زیرا تهیه سیستم‌های مناسب آبیاری و کنترل آب آبیاری آسان و عملی نمی‌باشد. (رضوی پور، ۱۳۷۴)

آبیاری شالیزار از مهمترین عملیاتی است که باید در زراعت برنج به دقت انجام شود. مقدار آب مورد نیاز برای برنج به عوامل متعددی نظیر روش کاشت، ابعاد کرت، تراکم بوته، مقدار مصرف کود، نوع و بافت خاک، شرایط زهکشی و اقلیمی و اکولوژیکی و رقم بستگی دارد. بحرانی‌ترین مرحله از نظر نیاز آبی در برنج در حدود ۱۰ روز قبل از گلدهی تا هنگام گلدهی می‌باشد. تنش خشکی در این مرحله موجب افزایش درصد عقیمی دانه‌ها و کاهش عملکرد می‌شود. تنش آب در دوره رویشی نیز موجب کاهش ارتفاع گیاه، تعداد پنجه‌ها و سطح برگ می‌شود اما در صورت تأمین آب و وجود زمان کافی تا

گلدهی، گیاه خود را ترمیم خواهد کرد. (اصفهانی، ۱۳۷۷)

برنج نسبت به دیگر گیاهان زراعی تحت آبیاری، بیشترین سطح زیرکشت را داشته و بازده آبیاری آن نسبت به سایر غلات کمتر است، به‌طوری‌که آب مصرفی برای تولید یک کیلوگرم برنج بین ۲۰۰۰ تا ۵۰۰۰ لیتر متغیر می‌باشد که حدوداً سه برابر بیشتر از گندم است. (ماهاجان و همکاران ۲۰۰۸)

یکی از روش‌های آبیاری در کشاورزی، آبیاری شیاری می‌باشد. در این روش آب به صورت جانبی از دیواره‌های شیارهای موجود، به زیر پوشش گیاهی نفوذ می‌کند. در این روش که برای کشت انواع گیاهان مورد استفاده قرار گرفته شده است، عدم وجود لایه‌ی آب در سطح زمین، تبخیر را کاهش می‌دهد. طی نتایج آزمایشات مزرعه‌ای در شمال مصر مشخص گردید که می‌توان کاربرد آب آبیاری در مزارع برنج را بدون به خطر انداختن عملکرد برنج یا بدون افزایش هزینه تولید، به‌طور قابل توجهی کاهش داد. طبق نتایج این تحقیق، استفاده از روش کاشت در فارو ۳۱/۶ درصد در مصرف آب صرفه-جویی می‌کند و عملکرد را ۳/۷ درصد نسبت به روش سنتی کشت افزایش می‌دهد. (ال‌بابلی و همکاران، ۲۰۰۸)

کم آبیاری تنظیم شده^۲ و خشک کردن بخشی ریشه^۳ دو روش کم آبیاری می‌باشد که موجب کاهش مصرف آب نسبت به آبیاری کامل می‌شود. در کم آبیاری، میزان کاهش آب بسته به نوع گیاه متفاوت بوده و معمولاً بدون کاهش عملکرد و گاهی با کاهش جزئی بوده که اعمال آن موجب افزایش بهره‌وری آب می‌گردد. (انگلیش و همکاران، ۲۰۰۸)

کم آبیاری تنظیم شده نوعی آبیاری می‌باشد که در آن، با تأمین بخشی از نیاز گیاه در زمان‌های مشخص، به مدیریت مصرف آب پرداخته می‌شود و به همین دلیل در اکثر مواقع خاک منطقه ریشه خشک می‌باشد، لذا این

^۲ Regulated Deficit Irrigation

^۳ Partial Root zone Drying

روش تا حدودی رشد گیاه را متوقف کرده و معمولاً باعث کاهش عملکرد می‌گردد. (جوانوویچ و همکاران، ۲۰۱۰) خشک کردن بخشی (موضعی) ریشه فرم اصلاح شده کم آبیاری است که شامل آبیاری تنها یک بخش از منطقه ریشه در هر آبیاری و خشک گذاشتن یک بخش دیگر است، به نحوی که رطوبت این بخش قبل از آبیاری تا حد زیادی پایین بیاید. (احمدی و همکاران، ۲۰۱۰) در تکنیک خشکی بخشی ریشه، قسمتی از ریشه گیاه آبیاری شده و قسمتی دیگر خشک باقی می‌ماند. آن قسمت که خشک باقی می‌ماند با فرستادن پیام به اندام هوایی، نسبت به خشکی عکس العمل نشان داده و باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش مصرف آب توسط گیاه می‌گردد. (دیویس و ژانگ، ۱۹۹۱) ایده استفاده از خشکی بخشی ریشه به عنوان روشی برای تغییر واکنش گیاه به کمبود آب از جایی نشأت گرفت که در تعدادی از گونه‌های زراعی به عنوان مثال سویا مشاهده شد که آبسزیک اسید (ABA) تولید شده توسط ریشه می‌تواند به ساقه منتقل شده و باعث تنظیم روزنه برگ شود. (لیو و همکاران، ۲۰۰۸) آبسزیک اسید هورمون گیاهی است که در خاک-هایی که در حال خشک شدن می‌باشند، تولید آن توسط ریشه افزایش یافته و توسط جریان آب در آوند چوبی ساقه حمل می‌شود؛ بنابراین در این روش کم آبیاری، ریشه‌های گیاه همزمان با خشک شدن خاک با تولید آبسزیک اسید، جلوی گسترش برگ را گرفته و از خروج آب توسط روزنه‌ها کم می‌کنند. همزمان با این فرآیند، ریشه‌ی واقع در قسمت مرطوب با جذب آب کافی، گیاه را در وضعیت مناسب رطوبتی قرار می‌دهند.

(کانگ و ژانگ، ۲۰۰۴) زمانی که تخلیه آب خاک از سمت خشک ناچیز است، آبیاری باید از سمت مرطوب به سمت خشک تغییر جهت دهد. (کریدمن و گودوین، ۲۰۰۳) همچنین لیو و همکاران اظهار داشتند که در رطوبتی از خاک که در آن، حداکثر اسید آبسزیک غلظت آوند چوبی تولید می‌شود، باید تعویض جهت آبیاری باید انجام شود. (لیو و همکاران، ۲۰۰۸) در

تحقیقی که رضایی استخرویه (۱۳۹۱) در دانشگاه شهید باهنر کرمان بر روی گیاه ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ انجام داد، مشخص شد که استفاده از آبیاری جوی و پشته‌ای یک در میان، کارآیی معادل ۲/۱۳ کیلوگرم دانه به‌ازای مترمکعب آب داشته و این درحالی است که کارآیی تیمار شاهد ۱/۱۶ کیلوگرم دانه بر مترمکعب آب می‌باشد. همچنین مشخص گردید بهترین دور آبیاری برای ذرت دانه‌ای در منطقه کرمان ۱۴ روزه می‌باشد.

روشهای مختلفی وجود دارد که بر اساس آنها می‌توان زمان آبیاری را مشخص کرد. از روشهای معمول محاسبه رطوبت خاک، روش جرمی و حجمی، تانسومتر، بلوک گچی، نوترومتر و یا حتی با استفاده از دست است. تانسومتر ساده‌ترین وسیله جهت تعیین رطوبت خاک است. دامنه تانسومتر محدود بوده و بین ۰ تا ۸۰- کیلوپاسکال را نشان می‌دهد. عدد صفر تا ۱۰ نشانه اشباع بودن خاک می‌باشد. عدد ۱۰ تا ۳۰ نشان‌دهنده این است که خاک در وضعیت ظرفیت مزرعه بوده و عدد ۶۰ الی ۷۰ نشان دهنده بروز تنش آبی می‌باشد. (علیزاده، ۱۳۷۸) روند نزولی منابع در دسترس آب باعث نگرانیهای عمومی و موضوع بسیاری از مطالعات و پژوهشهای در دست انجام در بسیاری از مناطق می‌باشد. گرچه باور عمومی این است که استانهای برنج‌خیز شمالی از این امر مستثنی می‌باشد ولی خشکسالی‌های اخیر نشان داد که این مناطق نیز در معرض چنین خطراتی قرار دارند. لذا یافتن روشهای جدید کشت برنج که ضمن حفظ عملکرد، موجب کاهش مصرف آب و استفاده بهینه از منابع آبی موجود شوند امری ضروری به‌نظر می‌رسد. با توجه به تحقیقات انجام شده می‌توان بیان کرد که استفاده از کم آبیاری، ضمن حفظ عملکرد می‌تواند تا حدود زیادی موجب کاهش آب مصرفی شود. با توجه به اهمیت برنج در سبد غذایی کشور و اینکه کم آبیاری به روش خشکی بخشی ریشه تا کنون در اراضی شالیزاری انجام نشده است، با انجام این آزمایش می‌توان تاثیر این روش را بر کاهش مصرف آب برنج رقم هاشمی و بررسی اثرات کم

آبیاری تنظیم شده و خشکی موضعی ریشه بر عملکرد و اجزای عملکرد و میزان مصرف آب در کشت جوی و پشته‌ای و مقایسه آن با روش سنتی انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق طی دو سال زراعی (بهار و تابستان ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵) در مؤسسه تحقیقات برنج- معاونت مازندران با مشخصات عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۸ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۲۳ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۹/۸ متر از سطح دریا، واقع در کیلومتر هشت جاده آمل - بابل انجام پذیرفت. این طرح در قالب بلوک-های کامل تصادفی و رقم مورد مطالعه هاشمی بوده است. تیمارهای آزمایش شامل:

FI - غرقاب دائم در زمین گلخراب به عنوان تیمار شاهد
 RDI₁₀ - آبیاری تمامی جویچه‌ها هنگام رسیدن عدد تانسومتر به ۱۰ کیلوپاسکال
 PRD₁₀ - آبیاری یک در میان جویچه‌ها هنگام رسیدن عدد تانسومتر به ۱۰ کیلوپاسکال
 RDI₃₀ - آبیاری تمامی جویچه‌ها هنگام رسیدن عدد تانسومتر به ۳۰ کیلوپاسکال
 PRD₃₀ - آبیاری یک در میان جویچه‌ها هنگام رسیدن عدد تانسومتر به ۳۰ کیلوپاسکال
 RDI₆₀ - آبیاری تمامی جویچه‌ها هنگام رسیدن عدد تانسومتر به ۶۰ کیلوپاسکال
 PRD₆₀ - آبیاری یک در میان جویچه‌ها هنگام رسیدن عدد تانسومتر به ۶۰ کیلوپاسکال می‌باشند که در سه تکرار و در داخل یک قطعه زراعی ۵۰۰ متر مربعی به ابعاد ۲۵×۲۰ متر به اجرا درآمد. منبع آب شامل یک حلقه چاه عمیق بوده که در مرکز موسسه برنج و در نزدیکی زمین مورد نظر قرار گرفته است. کیفیت آب چاه جهت کشت برنج مناسب بوده و شوری متوسط آن $0/84 \text{ ds/m}$ و pH آن در محدوده ۷/۱ تا ۷/۶ می‌باشد. بافت خاک مزرعه مورد نظر از نوع لوم رسی بوده و شوری عصاره اشباع آن حدود یک دسی زیمنس بر متر بوده است.

در این طرح روش کشت به صورت جوی و پشته‌ای می‌باشد که به صورت نشایی انجام شد. پس از جداسازی دانه‌های پوک و شکسته (توسط محلول آب نمک) و ضدعفونی نمودن آن، بذور جوانه‌دار شده و سپس بذریاشی در خزانه انجام گرفت. عملیات نگهداری از خزانه طبق روشهای مرسوم و براساس توصیه‌های فنی کارشناسان انجام شده و پس از چهار برگی شدن نشاءها (سال اول ۲۵ روز و سال دوم ۲۷ روز پس از بذریاشی) عملیات انتقال نشاء به زمین اصلی، به ترتیب دو سال در سوم و هفتم خرداد آغاز گردید. به منظور آماده‌سازی زمین ابتدا توسط تراکتور، سطح مزرعه به وسیله خاک‌برگردان تا عمق ۲۰ سانتی‌متر شخم زده شده و پس از آن جهت سبز شدن بذر علف‌های هرز موجود در خاک، آبیاری به ارتفاع دو سانتیمتر (200 m/ha) انجام شد. سپس به منظور کنترل علف‌های هرز، سطح زمین سم‌پاشی شده و بعد از آن توسط روتاری خاک سطح الارض مزرعه تا حدودی نرم شده و برای احداث جوی و پشته آماده گردید. مساحت هر کرت آزمایشی ۲۰ متر مربع می‌باشد که شامل هفت عدد فارو به طول هشت متر می‌باشد که انتهای آن مسدود شده است.

در روش کشت فارو ابعاد جویها و پشته‌ها با توجه به نوع کشت، بافت خاک، وضعیت توپوگرافی و تعداد بوته‌های کاشته شده (در عرض پشته) متغیر می‌باشد. با توجه به اینکه بافت زمین نسبتاً سنگین بوده به منظور مرطوب شدن پشته‌ها جهت نشاکاری، ابتدا هریک از کرت‌های فارو به میزان ۱۰۰۰ لیتر آبیاری شد نشاکاری در بالای پشته‌ها (مرکز پشته) صورت گرفت. ارتفاع پشته‌ها از کف جویچه ۱۵ سانتیمتر و عرض جویچه‌ها از یکدیگر ۳۰ سانتیمتر و عرض قسمت بالای پشته پنج سانتیمتر بوده است. با توجه به اینکه فاصله عرضی بین دو بوته حدوداً ۳۵ سانتیمتر و فاصله بوته‌ها روی پشته ۱۵ سانتیمتر می‌باشد، تراکم کاشت ۱۹۰ هزار بوته در هکتار به دست می‌آید. به منظور مقایسه این روش با روش سنتی، در سه کرت محصور شده به ابعاد چهار در پنج متر در زمین پادل

عملکرد شلتوک بر حجم آب مصرفی در واحد سطح (یک هکتار) محاسبه می‌گردد. آمار دو ساله هواشناسی از ایستگاه هواشناسی مستقر در جنب مزرعه جمع‌آوری شد که نتایج مربوط به دمای میانگین و بارندگی ماهانه در جدول شماره ۱ آمده است.

حجم آب مصرفی / میزان محصول تولید شده = CPD

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های مربوط به اثر تیمارهای مختلف آبیاری بر عملکرد شلتوک، ارتفاع بوته، تعداد پنجه، طول خوشه، تعداد دانه، وزن هزار دانه، آب مصرفی و بهره‌وری آب بر اساس شاخص CPD طی دو سال زراعی ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ در جدول ۲ نشان داده شده است. بر این اساس، اثر تیمارهای آبیاری در هر دو سال بر تمامی صفات مذکور در سطح احتمال یک درصد از لحاظ آماری معنی‌دار می‌باشد. اثر متقابل سال در تیمار در هیچ یک از صفات مورد نظر معنی‌دار نشد و اثر سال نیز بر عملکرد، آب مصرفی و شاخص CPD در سطح پنج درصد معنی‌دار شده است.

شده نشاءکاری با فواصل بوته ۲۰ در ۲۰ سانتیمتر صورت گرفت که به عنوان تیمار شاهد محسوب گردید. مقدار مصرف آب در تیمارهای مختلف با کنتور حجمی اندازه گرفته شده و با توجه به میزان بارش طی دوره رشد کل آب مصرفی برای هر تیمار محاسبه گردید. به‌منظور تعیین زمان آبیاری، با استفاده از دستگاه تانسومتر که در داخل پشته‌ها (عمق ۱۰ سانتیمتر) نصب شده است، پس از رسیدن رطوبت به محدوده مورد نظر آبیاری صورت پذیرفت. با توزین خاک مرطوب و خاک خشک شده در آون خاک رطوبت حجمی خاک مزرعه در مکش ۱۰، ۳۰ و ۶۰ تانسومتر به ترتیب برابر ۳۹/۵، ۳۱/۳ و ۱۸/۷ درصد محاسبه شد.

در این آزمایش کود اوره ۱۵۰ کیلوگرم و کودهای فسفر و پتاسیم به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم مصرف گردید. ۷۰ درصد اوره به صورت پایه و ۳۰ درصد آن در زمان تشکیل خوشه مصرف گردید. کود فسفر کامل به صورت پایه و کود پتاس نیز ۵۰ درصد به شکل پایه و ۵۰ درصد آن در زمان تشکیل خوشه به شکل سرک مصرف گردید. کود پایه قبل از ایجاد فارو در خاک مخلوط شده و کود سرک قبل از انجام آبیاری داخل جوی‌ها پاشیده شد.

به‌منظور محاسبه صفات مورد بررسی، ارتفاع بوته و تعداد پنجه مفید در زمان خوشه‌دهی اندازه گرفته شده و پس از رسیدن محصول از هریک از تیمارها ۱۰ خوشه سالم جدا و تعداد دانه کل، وزن هزار دانه و طول خوشه برای هر تیمار محاسبه شد. همچنین جهت محاسبه عملکرد، در تاریخ چهارم شهریور ۹۴ و پنجم شهریور ۹۵ برداشت از سطح پنج مترمربع صورت گرفت و پس از خرمکوبی وزن و رطوبت شلتوک بدست آمده محاسبه شده و عملکرد دانه برای تیمارهای مختلف برحسب کیلوگرم در هکتار در رطوبت ۱۴ درصد محاسبه گردید. با توجه به عملکرد و آب مصرفی در هریک از تیمارها بهره‌وری آب بر اساس شاخص^۴ CPD از تقسیم وزن

جدول ۱- مقادیر دما و بارش توسط ماهانه

سال	اردیبهشت		خرداد		تیر		مرداد
	دما (C)	بارش (mm)	دما (C)	بارش (mm)	دما (C)	بارش (mm)	
۱۳۹۴	۱۹/۸	۹/۸	۲۶	۰	۲۷	۵۷/۲	۳۲/۶
۱۳۹۵	۲۰/۶	۴۱/۴	۲۵/۲	۱۸	۲۶/۴	۵۳/۸	۰

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب اثر تیمارهای آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم هاشمی

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد	ارتفاع بوته	تعداد پنجه	میانگین مربعات		ضریب تغییرات (%)
					طول خوشه	تعداد دانه کل	
اثر بلوک	۲	۷۲۲۱/۴۳	۶/۴۲	۰/۹۷	۰/۱۱	۱/۲۲	۰/۰۰۰۹
تیمار	۶	۱۴۳۵۹۳۷/۳**	۶۹۹/۷**	۲۴/۱۴**	۱۷/۴۳**	۲۳۹/۷۷**	۰/۰۴۸**
سال	۱	۲۷۷۷۱/۴۳*	۰/۵۷ ^{n.s}	۰/۰۰۸ ^{n.s}	۰/۴۴ ^{n.s}	۱/۱ ^{n.s}	۰/۰۰۳۱*
سال*تیمار	۶	۲۳۹۹/۲۱ ^{n.s}	۰/۳۳ ^{n.s}	۰/۲۳ ^{n.s}	۰/۴۶ ^{n.s}	۱/۷۸ ^{n.s}	۰/۰۰۰۲ ^{n.s}
خطا	۱۲	۳۳۳۱/۶۸	۱۰/۰۳	۰/۲۲	۰/۴۸	۴/۹۵	۰/۰۰۰۱۱
		۱/۵۴	۲/۶۰	۴/۰۱	۲/۶۱	۱/۹۶	۱/۶۴
							۱/۷۹
							۲/۰۱

*, ** و n.s به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و عدم معنی‌دار بودن

شده به دلیل تولید آبسزیک اسید (کانگ و ژانگ، ۲۰۰۴) همخوانی دارد. همچنین با توجه به معنی‌دار شدن اثر سال بر عملکرد، مقایسه میانگین اثر سال بر عملکرد نشان داد که میزان عملکرد در سال دوم با مقدار ۳۷۶۲/۸۶ کیلوگرم در هکتار بیشتر بوده و در کلاس متفاوت با سال اول (۳۷۱۱/۴۳ کیلوگرم در هکتار) قرار گرفت. در هر دو سال بیشترین ارتفاع بوته در تیمار غرقاب دائم (۱۳۳/۹) و (۱۳۴/۷ سانتیمتر) اختصاص داشته و کمترین ارتفاع بوته در تیمارهای RDI₆₀ و PRD₆₀ مشاهده شد که هر دو در یک کلاس قرار گرفتند. مقایسه میانگین تعداد پنجه بارور نشان داد در هر دو سال تیمار PRD₁₀ بیشترین مقدار پنجه را داشته (به ترتیب ۱۳/۱ و ۱۳/۴) که با تیمارهای FI, RDI₁₀, RDI₃₀ و PRD₃₀ در یک کلاس قرار گرفته است درحالی‌که تیمارهای RDI₆₀ و PRD₆₀ کمترین مقدار را برای این صفت در دو سال نشان داده و با هم در کلاس مشترک قرار گرفته‌اند. با توجه به این نتیجه می‌توان گفت اگرچه تنش خشکی با تحریک گیاه برنج به پنجه دهی، پنجه کل را افزایش می‌دهد اما تنش شدید خشکی موجب کاهش تعداد پنجه بارور که در تولید محصول

مقایسه میانگین تیمارها برای صفات اندازه‌گیری شده طی دو سال زراعی ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ در جدول شماره ۳ نشان داده شده است. بیشترین میزان عملکرد شلتوک در تیمار FI (شاهد) به میزان ۴۲۰۰ و ۴۲۵۰ کیلوگرم در هکتار طی دو سال بوده است که در کلاسی متفاوت از بقیه تیمارها قرار گرفته است. کمترین مقدار عملکرد نیز در هر دو سال در تیمار RDI₆₀ بوده که مقدار آن به ترتیب ۳۰۰۳/۳ و ۲۹۹۳/۳ بوده است. همچنین PRD₁₀ با عملکردی معادل ۴۰۹۶/۷ و ۴۱۷۶/۷ کیلوگرم در هکتار طی دو سال پس از FI بیشترین میزان عملکرد را داشته و میانگین کاهش آن نسبت به تیمار FI در دو سال حدود دو درصد بوده است. با مقایسه عملکرد تیمارهایی که به روش خشکی بخشی ریشه آبیاری شدند می‌توان دریافت هر سه تیمار PRD₃₀, PRD₆₀, PRD₁₀ عملکرد بیشتری نسبت به نسبت به تیمارهای کم آبیاری تنظیم شده با تنش مشابه RDI₆₀, RDI₁₀, RDI₃₀ داشتند و حتی در بعضی موارد در کلاس آماری متفاوت قرار گرفتند که با نتایج تحقیقات انجام شده پیشین در مورد افزایش عملکرد در روش خشکی موضعی ریشه نسبت به کم آبیاری تنظیم

میزان مصرف آب در تیمار FI (۸۲۷۰ و $8160 \text{ m}^3/\text{ha}$) بوده است. همچنین تیمار PRD₆₀ در دو سال کمترین میزان آب مصرفی در هکتار را داشته (۷/۷۳۱ و $7.731 \text{ m}^3/\text{ha}$) و پس از آن کمترین میزان مصرف آب در تیمار PRD₃₀ بدست آمده است. با توجه به اینکه در روش کشت فارو برخلاف روش سنتی زمین گلخراب نمی‌شود، بخشی از کاهش آب به دلیل روش آماده‌سازی زمین و عدم استفاده از آب در این مرحله ($2070 \text{ m}^3/\text{ha}$) و بقیه ناشی از کاهش نفوذ و تبخیر می‌باشد. طبق نتایج، نه تنها در سطح تنش یکسان مصرف آب در خشکی بخشی ریشه نسبت به کم‌آبیاری تنظیم شده کمتر می‌باشد، بلکه مصرف آب در تیمار PRD₃₀ نسبت به تیمار RDI₆₀ که تحت تنش بیشتری قرار گرفت کمتر می‌باشد؛ که با نتایج قبلی بدست آمده (دیویس و ژانگ، ۱۹۹۱) سازگاری دارد.

با توجه به معنی‌دار شدن اثر سال بر آب مصرفی و از مقایسه میانگین اثر سال بر آب مصرفی (جدول ۳) مشخص می‌گردد متوسط آب مصرفی در سال اول ($5916.1 \text{ m}^3/\text{ha}$) بیشتر از سال دوم ($5843.76 \text{ m}^3/\text{ha}$) بوده و در کلاس متفاوتی قرار گرفت. طبق نتایج مقایسه میانگین تیمارها، بیشترین میزان بهره‌وری آب طبق شاخص (CPD) در تیمار PRD₃₀ بوده که مقدار آن در دو سال به ترتیب ۰/۷۵۴ و ۰/۷۸۴ کیلوگرم شلتوک بر مترمکعب آب می‌باشد. همچنین پس از PRD₃₀ تیمار PRD₁₀ بیشترین مقدار CPD را در دو سال به خود اختصاص داده و کمترین مقدار بهره‌وری در تیمار RDI₆₀ می‌باشد که مقدار آن در دو سال به ترتیب ۰/۵۶۹ و ۰/۵۷۹ کیلوگرم شلتوک بر مترمکعب آب آبیاری می‌باشد. با توجه به اینکه شاخص بیانگر تولید محصول تولید شده به‌ازای واحد آب مصرفی می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت اگرچه روش غرقاب دائم عملکرد بیشتری نسبت به آبیاری تناوبی دارد، ولی استفاده از کم‌آبیاری خصوصاً روش خشکی بخشی ریشه دارای بهره‌وری بیشتری بوده و در صورت محدود بودن منابع آبی گزینه مناسب‌تری جهت

نقش کلیدی دارد شده و حداکثر پنجه مفید یا بارور در رطوبتی معادل ظرفیت مزرعه (fc) و بیشتر رخ می‌دهد. همچنین روش خشکی بخشی ریشه موجب افزایش پنجه مفید می‌شود که یکی از عوامل کلیدی در افزایش عملکرد شلتوک می‌باشد. مقایسه میانگین طول خوشه نشان داده است که در هر دو سال تیمار FI بیشترین خوشه را داشته (به ترتیب ۲۸/۱ و ۲۸/۲ سانتیمتر) و با تیمارهای RDI₁₀ و PRD₁₀ از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشته است. تیمار RDI₆₀ نیز کمترین مقدار را داشته که با PRD₆₀ در یک کلاس قرار گرفته است. بر این اساس مشاهده می‌شود تنش شدید خشکی علاوه بر کاهش تعداد خوشه موجب کوتاه‌تر شدن آن نیز می‌شود. تجزیه و تحلیل آماری برای تعداد دانه کل نشان می‌دهد در هر دو سال تیمار FI (۱۱۸/۹ و ۱۱۹/۲) بیشترین مقدار را داشته و با تیمارهای RDI₁₀، PRD₁₀، RDI₃₀ و PRD₃₀ در یک کلاس آماری قرار دارد. کمترین تعداد دانه نیز در تیمار RDI₆₀ بوده که با تیمار PRD₆₀ از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشته است.

با توجه به اینکه تعداد دانه کل بر عملکرد موثر می‌باشد، طبق نتایج مقایسه میانگین ملاحظه می‌شود خشکی موضعی ریشه نسبت به کم‌آبیاری تنظیم شده با تنش خشکی مشابه تعداد دانه بیشتری دارد که با نتایج عملکرد متناسب می‌باشد. در وزن هزاردانه طبق نتایج بیشترین مقدار آن در هر دو سال مربوط به FI بوده (۲۴/۱۹ و ۲۴/۲۰ گرم) که با تیمارهای RDI₁₀، PRD₁₀ و PRD₃₀ در کلاس مشترک قرار گرفته است. تیمارهای RDI₆₀ و PRD₆₀ نیز کمترین وزن هزاردانه را دارا می‌باشند. با توجه به تاثیر این پارامتر در میزان عملکرد مشاهده می‌شود در این صفت هم مانند عملکرد و تعداد دانه، تیمارهای کم‌آبیاری به روش خشکی بخشی ریشه نسبت به کم‌آبیاری تنظیم شده مشابه، مقادیر بیشتری را به خود اختصاص داده است. مقایسه میانگین آب مصرفی اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد را بین تیمارها در هر دو سال نشان داده است. طبق نتایج بیشترین

استفاده می‌باشد. با توجه به معنی‌دار شدن اثر سال بر عملکرد، مصرف آب و بهره‌وری آب، مقایسه میانگین دوسال (جدول ۴) نشان می‌دهد که به جز آب مصرفی، سایر پارامترهای مورد بررسی در سال دوم مقادیر بیشتری داشته است.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر تیمار بر صفات مورد اندازه‌گیری در دو سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵

شخص CPD (kg/m ³)	آب مصرفی (m ³ /ha)	وزن هزار دانه (gr)	تعداد دانه کل	طول خوشه (cm)	تعداد پنجه بارور	ارتفاع بوته (cm)	عملکرد (kg/ha)	صفت تیمار
سال ۱۳۹۴								
۰/۵۰۸f	۸۲۷۰ a	۲۴/۱۹a	۱۱۸/۹a	۲۸/۱a	۱۲/۴a	۱۳۳/۹a	۴۲۰۰a	T1
۰/۶۱۸d	۶۵۸۸/۳b	۲۳/۵۸ab	۱۱۸/۲a	۲۷/۵abc	۱۲/۶a	۱۲۸ ab	۴۰۶۶/۷b	T2
۰/۷۲۷b	۵۶۳۵ d	۲۳/۶۳ab	۱۱۸/۸a	۲۷/۸ab	۱۳/۱a	۱۲۹/۲ab	۴۰۹۶/۷b	T3
۰/۶۳۳d	۵۸۸۱/۷c	۲۳/۲۶b	۱۱۶/۳a	۲۶/۵c	۱۲/۹a	۱۲۳/۸b	۳۷۲۰c	T4
۰/۷۵۴a	۵۰۲۵ f	۲۳/۳۷ab	۱۱۵/۳a	۲۶/۷bc	۱۳/۰a	۱۲۳ b	۳۷۹۰c	T5
۰/۵۶۹e	۵۲۸۱ e	۲۲/۰۶c	۱۰۵/۳b	۲۴/۵d	۸/۸b	۱۰۶/۳c	۳۰۰۳/۳d	T6
۰/۶۵۶c	۴۷۳۱/۷g	۲۲/۲۰c	۱۰۵/۹b	۲۴/۶d	۹/۰ b	۱۰۷/۲c	۳۱۰۳/۳d	T7
سال ۱۳۹۵								
۰/۵۲۱f	۸۱۶۰ a	۲۴/۲۰a	۱۱۹/۶a	۲۸/۲a	۱۲/۷ab	۱۳۴/۷a	۴۲۵۰a	T1
۰/۶۳۱d	۶۵۱۹/۳b	۲۳/۸۱ab	۱۱۸/۸a	۲۷/۸a	۱۳/۱ab	۱۲۸/۲b	۴۱۱۳/۳b	T2
۰/۷۵۴b	۵۵۴۲/d	۲۳/۹۵ab	۱۱۹/۳a	۲۸/۰a	۱۳/۴a	۱۲۹/۲b	۴۱۷۶/۷ab	T3
۰/۶۳۳d	۵۸۹۲/۷c	۲۳/۲۱b	۱۱۷/۵a	۲۶/۳b	۱۲/۵b	۱۲۴/۱bc	۳۷۳۳/۳d	T4
۰/۷۸۴a	۴۹۷۴ f	۲۳/۳۴ab	۱۱۶/۹a	۲۶/۶b	۱۲/۸ab	۱۲۲/۵c	۳۸۹۶/۷c	T5
۰/۵۷۹e	۵۱۷۱ e	۲۱/۹۰c	۱۰۴/۴b	۲۳/۵c	۸/۶c	۱۰۷/۱d	۲۹۹۳/۳f	T6
۰/۶۸۴c	۴۶۴۶/۷g	۲۲/۰۹c	۱۰۴/۸b	۲۳/۸c	۸/۵c	۱۰۷/۱d	۳۱۷۶/۷e	T7

اعداد دارای حرف لاتین مشترک در هر ستون در هر سال در سطح آماری پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر سال بر عملکرد، آب مصرفی و بهره‌وری آب

سال	عملکرد (kg/ha)	آب مصرفی (m ³ /ha)	بهره‌وری آب (kg/m ³)
۱۳۹۴	۳۷۱۱/۴۳b	۵۹۱۶/۱a	۰/۶۳۷۸b
۱۳۹۵	۳۷۶۲/۸۶a	۵۸۴۳/۷۶b	۰/۶۵۵۱a

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در کشور ما مدت‌هاست به دلیل کاهش روزافزون منابع آبی زنگ خطر به صدا درآمده است، به‌طوری‌که اخیراً حتی در استانهای شمالی نیز کشاورزان در برخی مواقع با کم آبی مواجه می‌شوند. لذا این تحقیق در راستای بررسی اثرات کم آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد برنج و بهره‌وری آب در روش جوی و پشته انجام شده است. طبق نتایج حاصله از این مطالعه اثر تیمارهای آبیاری بر عملکرد، میزان مصرف آب و بهره‌وری آب طبق شاخص CPD در سطح پنج درصد معنی‌دار بوده است. براین اساس اگرچه روش غرقاب دائم در زمین گلخراب دارای بیشترین عملکرد می‌باشد، اما تفاوت آن با تیمارهایی که

در زمین فارو تحت تنش جزئی خشکی قرار گرفته‌اند (DI₁₀ و PRD₁₀) ناچیز بوده و با هم در یک کلاس آماری قرار دارند؛ اما کم آبیاری تنظیم شده، خصوصاً خشکی بخشی ریشه به مراتب دارای مصرف آب کمتری می‌باشد. به‌طوری‌که در تیمار سوم (PRD₁₀) با کاهش ۳۲ درصدی آب مصرفی نسبت به روش غرقاب دائم، عملکرد حدود دو درصد کاهش داشته است. همچنین با مقایسه دو روش کم آبیاری مشاهده می‌شود، روش خشکی بخشی ریشه علاوه بر افزایش عملکرد نسبت به کم آبیاری تنظیم شده با تنش خشکی مشابه، موجب صرفه‌جویی قابل توجه در مصرف آب می‌شود. به‌طور مثال مصرف آب در تیمار PRD₁₀ نسبت به تیمار

کشت فارو را به‌عنوان یک روش جایگزین با روش آبیاری غرقابی داریم در کشت نشائی در نظر گرفت که موجب کاهش قابل توجه در مصرف آب و افزایش بهره‌وری آب در کشت برنج می‌شود.

تشکر و قدردانی

در اینجا از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور و نیز مدیریت محترم موسسه تحقیقات برنج مازندران به پاس مساعدت بی‌دریغ‌شان در اجرای این آزمایش تقدیر و تشکر نموده و توفیق روز افزون ایشان را خواستاریم.

RDI_{10} که دارای سطوح برابر تنش می‌باشند حدود ۱۵ درصد کمتر است، درحالی‌که عملکرد آن حدود یک درصد بیشتر است. با توجه به عملکرد بالاتر و مصرف آب کمتر در این تیمار، بهره‌وری آب نیز که از تقسیم عملکرد بر آب مصرفی بدست می‌آید، در تیمار PRD_{10} حدود ۱۸ درصد بیشتر از RDI_{10} می‌باشد. همچنین طبق نتایج اعمال تنش خشکی متوسط منجر به حداکثر بهره‌وری آب شده و بیشترین مقدار شاخص CPD در تیمار PRD_{30} بدست آمد؛ بنابراین می‌توان عنوان کرد در اراضی شالیزاری الزامی به غرقاب نمودن دائم مزرعه نمی‌باشد و با توجه به مبحث بحران آب و اهمیت روز افزون آن در تولید محصولات کشاورزی، می‌توان استفاده از کم‌آبیاری، خصوصاً روش خشکی بخشی ریشه در

فهرست منابع

۱. اصفهانی، م. ۱۳۷۷. مقدمه‌ای بر فیزیولوژی و اکولوژی برنج. انتشارات دانشگاه گیلان، ۵۷ ص.
۲. علیزاده، ا. ۱۳۷۸. رابطه آب و خاک و گیاه. دانشگاه امام رضا(ع)، ۳۵۳ ص.
۳. رضایی استخرویه، ع. هوشمند، ع.ر. برومند نسب، س. خانجانی، م. ج. ۱۳۹۱. تاثیر کم آبیاری و خشکی موضعی ریشه بر عملکرد، اجزاء عملکرد و کارایی مصرف آب گیاه ذرت دانه‌ای هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۶(۶). ص ۱۵۱۴-۱۵۲۱
۴. رضوی پور، ت. ۱۳۷۴. گزارش پژوهشی بررسی تاثیر کاهش درصد رطوبت خاک در مراحل مختلف رشد برنج (رقم بینام). موسسه تحقیقات برنج کشور، ۲۰ ص.
۵. گلابی، م. بهزاد، م و برومند نسب، س. ۱۳۸۵. کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS) در مدیریت آبیاری، همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی آب.
6. Ahmadi, S.H., M.N. Andersen, F. Plauborg, R.T. Poulsen, C.R. Jensen, A.R. Sepaskhah, and S. Hansen. 2010. Effects of irrigation strategies and soils on field grown potatoes: Yield and water productivity. *Agri. Water Management*. DOI 10.1016/j.agwat.2010.07.007.
7. Davies W.J., and J. Zhang. 1991. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 42:55-76.
8. El-Bably A.Z., M.E. Meleha, A.A. Allah, and W.M. El-Khoby. 2008. Increasing Rice Productivity, Water Use Efficiency, Water Saving and Rice Productivity in North Delta, Egypt. The 3rd International Conference on Water Resources and Arid Environments. King Fahd Cultural Centre in Riyadh, Saudi Arabia.
9. English, M.J, J.T. Musick, and V.V.N. Murty. 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.

10. Jovanovic, Z., R. Stikic, B. Vucelic-Radovic, M. Paukovic, Z. Brocic, G. Matovic, S. Rovcanin, and M. Mojevic. 2010. "Partial root-zone drying increases WUE, N and antioxidant content in field potatoes." *Europ. J. Agronomy* 33:124-131.
11. Kang, S.Z. and J. Zhang. 2004. Controlled alternate partial root-zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency. *Exp. Bot.*55,407,2437–2446.
12. Liu, F., R. Song, X. Zhang, A. Shahnazari, M.N. Andersen, F. Plauborg, S.E. Jacobsen, and C.R. Jensen. 2008. Measurement and modeling of ABA signaling in potato (*Solanum tuberosum* .L)during partial root-zone drying. *Environ and Experimental Botany*,63: 385-391.
13. Mahajan, G. T. S., K. Bharaj, and J. Timsina. 2008. Yield and water productivity of rice as affected by time of transplanting in Punjab, India. *Agri. Water Management*.96:525-532.

Effects of Regulated Deficit Irrigation and Partial Root Drying on Yield, Yield Components and Water Productivity of Rice in Furrow and Basin Methods

M. Yousefian, A. Shahnazari^{1*}, M. Ziatabar Ahmadi, M. Raeni Sirjaz ,
and B. Arabzadeh

PhD. student, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.

mostafa_yousefian@yahoo.com

Associate Professor, Water Engineering Department, University of Agricultural Sciences and Natural Resources of Sari. aliponh@yahoo.com

Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.

mzahmadi@yahoo.com

Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.

raeni@yahoo.com

Assistant Professor of Rice Research Institute.

beh_arabzadeh@yahoo.com

Abstract

Due to drought crisis in recent years, the use of alternative cropping methods that save water without any decrease in yield is increasing. Therefore, in order to evaluate the yield, yield components, and water use of rice under different non-submerged water levels and comparing it with permanently submerged condition, an experiment was conducted at fields of Rice Research Institute of Mazandaran during 2015 and 2016, using a randomized complete block design with three replications. The treatments consisted of two methods, regulated deficit irrigation (RDI) by irrigating all furrows and partial root drying (PRD) by irrigating alternate furrows, with three levels of drought stress: 10, 30, and 60 KPa (RDI₁₀, PRD₁₀, RDI₃₀, PRD₃₀, RDI₆₀, PRD₆₀) and a control treatment with permanently submerged basin irrigation in puddled soil (traditional method). Rice yield, yield components, and water consumption were measured in each treatment. The results showed that yield, plant height, panicle length, number of grains, 1000-grain weight, and water productivity (kg/m³) and water consumption at different levels of irrigation had a statistically significant difference in different treatments. Although the highest yield of rice was obtained in continuous submergence, yield reduction in alternate furrow irrigation treatments with minor stress (RDI₁₀ and PRD₁₀) was negligible and they were in the same statistical group in the two years of study. Also, partial root drying, significantly reduced water consumption, such that PRD₁₀ treatment resulted in 32% reduction in water consumption compared to the control treatment, and deficit irrigation, especially partial root drying, increased water productivity. The highest water productivity (kg/m³) was calculated in PRD₃₀ treatment at 0.724 kg per cubic meter of water. Based on the results, water consumption in the partial root drying was less than regulated deficit irrigation with the same tension, such that water consumption in PRD₁₀ decreased by 15% compared to RDI₁₀. However, average yield of PRD₁₀ in both years was 1.1% higher. The results related to the yield components were also proportional to yield and partial root drying method compared to regulated deficit irrigation was better.

Keywords: Alternate furrow irrigation, Partial root drying, Rice deficit irrigation

¹ -Corresponding author, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Faculty of Agricultural Engineering-Water Engineering Department, Sari, Iran

*- Received: December 2017 and Accepted: August 2018