مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۸ / شماره ۱/بهار ۱۳۸۶ / ص ۷۴-۶۱

افزایش بهره‌وری آب آبیاری ارقام برنج در اصفهان

حمیدرضا سالمی و علیرضا توکلی*

* به ترتیب عضو هیئت علمی بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان و موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، نشانی: مراغه، کمربند شمالی، جنب باغ فعالیت، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، تلفن: ۶۱۴۳۴۸۴ (۰۹۱۲)؛ پیام‌نگار: art.tavakoli@gmail.com

تاریخ دریافت مقاله: ۸۴/۹/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۸۵/۸/۲۷

چکیده

به منظور بهبود بهره‌وری آب آبیاری در تولید دانه ارقام برنج، پژوهشی طی دو سال زراعی ۸۱-۱۳۸۰ و ۸۲-۱۳۸۱ به صورت طرح آماری کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار در ایستگاه تحقیقات شهید فزوه اصفهان اجرا شد. سه تیمار میزان آب آبیاری (کرت اصلی) شامل: غرقاب دائم با ارتفاع ۳/۵ سانتی‌متر در تمام دورهٔ فصل رشد (I_1)، غرقاب دائم با ارتفاع ۲/۲ سانتی‌متر در تمام دورهٔ فصل رشد (I_2) و تیمار غرقاب متناوب ۱/۵-۰ سانتی‌متر (I_3) با هشت رقم و لاین برنج (کرت فرعی) شامل: گرده محلی، زاینده‌رود، سازندگی، حسنی شمال، ۹۷-۶۷، ۱۱۳-۶۷، ۴۷-۶۷ و ۷۲-۶۷ مد نظر قرار گرفتند. در دورهٔ رشد و در پایان فصل رشد، عملکرد دانه و شاخص‌های بهره‌وری آب برای تیمارهای آبیاری و ارقام مختلف برنج برآورد شد. حداکثر میزان بهره‌وری آب مصرفی مربوط به رقم زاینده‌رود تحت تیمار I_3 و به میزان ۹/۱ کیلوگرم به ازای هر میلی‌متر آب است که نسبت به تیمار آبیاری I_1 افزایشی برابر ۸۲ درصد نشان می‌دهد، یعنی با ۳۳/۴ درصد کاهش آب مصرفی از طریق اصلاح مدیریت مصرف آب تنها ۱۱/۱ درصد افت عملکرد در واحد سطح اتفاق می‌افتد. همین رقم تحت تیمارهای دیگر آبیاری نیز نسبت به بقیه ارقام برتری دارد. بعد از این رقم، لاین ۱۱۳-۶۷، سازندگی و رقم محلی گرده بیشترین مقدار بهره‌وری آب مصرفی را دارا هستند. با توجه به نتایج این پژوهش اعمال آبیاری غرقاب متناوب قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی

آب مصرفی، ارقام برنج، شاخص بهره‌وری آب، عملکرد

مقدمه

افزایش بهره‌وری آب (WP) یکی از عناصر اصلی بهره‌برداری منابع آب و افزایش تولیدات کشاورزی محسوب می‌شود. کمبود آب در کشورهای واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک یکی از محدودیت‌های عمدهٔ توسعه کشاورزی در آینده است به طوری که در اغلب کشورها کل منابع آب قابل دسترس در جهت توسعه از قبل به‌کارگرفته شده یا در حال به‌کارگیری است و چنانچه در این کشورها تقاضا نسبت به آب موجود افزایش یابد استفاده از آب با راندمان بالا در کشاورزی یا هر زمینهٔ دیگر ضرورت خواهد یافت (Arabzadeh, 2002; Sepaskhah *et al*., 2006). از مجموع ۸/۱ میلیون هکتار اراضی فاریاب کشور، ۷/۴ درصد به کشت برنج اختصاص دارد در صورتی که از ۸۴ میلیارد متر مکعب آب بخش کشاورزی ۱۲/۶ درصد برای آبیاری برنجزارها به مصرف می‌رسد. سطح زیر کشت این محصول در ایران برابر ۵۶۰ هزار هکتار، معادل ۴ درصد برنجزارهای کل جهان است؛ میانگین عملکرد نیز ۴۱۷۳ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است

1- Water Productivity

© 2010,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

(Keshavarz & Sadeghzadeh, 2000). شیوه رایج کشت و کار در شالیزارهای کشورمان کشت نشایی است که بعد از آماده‌سازی زمین، در بستر گل‌خراب[1] نشا کاشته و سپس رژیم آبیاری غرقاب دائم در آن برقرار می‌شود که سبب از دست رفتن فرصت بهره‌گیری از آب می‌گردد (Arabzadeh & Aghajani, 2002). در مورد آبیاری غرقابی برنج، محققان بسیاری می‌گویند که این روش، یک ابزار مدیریتی مناسب برای کنترل آفات، دسترسی آسان به مواد غذایی و جلوگیری از تنش آبی است و برای گیاه برنج ضرورت محسوب نمی‌شود، ضمن این که به‌کارگیری این روش نیاز به مصرف مقادیر زیاد آب دارد (Brown *et al*., 1978; Chandler, 1989; Mc Cauley, 1990; Turner & Mc Cauley, 1983). بیش از ۹۰ درصد برنج دنیا در آسیا تولید و مصرف می‌شود (Anon, 1997) که مقدار زیادی از آن تحت شرایط آبیاری به‌دست‌می‌آید. بیش از ۸۰ درصد از منابع آب شیرین در آسیا برای اهداف آبیاری و حدود نصف این مقدار برای آبیاری گیاه برنج مصرف می‌شود (Dawe *et al*., 1998). بنابراین، آیندهٔ تولید برنج بستگی زیادی به گسترش راهبردهایی برای استفادهٔ بهینه از آب در برنامه‌ریزی آبیاری دارد. در شرایط کمبود و محدودیت آب، مضمون استفاده حداکثر از واحد حجم آب، عدول از موازین کلاسیک تعیین آب مورد نیاز گیاه را الزام‌آور می‌کند. در چنین شرایطی، آب به حد لزوم و نه به حد کافی تا جایی به گیاه داده می‌شود که راندمان کاربرد و بهره‌وری آب حداکثر و عملکرد محصول قابل قبول باشد. از کل سطح زیر کشت برنج در کشور، استان اصفهان با حدود ۱۷۰۰۰ هکتار سطح زیر کشت در رتبه پنجم و از لحاظ کیفیت و کمیت با میانگین ۵۴۳۳ کیلوگرم در هکتار در مقام‌های اول و دوم در کشور قرار دارد (Anon, 2004). مقایسهٔ روش آبیاری غرقابی پیوسته با روش غرقابی ناپیوسته نشان‌داده است که روش اخیر باعث صرفه‌جویی آب می‌شود بی‌آن‌که کاهش محسوس و معنی‌داری در عملکرد دانه به وجود آید (Arabzadeh & Tavakoli, 2005; Ibrahim *et al*., 1995; Li & Cui, 1996; Tripathi *et al*., 1986) سعادتی و همکاران (Saadati *et al*., 1999) در پژوهشی، مدیریت‌های مختلف آبیاری غرقاب دائم و غرقاب تناوبی را بررسی کردند و نشان دادند که غرقاب تناوبی بر غرقاب دائم برتری دارد. عرب‌زاده و توکلی (Arabzadeh & Tavakoli, 2005) گزارش کردند که در کشت نشایی نیازی به وجود ارتفاع آب در سطح شالیزارها نیست و اشباع دایم خاک کفایت می‌کند و دارای بالاترین میزان شاخص بهره‌وری آب مصرفی است. نتیجهٔ تحقیق دداتا (De Datta, 1981) روی برنج تحت شرایط تنش‌های رطوبتی مختلف نشان‌دهندهٔ کاهش عملکرد در شرایط کم‌آبیاری و افزایش میزان بهره‌وری آب است.

هدف از این پژوهش، بررسی افزایش بهره‌وری آب آبیاری (WP_I) در تولید برنج و تعیین مدیریت بهینه آبیاری آن است.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر کم‌آبیاری تنظیم شده در شالیزارها، بهبود بهره‌وری مصرف آب و حصول عملکرد مناسب در کشت نشایی برنج، آزمایشی بر پایهٔ طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به صورت کرت‌های خردشده شامل سه تیمار آبیاری (کرت اصلی) و هشت رقم و لاین پیشرفته و محلی برنج (کرت فرعی) در سه تکرار و به مدت دو سال زراعی ۸۱-۱۳۸۰و ۸۲-۱۳۸۱ در ایستگاه تحقیقات شهید فزوه در ۲۰ کیلومتری غرب شهرستان اصفهان، جاده نجف‌آباد در مسیر قهدریجان به اجرا درآمد. ایستگاه در ارتفاع ۱۶۱۲ متر بالاتر از سطح دریا قرار دارد و طول و عرض جغرافیایی آن به ترتیب ′۳۶ و °۵۱ و ′۳۶ و °۳۲ است. این منطقه با متوسط بارش ۱۲۵ میلی‌متر در سال جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. حداقل دما ۱۴- و حداکثر آن ۳۶ درجه سانتی‌گراد است. در

1- Puddling

جدول‌های ۱ و۲ نتایج تجزیه خاک و آب محل اجرای آزمایش آورده شده است. هدایت الکتریکی (EC) خاک حاکی از شور بودن خاک محل آزمایش است. گفتنی است که EC غالب اراضی برنج‌کاری اصفهان و به ویژه شرق منطقه بالاتر از ۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر است. اگرچه به مطالعهٔ عکس‌العمل ارقام و لاین‌ها نسبت به شوری در منطقه نیاز است ولی روشن است که این ارقام و لاین‌ها در شرایط آب و خاک با شوری کمتر نتایج بهتری خواهند داد. لازم است توضیح داده شود که نمونهٔ آب و خاک در زمان کاشت تهیه شد و منبع آب آبیاری، چاه بود.

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک محل اجرای آزمایش

کل N (درصد)	فسفر قابل جذب P (قسمت در میلیون قسمت)	پتاسیم قابل جذب K (قسمت در میلیون قسمت)	اسیدیته کل اشباع (pH)	کربن آلی OC (درصد)	هدایت الکتریکی EC (دسی‌زیمنس بر متر)	بافت خاک
۰/۰۸۴	۶۳/۳	۲۲	۷/۶	۰/۸۴	۶/۲	رس نرم

میلی اکی والان در لیتر						
CO_3H^- بیکربنات	Cl^- کلر	$Mg^{2+}+Ca^{2+}$ کلسیم+ منیزیم	Na^+ سدیم	ماسه (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)
۱/۶	۵۶	۲۹	۲۸	۲۲	۲۸/۸	۴۹/۲

جدول ۲- نتایج تجزیه آب محل اجرای آزمایش

هدایت الکتریکی EC (دسی‌زیمنس بر متر)	اسیدیته pH	میلی اکی والان در لیتر					
		بیکربنات	کلر	سولفات SO_4^{2-}	مجموع آنیون‌ها	کلسیم + منیزیم	سدیم	مجموع کاتیون‌ها
۳/۹	۷/۴	۲/۴	۲۴	۸/۶	۳۵	۱۷	۱۸/۵	۳۵/۵

تیمارهای مدیریت آبیاری عبارت بود از: I_1: غرقاب دائم با ارتفاع آب ۳/۵ سانتی‌متر در تمام دورهٔ فصل رشد (تیمار شاهد)؛ I_2: غرقاب دائم با ارتفاع آب ۲/۲ سانتی‌متر در تمام دورهٔ فصل رشد (تیمار کاهش ارتفاع آب در حالت غرقاب)؛ I_3: غرقاب متناوب (AWD)[1] ۱/۵-۰ سانتی‌متر (ارتفاع صفر همان حالت اشباع است). دور آبیاری در اوایل دورهٔ رشد سه روز و در گرم‌ترین روزها دو روز تعیین شد. مفهوم تیمار آبیاری ۱/۵-۰ سانتی‌متر (غرقاب تناوبی) این است که ارتفاع آب به میزان ۱/۵ سانتی‌متر ایجاد و پس از ۳-۲ روز ارتفاع اولیه تجدید می‌شد. ابعاد کرت‌های آبیاری ۱۷/۵×۱۵ متر در نظر گرفته شد. ارقام و لاین‌های مورد بررسی شامل: گرده محلی، زاینده رود، سازندگی، حسنی (شمالی) و لاین‌های ۹۷-۶۷، ۱۱۳-۶۷، ۴۷-۶۷، ۷۲-۶۷ بود. این لاین‌ها و ارقام که از میان ۷۰۰ نمونه انتخاب شده‌اند خصوصیاتی برتر از قبیل پر محصولی، کیفیت مناسب (عطر و طعم)، درصد پوکی پایین، سازگاری با آب سرد، زودرسی و مقاومت به بیماری فوزاریوم دارند. ارقام سازندگی و زاینده‌رود از ارقام پرمحصول منطقه اصفهان هستند؛ رقم حسنی رقم کیفی شمال کشور است. لاین‌ها و ارقام انتخابی از نظر پنجه‌دهی و رسیدن مشابه اند.

در این آزمایش از خزانهٔ سنتی استفاده شد. در فروردین هر سال پس از عملیات شخم، خزانه آبیاری و گل‌خرابی می‌شد. زمین در این حالت با ماله صاف و پس از این‌که گل از حالت گل‌آب خارج شد بذرپاشی گردید. تناوب شبدر-

برنج در زمین خزانه رعایت شد؛ شبدر به عنوان کود سبز بسیار مناسب است. مقدار کود (اوره) مصرفی در زمین خزانه (۳۰۰ متر مربع) بر اساس ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار محاسبه و اضافه شد.

به دلیل نشاکاری سنتی، زمین تا عمق ۳۰-۲۵ سانتی‌متر در اردیبهشت شخم زده شد و پس از آبیاری و درحالی‌که آب روی زمین جریان داشت شله‌زنی انجام شد. مالـه‌کشی در حالتی که ۳ تا ۵ سانتی‌متر آب روی زمین بود اجرا و پس از خارج شدن گل از حالت گل‌آب (گل‌سفت) کاشت آغاز شد. عملیات کاشت و آبیاری در خردادماه انجام شد. تیمارهای فرعی به صورت ۵ خط با فاصله ۲۵ سانتی‌متر از یکدیگر اجرا شدند. فاصلهٔ بوته‌ها ۲۰ سانتی‌متر و تعداد نشاء ۶ عدد در کپه لحاظ شد. کود مصرفی برای تیمارها به صورت یکسان، بر اساس نتایج تجزیه خاک و طبق نظر همکاران خاکشناسی به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات دوپتاس ۴۶ درصد و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره محاسبه شد. کود اوره تقسیط‌شده و در سه مرحله قبل از کاشت، بعد از پنجه‌دهی کامل و بعد از خوشه‌دهی مصرف شد. کود فسفره کلاً قبل از کاشت و پتاس ۴۰ روز پس از کاشت مصرف شد.

میزان آب مورد نیاز در زراعت برنج بستگی به تبخیر از سطح مزرعه، نفوذ عمقی، دما، رطوبت محیط، وجود علف‌های هرز و رقم زراعی دارد. میزان آب مصرفی در این آزمایش با استفاده از خط‌کش مدرج که در کرت‌ها نصب شده بود و کنتور حجمی اندازه‌گیری شد. به منظور جلوگیری از نفوذ جانبی، بین تیمارهای آبیاری در عمق ۲۵ سانتی‌متری از یک لایهٔ پلاستیک ضخیم به صورت عمودی در طول کرت‌ها استفاده شد. فواصل کرت‌ها در تیمارهای اصلی ۱۵۰ و در تیمارهای فرعی ۷۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. با توجه به غالب بودن علف هرز سوروف[1] (*Echinochloa Cruss-Galli*) در خزانهٔ برنج، از سموم علف‌کش اردرام و ساتارن به مقدار ۷ و ۶ لیتر در هکتار استفاده شد. علف‌های هرز زمین اصلی با سموم بوتاکلر و رونستاد و وجین (با دست) کنترل شدند. به منظور مبارزه با رشد جلبک در خزانه و زمین اصلی از سولفات مس به میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. شلتوک در مهرماه و به روش دستی برداشت شد که برای این کار، از حدود ۱۰ روز قبل، با توجه به بافت سنگین‌خاک، آب مزرعه قطع شد. برای بریدن ساقه‌ها از داس استفاده شد. بوته‌های برنج دروشده به مدت ۳-۱ روز برای خشک‌شدن در مزرعه رها و سپس به خرمنگاه منتقل شدند. پس از ۲۴ ساعت، با استفاده از خرمنکوب، کوبیدن و بوجاری انجام شد.

نشاکاری، قطع آب، و برداشت از اواسط خرداد تا اواخر مهر طول کشید. میانگین آب مصرفی طی ماه‌های اردیبهشت تا شهریور برای تیمارهای آبیاری I_1، I_2 و I_3 به ترتیب ۱۷۵۰، ۱۱۶۵ و ۸۵۵ میلی‌متر (۱۷۵۰۰، ۱۱۶۵۰ و ۸۵۵۰ متر مکعب در هکتار) اندازه‌گیری شد. روند تغییرات مصرف آب در دوره کشت مطابق با جدول ۳ است.

عملکرد دانه پس از خشکاندن شلتوک و رساندن رطوبت به ۱۱ درصد با ترازوی دقیق با دقت ۰/۱ گرم اندازه‌گیری شد. داده‌های آزمایش شامل عملکرد شلتوک و شاخص بهره‌وری آب آبیاری (WP_I) با استفاده از نرم‌افزار MSTATC مورد تجزیه قرار گرفت و با مقایسهٔ مقادیر عملکرد و شاخص بهره‌وری آب، تیمار برتر مدیریت آبیاری و رقم برنج انتخاب شد. بهره‌وری آب آبیاری (WP_I) به صورت نسبت عملکرد شلتوک به میزان آب آبیاری بیان می‌شود (Bhuiyan *et al*., 1995; Broun *et al*., 1978; Cabangon *et al*., 2002; De Datta, 1981; Mc Cauley, 1990; Tripathi *et al*., 1986; Tuong & Bouman, 2003).

جدول ۳- میانگین میزان آب مصرفی در تیمارهای مختلف (متر مکعب در هکتار)

	I_1	I_2	I_3
اردیبهشت (خزانه)	۱۷۵۰	۱۷۵۰	۱۷۵۰
خرداد	۴۴۸۱	۳۴۰۵	۲۰۰۰
تیر	۴۱۶۲	۲۳۵۵	۱۹۰۰
مرداد	۳۸۱۲	۲۱۴۰	۱۷۰۰
شهریور	۳۲۹۵	۲۰۰۰	۱۲۰۰
کل آب مصرفی	۱۷۵۰۰	۱۱۶۵۰	۸۵۵۰

نتایج و بحث

تجزیهٔ واریانس مرکب اثر مدیریت‌های مختلف آبیاری بر عملکرد محصول برنج و شاخص بهره‌وری آب آبیاری در جدول ۴ ارائه شده است. در این جدول می‌بینیم که اثر رقم بر عملکرد و شاخص بهره‌وری آب در سطح ۱ درصد و همچنین اثر مدیریت‌های مختلف آبیاری و اثر متقابل مدیریت آبیاری و رقم بر شاخص بهره‌وری آب بسیار معنی‌دار است. اما این اثر بر عملکرد معنی‌دار نیست.

جدول ۴- میانگین مربعات اثر مدیریت‌های آبیاری بر عملکرد دانه و شاخص بهره‌وری آب ارقام برنج

		میانگین مربعات	
منابع تغییر	درجهٔ آزادی	عملکرد دانه	بهره‌وری آب مصرفی
سال	۱	۱۰/۴**	۰/۰۱۳**
تکرار (سال)	۴	۴/۴ns	۰/۰۰۰۶۹
آبیاری (I)	۲	۳/۴ ns	۰/۱۴۵**
آبیاری × سال	۲	۲/۱*	۰/۰۰۰۰۹۶**
خطای(e)	۸	۴	۰/۰۰۰۰۵۸
رقم (V)	۷	۲۴/۹**	۰/۱۸**
آبیاری × رقم	۱۴	۰/۵۲ns	۰/۰۰۵۹**
رقم × سال	۷	۴**	۰/۰۰۰۰۶۷ns
سال × آبیاری × رقم	۱۴	۰/۳۵ns	۰/۰۰۰۰۵۸ns
خطا	۸۴	۰/۴۸	۰/۰۰۰۱۴
CV (درصد)		۹/۴	۱/۹۵

* اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد، ** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ns نبود اختلاف معنی‌دار

مقـادیر متوسـط عملکـرد دانـه و شـاخص بهـره‌وری آب آبیاری در جدول ۵ نشان داده شده است. طبق ایـن جـدول بالاترین میزان عملکرد (۸۷۵۰ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار غرقاب دائم و رقم زاینده‌رود است. رقم حـسنی و لایـن ۶۷-۷۲ به دلیل دارا بودن کمترین میزان عملکـرد مطلوبیـت ندارند و از مقایسه کنار گذاشته می‌شوند. تیمار آبیاری I_1 بـا عملکرد ۷۳۹۴ کیلوگرم در هکتار اختلاف چندانی بـا تیمـار آبیاری I_2 بـا ۷۳۶۹ کیلـوگرم در هکتـار نـدارد و ایـن نـشان می‌دهد که اگر ارتفاع غرقاب از حد معینی (۲/۲ سانتی‌متـر) بیشتر شود، تأثیر چندانی بر عملکرد محصول نخواهد داشت. با اعمال آبیاری غرقاب تناوبی ۱/۵– ۰ سـانتی‌متـر، اگـر چـه عملکرد بـه میـزان ۸۳۲ کیلـوگرم در هکتـار (۱۱/۲ درصـد) کاهش می‌یابد از آب مصرفی نیز به میزان ۸۹۵۰ متر مکعـب (۵۱ درصد) کاسـته مـی‌شـود (جـدول ۵) کـه بـا توجـه بـه محدودیت منابع آب، این میزان صـرفه‌جـویی در مـصرف آب بسیار اهمیت دارد.

جدول ۵- مقادیر عملکرد شلتوک (کیلوگرم در هکتار) و بهره‌وری آب مصرفی (کیلوگرم بر میلی‌متر) ارقام برنج و تیمارهای مدیریت آبیاری

ارقام برنج		I_1	I_2	I_3	متوسط
گرده	عملکرد شلتوک	۸۰۵۰	۷۹۲۲	۷۰۱۱	۷۶۶۱
	بهره‌وری آب مصرفی	۴/۶	۶/۸	۸/۲	۶/۱
۶۷-۴۷	عملکرد شلتوک	۷۳۵۰	۷۳۴۰	۶۵۸۴	۷۰۹۱
	بهره‌وری آب مصرفی	۴/۲	۶/۳	۷/۷	۵/۶
۶۷-۹۷	عملکرد شلتوک	۷۵۲۵	۷۵۷۳	۶۷۵۵	۷۲۸۴
	بهره‌وری آب مصرفی	۴/۳	۶/۵	۷/۹	۵/۸
۶۷-۷۲	عملکرد شلتوک	۵۹۵۰	۵۹۴۲	۵۲۱۶	۵۷۰۲
	بهره‌وری آب مصرفی	۳/۴	۵/۱	۶/۱	۴/۵
۶۷-۱۱۳	عملکرد شلتوک	۸۲۲۵	۸۱۵۵	۷۳۵۳	۷۹۱۱
	بهره‌وری آب مصرفی	۴/۷	۷	۸/۶	۶/۳
سازندگی	عملکرد شلتوک	۸۰۵۰	۸۰۳۹	۷۲۶۸	۷۷۸۵
	بهره‌وری آب مصرفی	۴/۶	۶/۹	۸/۵	۶/۲
حسنی	عملکرد شلتوک	۵۲۵۰	۵۲۴۳	۴۵۳۲	۵۰۰۸
	بهره‌وری آب مصرفی	۳	۴/۵	۵/۳	۴
زاینده‌رود	عملکرد شلتوک	۸۷۵۰	۸۷۳۸	۷۷۸۱	۸۴۲۳
	بهره‌وری آب مصرفی	۵	۷/۵	۹/۱	۶/۷
متوسط	عملکرد شلتوک	۷۳۹۴	۷۳۶۹	۶۵۶۲	
	بهره‌وری آب مصرفی	۴/۲	۶/۳	۷/۷	
میزان آب مصرفی		۱۷۵۰۰	۱۱۶۵۰	۸۵۵۰	

طی دوره آبیاری محصول، در تیمار I_1 به طور متوسط هر روز حدود ۱۶ میلی‌متر آب به کرت اضافه می‌شد تا ارتفاع آب به ۳/۵ سانتی‌متر برسد. در تیمار I_2 نیز هر دو روز یک‌بار ۲۲ میلی‌متر آب به کرت اضافه می‌شد تا ارتفاع آب به ۲/۲ سانتی‌متر برسد. ولی در تیمار I_3 هر ۲ الی ۳ روز یک‌بار به میزان ۲۴-۱۶ میلی‌متر آب به کرت اضافه می‌گردید. ارتفاع آب در تیمار I_3 بین صفر تا ۱/۵سانتی‌متر بوده و عدد ثابتی نبوده است. در تیمار I_1 و در هنگام تجدید آبیاری مقداری آب در کف کرت وجود داشت. وجود همین سطح آزاد آب در کرت، میزان تبخیر را نسبت به تیمارهای دیگر افزایش خواهد داد و به دلیل وجود بار هیدرولیکی بیشتر موجود در کرت و با وجود ایزوله‌کردن اطراف کرت، نشت جانبی آب نیز وجود خواهد داشت. ولی در تیمار I_3 در اکثر اوقات تا ۲۴ ساعت و بیشتر، آبی در سطح خاک وجود نداشت و رطوبت خاک تا حد ۹۰ درصد θ_S تنزل پیدا می‌کرد. کاملاً طبیعی است که تلفات تبخیر از سطح خاک مرطوب نسبت به سطح آزاد آب کمتر و در نتیجه حجم کاربردی آب آبیاری نسبت به تیمارهای دیگر کمتر خواهد بود.

با توجه به اختلاف کاربرد آب در مدیریت‌های مختلف آبیاری، عملکرد، یعنی تولید در واحد سطح، ملاک مناسبی برای گزینش رقم و مدیریت آبیاری به شمار نمی‌رود. لذا ضروری است تیمار برتر بر مبنای شاخص بهره‌وری آب انتخاب شود. درحالی‌که میزان تولید به ازای هر میلی‌متر آب مصرفی (بهره‌وری آب) در جهان برای برنج، گندم و ذرت به ترتیب ۶- ۲/۵، ۱۶-۸ و ۲۳/۹-۱۶ کیلوگرم به ازای میلی‌متر گزارش شده است (Bhatti & Kijne, 1992)، میزان بهره‌وری آب مصرفی ارقام مختلف در تیمار آبیاری I_1، I_2 و I_3 به ترتیب ۵-۳، ۷/۵- ۴/۵ و ۹/۱- ۵/۳ کیلوگرم به ازای میلی‌متر متغیر بوده است (جدول ۵).

رقمی مطلوبیت دارد که تحت شرایط مختلف مدیریت آبیاری بتواند شاخص بهره‌وری مناسبی داشته باشد. بر این اساس رقم زاینده‌رود در هر سه مدیریت آبیاری دارای این ویژگی است. میزان افزایش بهره‌وری آب آبیاری ارقام برنج در دو حالت، یک بار در مقایسه با تیمار"غرقاب دائم (I_1) رقم گرده محلی" و یک بار در مقایسه با تیمار "غرقاب دائم (I_1) همان رقم"، مقایسه می‌شود که در جدول ۶ نشان داده شده است.

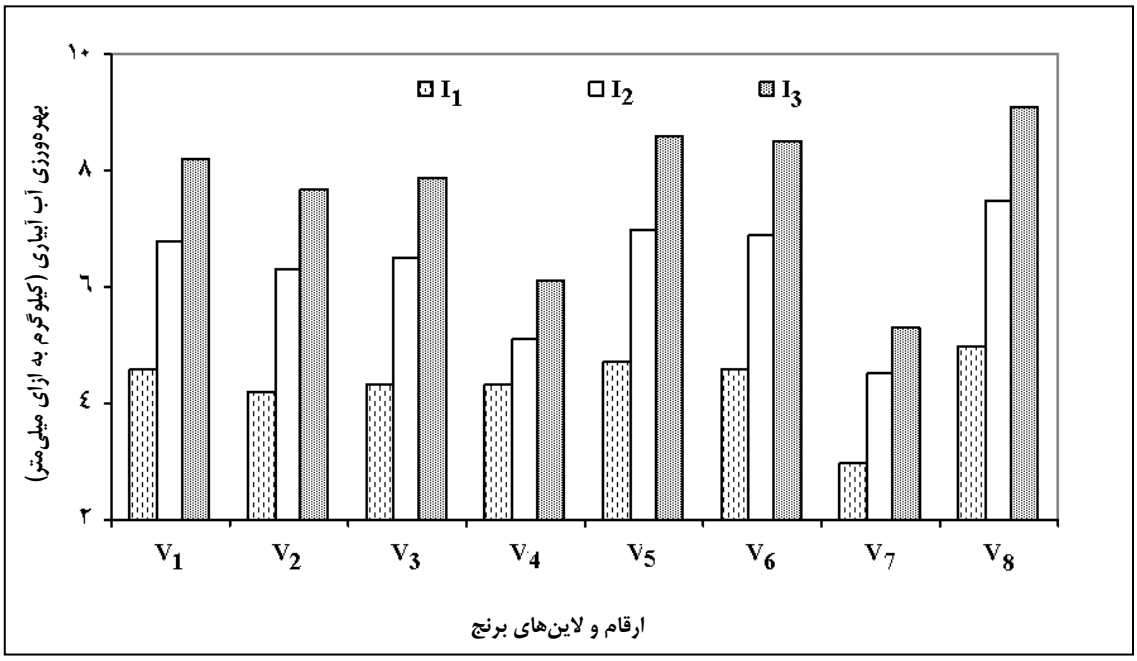
بر اساس این جدول میزان بهره‌وری آب مصرفی ارقام برنج در تیمار کاهش ارتفاع غرقاب (I_2) در مقایسه با تیمار غرقاب (I_1) همان رقم به میزان ۵۱-۴۷ درصد و در مقایسه آبیاری غرقاب تناوبی (I_3) با تیمار غرقاب (I_1) به میزان ۸۴-۷۶ درصد افزایش نشان می‌دهد. نکتهٔ مهم این است که این روند برای تمام ارقام صادق است (جدول ۶). در همین جدول میزان بهره‌وری آب مصرفی برخی ارقام در حالت غرقاب دائم در مقایسه با "غرقاب دائم رقم شاهد محلی" کاهش نشان می‌دهد اما بالاترین میزان افزایش مربوط به رقم زاینده‌رود و سپس رقم ۱۱۳-۶۷ است. به استثنای رقم حسنی و لاین ۷۲-۶۷، میزان بهره‌وری آب مصرفی ارقام در تیمار کاهش ارتفاع عمق غرقاب (I_2) در مقایسه با تیمار غرقاب (I_1) رقم شاهد (گرده محلی) به میزان ۶۳-۴۱ درصد و در مقایسه آبیاری غرقاب تناوبی (I_3) با تیمار غرقاب (I_1) به میزان ۹۸-۶۷ درصد افزایش نشان می‌دهد. در هر دو حالت افزایش بهره‌وری آب مصرفی با اعمال آبیاری غرقاب تناوبی و برای ارقام مختلف (به استثنای رقم حسنی و لاین ۷۲-۶۷) در مقایسه با آبیاری غرقاب دائم مشهود است. این روند به روشنی در شکل ۱ نشان داده شده است. اما برتری خاص باز هم برای رقم زاینده‌رود و پس از آن لاین ۱۱۳-۶۷ و رقم سازندگی است. متوسط مقادیر بهره‌وری آب و ارتفاع بوتهٔ برنج تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری در شکل ۲ نشان داده شده است. از نظر شاخص بهره‌وری آب، برتری با تیمار آبیاری غرقاب متناوب است و لی از نظر ارتفاع بوته تفاوت چندانی بین تیمارهای آبیاری مشاهده نمی‌شود.

جدول ۶- میزان افزایش بهره‌وری آب نسبت به تیمار غرقاب دائم و رقم شاهد

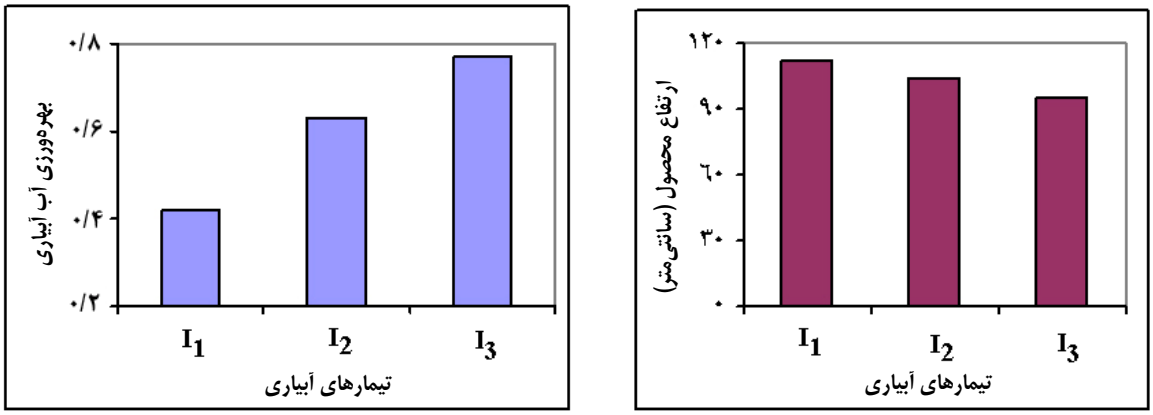
افزایش بهره‌وری آب نسبت به تیمار غرقاب دائم هر رقم (درصد)			افزایش بهره‌وری آب نسبت به تیمار غرقاب دائم رقم محلی گرده (درصد)			
I_3	I_2	I_1	I_3 **	I_2 **	I_1 *	ارقام برنج
۷۸/۳	۴۷/۸	-	۷۸/۳	۴۷/۸	-	گرده
۸۳/۳	۵۰	-	۶۷/۴	۳۷	-۸/۷	۶۷-۴۷
۸۳/۷	۵۱/۲	-	۷۱/۷	۴۱/۳	-۶/۵	۶۷-۹۷
۷۹/۴	۵۰	-	۳۲/۶	۱۰/۹	-۲۶/۱	۶۷-۷۲
۸۳	۴۸/۹	-	۸۷	۵۲/۲	۲/۲	۶۷-۱۱۳
۸۴/۸	۵۰	-	۸۴/۸	۵۰	۰	سازندگی
۷۶/۷	۵۰	-	۱۵/۲	-۲/۲	-۳۴/۸	حسنی
۸۲	۵۰	-	۹۷/۸	۶۳	۸/۷	زاینده‌رود

* افزایش بهره‌وری آب ارقام مختلف در تیمار غرقاب دائم نسبت به رقم محلی گرده

** افزایش بهره‌وری آب برای ارقام مختلف در تیمارهای I_2 و I_3 نسبت به تیمار غرقاب دائم



شکل ۱- متوسط مقادیر بهره‌وری آب ارقام برنج تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری



شکل ۲- متوسط مقادیر بهره‌وری آب و ارتفاع بوتهٔ ارقام برنج تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری

اگر آب به مقدار ثابت و برابر با تیمار غرقاب دائم (۱۷۵۰۰ متر مکعب) در دسترس باشد، سطح تحت آبیاری تیمار غرقاب دائم (I_1) برابر یک هکتار است ولی در تیمار کاهش ارتفاع غرقاب (I_2) یا تیمار غرقاب تناوبی (I_3) ترتیب به ۱/۵ و ۲/۰۵ هکتار خواهد رسید. این میزان افزایش سطح زیر کشت (خصوصاً در تیمار I_3) نه تنها افت عملکرد را جبران خواهد کرد بلکه تولید کل را به نحو چشمگیری افزایش می‌دهد. به عنوان نمونه تولید رقم زاینده‌رود تحت تیمار غرقاب دائم (I_1) که برابر ۸۷۵۰ کیلوگرم است در شرایط وجود زمین اضافی با به‌کارگیری تیمار کاهش ارتفاع غرقاب (I_2)، تولید آن به ۱۳۱۲۵ کیلوگرم و با به‌کارگیری تیمار غرقاب تناوبی (I_3) به ۱۵۹۲۵ کیلوگرم خواهد رسید. نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق با گزارش دیگر پژوهشگران همسوست. تعیین مقادیر WP_I و WP_{I+R} مورد توجه محققان زیادی قرار گرفته است، به طوری که میزان WP_{I+R} در تولید دانه برنج در مالزی (Cabangon *et al.*, 2002)، فیلیپین (Bhuiyan *et al.*, 1995)، مالزی (Kitamura, 1990)، هندوستان (Bouman & Tuong, 2001) و فیلیپین (Bouman & Tuong, 2001) به ترتیب ۲/۷–۲/۵، ۳/۹–۲/۹ ، ۵/۸–۳/۳ ، ۴–۲ و ۱۱–۳ کیلوگرم به ازای میلی‌متر گزارش شد و در اراضی مسطح مقدار آن بین ۱۱-۲ کیلوگرم به ازای میلی‌متر متغیر گزارش گردید (Bouman & Tuong, 2001; Tuong, 1999). میزان WP_I در تولید دانه برنج در پاکستان (Bhatti & Kijne, 1992) و مالزی (Cabangon *et al.*, 2002) به ترتیب ۱۵–۱۰ و ۲/۵ – ۰/۵ کیلوگرم به ازای میلی‌متر گزارش شده است. میزان بهره‌وری ناشی از تبخیر - تعرق (WP_{ET}) در تولید دانه برنج در فیلیپین (Bhuiyan *et al.*, 1995)، هندوستان (Sandhu *et al.*, 1980)، مالزی (Kitamura, 1990)، هندوستان (Mishra *et al.*, 1990) و هندوستان (Khepar *et al.*, 1997) به ترتیب ۱۶/۱–۱۳/۹، ۱۱، ۹/۵ –۸/۸، ۸/۹ و ۵–۴ کیلوگرم به ازای میلی‌متر گزارش شده است.

طی تحقیقی در مورد کشت مستقیم و نشایی برنج گزارش گردید که نگهداری مداوم رطوبت خاک در حالت نزدیک به اشباع اگر چه باعث ۵ درصد کاهش محصول می‌گردد ولی ۳۵ درصد از آب مصرفی را در مقایسه با شرایط غرقابی کاهش می‌دهد (Herve, 1997; Tabbal *et al.*, 2002). عرب‌زاده و توکلی (Arabzadeh & Tavakoli, 2005) در بررسی اثر کم‌آبیاری تنظیم‌شده در شالیزارها و بهبود بهره‌وری مصرف آب و حصول عملکرد مناسب در کشت

نشایی برنج، طی پژوهشی روی برنج رقم طارم در آمل گزارش کردند که تیمار غرقاب دائم ۵ سانتی‌متر و تیمار اشباع دائم به ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد شلتوک را داشته‌اند، اما میزان بهره‌وری آب آبیاری (WP_I) و بهره‌وری مجموع آب آبیاری و بارش (WP_{I+R}) در تولید شلتوک برای تیمار اشباع دائم به ترتیب برابر ۷ و ۶/۱ کیلوگرم به ازای میلی‌متر آب مصرفی به‌دست آمد که افزایشی معادل ۳۸ تا ۴۳ درصد نسبت به تیمار غرقاب دائم دارد. در تیمار اشباع دائم با ۴۲ درصد کاهش آب مصرفی نسبت به غرقاب دائم ۵ سانتی‌متر، تنها ۱۰ درصد کاهش عملکرد در واحد سطح ایجاد می‌شود.

خسارت‌پذیری برنج وکاهش معنی‌دار عملکرد در شرایط غیر غرقاب، از رطوبت‌های پایین‌تر از ۸۰ درصد اشباع شروع شده است (Razavipour *et al.*, 2000) درحالی‌که در تحقیق حاضر در شرایط بحرانی تیمار I_3 که رطوبت خاک به ۹۰ درصد حد اشباع می‌رسید کاهش‌عملکرد دانه معنی‌دار نشده است. این نتیجه مؤید مطلب فوق است. به منظور امکان‌سنجی صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری و پی بردن به تاثیر کاهش رطوبت در هر مرحله از رشد برنج، طی پژوهشی در رشت و با به‌کارگیری تیمارهایی چون ۵ سانتی‌متر غرقاب دائم در کلیه مراحل رشد گیاه (شاهد) و تیمارهای کاهش رطوبت خاک تا ۸۰ و ۶۰ درصد رطوبت اشباع، نشان داده شده است که برنج می‌تواند در رطوبت‌های بدون غرقاب رشد خوبی داشته باشد و تا زمانی‌که رطوبت خاک از ۸۰ درصد اشباع پایین‌تر نرود عملکرد نقصان نمی‌یابد. خسارت‌پذیری برنج در رطوبت‌های کمتر از ۸۰ درصد اشباع آغاز می‌شود ولی خسارت در مراحل استقرار نشا و گل‌دهی آسیب بیشتری وارد می‌کند (Razavipour *et al.*, 2000). بررسی‌های اجراشده در اصفهان نشان داد که لاین‌های ۹۷-۶۷، ۴۷-۶۷، زاینده‌رود و عملکرد آنها سازندگی که از ارقام محلی آزاد شده‌اند نسبت به تنش‌های آبی تحمل بیشتری دارند و عملکرد آن‌ها در شرایط غیر غرقاب، در مقایسه با سایر ارقام، بهتری است (Abedi & Damadzadeh, 1997).

نتیجه‌گیری

حداکثر میزان بهره‌وری آب مصرفی مربوط برای رقم زاینده‌رود تحت تیمار غرقاب تناوبی (I_3) و به میزان ۹/۱ کیلوگرم به ازای میلی‌متر است که نسبت به تیمار آبیاری غرقاب دائم (I_1) افزایشی برابر ۸۲ درصد نشان می‌دهد و از این رو اعمال آبیاری غرقاب تناوبی در زراعت برنج قابل توصیه است. در این تیمار با ۳۳/۴ درصد کاهش آب مصرفی از طریق اصلاح مدیریت مصرف آب تنها ۱۱/۱ درصد افت عملکرد در واحد سطح اتفاق افتاده است.

مساحت عمده قطعات زمین‌های زراعتی منطقهٔ اصفهان کوچک است، کشت برنج در منطقه سابقه‌ای طولانی دارد و کشاورزان مهارت خاصی در تسطیح کرت برای کنترل آبیاری دارند؛ آنها در زمان نشا ناهمواری‌های موجود را برطرف می‌کنند. با توجه به بافت و ساختمان خاک و مواد آلی موجود در خاک در صورت فقدان آب در ۳-۱ روز در سطح خاک، شکاف عمیق به وجود نخواهد آمد و در صورت کنترل دقیق علف‌های هرز در ابتدای دوره و ایزوله‌کردن محل، هیچ‌گونه علف هرزی بعد از مبارزه شیمیایی مشاهده نخواهد شد. با توجه به محدودیت آب قابل دسترس و تلاش برای خاتمه سریع‌تر عملیات آبیاری، تیمار غرقاب تناوبی گزینه‌ای مناسب خواهد بود تا بر اساس الگوی کشت و تنوع محصول، برنامه آبیاری منطقه و محصولات را تنظیم کرد. بدیهی است برای این منظور اجرای طرح‌های تحقیقی و ترویجی در مزارع کشاورزان و مطابق با الگوی کشت ضروری است.

قدردانی

از آقای مهندس محمدحسن عابدی عضو هیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان به خاطر مساعدت در اجرای پژوهش و نیز از داوران و هیات تحریریه مجله به خاطر راهنمایی و نظرات ارشادی تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

مراجع

Abedi, H. and Damadzadeh, M. 1997. C-Test experiments, 1994-96. Research Report. No. 343. Agricultural Research and Education Organization. (in Farsi)

Anon. 1997. Production Yearbook. Vol. 50. FAO. Rome.

Anon. 2004. Statistical annual agri-report. Ministry of Jihad-e-Agricultural.

Arabzadeh, B. 2002. Water and Irrigation at Rice Farming. (in Farsi)

Arabzadeh, B. and Aghajani, S. 2002. Rice (Growth, Water Requirement, Desease and Weed Control). (in Farsi)

Arabzadeh, B. and Tavakoli, A. R. 2005. Optimal management of deficit irrigation for rice in transplanted (TP) farming. J. Agric. Sci. Natural Res. 12(4): 20-27. (in Farsi)

Bhatti, M. A. and Kijne, J. W. 1992. Irrigation Management Potential of Paddy/Rice Production in Punjab of Pakistan. In: Murty, V. V. N. and Koga, K. (Eds.). Soil and Water Engineering for Paddy Field Management. Proceedings of the International Workshop on Soil and Water Engineering for Paddy Field Management. Asian Institute of Technology. Bangkok. Thailand.

Bhuiyan, S. I., Sattar, M. A. and Khan, M. A. K. 1995. Improving water use efficiency in rice irrigation through wet-seeding. Irrig. Sci. 16 (1): 1-8

Bouman, B. A. M. and Tuong, T. P. 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated rice. Agric. Water Manag. 49(1): 11-30.

Brown, K. W., Turner, F. T., Thomas, J. C., Deuel, L. E. and Keener, M. E. 1978. Water balance of flooded rice paddies. Agr. Water Manag. 1, 277-291.

Cabangon, R., Tuong, T. P., Tiak, E. B. and Abdullah, N. B. 2002. Increasing water productivity in rice cultivation: Impact of large scale adoption of direct seeding in the muda irrigation system. In: Direct seeding in Asian Rice Systems: Strategic Research Issues and Opportunities. Proceedings of an International Workshop on Direct Seeding in Asia, Bangkok, Thailand. Jan. 25-28. IRRI. Makati City. Philippines.

Chandler, F. R. 1989. Rice in the Tropics: A Guide to the Development of National Programs. Westview Press. Boulder. Co.

Dawe, D., Seckler, D. and Barker, R. 1998. Water supply and research for food security in Asia. Proceedings of the Workshopon Increasing Water Productivity and Efficiency in Rice - Based System. Jul. IRRI. Los Bonas. Philippines.

De Datta, S. K. 1981. Principles and Practices of Rice Production. John Wiley and Sons. N. Y.

Herve, P. 1997. Guilan, a successful irrigation project in Iran. Irrig. Drain. Sys.10,95-107.

Ibrahim, M. A. M., El-Gohary, S. A., Willardson, L.S. and Sisson, D. V. 1995. Irrigation interval effects on rice production in the Nile Delta. J. Irrig. Sci. 16,29-33.

Keshavarz, A. and Sadeghzadeh, K. 2000. Agricultural water use management, feauture demand, drought, present condition and new technology for optimization of water use. 10th National Seminar of IRNCID (Iranian National Committee on Irrigation and Drainage). Tehran. Iran. (in Farsi)

Khepar, S. D., Sondi, S. K., Kumar, S. and Singh, K. 1997. Modelling effects of culture practices on water use in paddy fields - a case study. Research Bulletine. Punjab Agricultural University. Ludhiana. India.

Kitamura, Y. 1990. Management of an irrigation system for double cropping culture in the tropical monsoon area. Technical Bulletine 27. Tropical Agricultural Research Center. Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries. Tsukuba. Ibaraki. Japan.

Li, Y. H. and Cui, Y. N. 1996. Real time forecasting of irrigation water requirements of paddy fields. Agric. Water manag. 31,185-193.

Mc Cauley, G. N. 1990. Sprinkler Vs. flood irrigation in traditional riceproduction regions of southeast texas. Agro. J. 82,677-683.

Mishra, H. S., Rathore, T. R. and Pant. R. C. 1990. Root growth, water potential, and yield of irrigated rice. Irrig. Sci. 17, 69-75.

Razavipour, T., Yazdani, M. and Kavoosi, M. 2000. Effects of soil moisture stress at different growth stages on yield of Binam rice cultivar. 6th National Congress of Soil Science. Mashhad. Iran. (in Farsi)

Saadati, N., Asadi, R. and Nasiri, M. 1999. Study of stress at different growth stages on rice cultivars (Tarom and Nemat) yield and determining of water use. Research Report. No. 451. Rice Research Institute. (in Farsi)

Sandhu, B. S., Khera, K. L., Prihar, S. S. and Singh, B. 1980. Irrigation need and yield of rice on a sandy - loam soil as affected by continuous and intrmittent submergence. Indian J. Agric. Sci. 50(6): 492-496.

Sepaskhah, A. R., Tavakoli, A. R. and Mousavi, F. 2006. Deficit irrigation, principals and practice. No. 100. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID). (in Farsi)

Tabbal, D. F., Bouman, B. A. M., Bhuiyan, S. I., Sibayan, E. B. and Satter, M. A. 2002. On- farm strategies for reducing water input in irrigated rice, case studies in the pilippines. Agric. Water Manag. 56,93-112.

Tripathi, R. P., Kushava, H. S. and Mishra, R. K. 1986. Irrigation requirements of rice under shallow water table conditions. Agric. Water Manag. 12,127-136.

Tuong, T. P. 1999. Methods for increasing rice water use efficiency. In: Rice water use efficiency workshop proceedings. CRC for Sustainable Rice Production. Lecton.

Tuong, T. P. and Bouman, B. A. M. 2003. Rice Production in Water Scarce Environments. In: Kijne, J. W., Barker, R. and Molden, D. (Eds.). Water Productivity in Agriculture, Limits and Opportunities for Improvement. International Water Management Institute. Colombo. Sri Lanka.

Turner, F. T. and McCauley, G. N. 1983. Rice. In: Teare, I. D. and Peet, M. M. (Eds.). Crop Water Relations. John Willey & Sons. N. Y.

AERI JAER *Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.8 /No.1 /Spring 2007/ P: 61-74*

Improving Irrigation Water Productivity for Rice Varieties at Esfahan Region, Iran

H. R. Salemi and A. R. Tavakoli*

* Academic Member, Dryland Agriculture Research Institute, Maraghe, Iran. E-mail: art.tavakoli@gmail.com

In order to improve irrigation water productivity (WP) at rice production, a field experiment was conducted at Shahid Fozveh research station (Esfahan region) during 2001-2003. Experiment was arranged in a split plot design (RCBD) with three replications. The treatments were: three levels of irrigation managements including I_1: permanent flooding under 3.5cm water during growth period, I_2: permanet flooding under 2.2cm water during growth period and I_3: 0-1.5cm alternative wetting and drying (AWD)) considered as main plots and eight advanced rice cultivars consisting Geredeh mahali, Zayandeh-rud, Sazandegi, Hasani, 67-97, 67-113, 67-47 and 67-72 as sub plots. The treatments were compared based on yield grain and water productivity for irrigation management and rice varieties. Results showed that maximum WP obtained from AWD irrigation management and Zayandeh-rud rice variety, its amount was 9.1 $kg.mm^{-1}$. At this treatment with 33.4 percent reduction of water use, only 11.1 percent decreased paddy grain yield. Results showed that it is not necessary to maintain the rice field submerged in whole grouwth period.

Key words: Grain, Rice, Water Productivity, Water Use, Yield