

## اثر مدیریت آبیاری و تراکم کشت بر عملکرد و بهره‌وری آب برنج رقم هاشمی

حسن ابراهیمی‌راد، حسین بابازاده<sup>۱\*</sup>، ابراهیم امیری و حسین صدقی

گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

[hassan.ebrahimirad@gmail.com](mailto:hassan.ebrahimirad@gmail.com)

گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

[h\\_babazadeh@srbiau.ac.ir](mailto:h_babazadeh@srbiau.ac.ir)

گروه مهندسی آب، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران.

[eamiri57@yahoo.com](mailto:eamiri57@yahoo.com)

گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

[hsedgh@yahoo.com](mailto:hsedgh@yahoo.com)

### چکیده

کمبود منابع آب و کم بودن راندمان آبیاری در مزارع برنج، استفاده بهینه و افزایش بهره‌وری از منابع موجود را ضروری می‌سازد. این پژوهش به منظور بررسی اثر متقابل مدیریت آبیاری و تراکم کشت بر عملکرد و بهره‌وری آب برنج رقم هاشمی، در منطقه کوشال- لاهیجان، واقع در شمال ایران، به اجرا در آمد. طرح به صورت کرت‌های خرد شده، بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، طی فصل‌های زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ انجام شد. تیمارهای آبیاری در پنج سطح (غرقاب)  $I_1$ ، اشباع  $I_2$ ، آبیاری با دور هشت روز تا گلدهی  $I_3$ ، آبیاری با دور هشت روز بعد از گلدهی  $I_4$ ، آبیاری با دور هشت روز در کل دوره رشد  $I_5$  و تراکم در سه سطح  $D_1=15 \times 15$ ،  $D_2=20 \times 20$  و  $D_3=25 \times 25$  سانتی‌متر) بودند. براساس نتایج، تأثیر تنش خشکی و تراکم بوته بر صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود ( $P < 0.01$ ). از نظر عملکرد محصول، تیمار  $I_1$  با ۴۱۵۱ کیلوگرم در هکتار بیشترین میزان را داشت و تیمارهای  $I_2$ ،  $I_3$ ،  $I_4$  و  $I_5$  با مقادیر ۴۰۵۴، ۳۹۴۹، ۳۲۴۴ و ۲۷۸۷ کیلوگرم در هکتار در رده‌های بعدی قرار داشتند. بر پایه عملکرد زیست توده، تیمارهای  $I_3$  و  $I_5$  به ترتیب بیشترین و کمترین بهره‌وری آب (آبیاری + بارش) را داشتند که برابر ۱/۹۰ و ۱/۴۵ کیلوگرم به ازای مصرف یک مترمکعب آب بود. آبیاری با دور هشت روز تا گلدهی تنها با ۴٪ کاهش عملکرد نسبت به روش معمول غرقاب باعث کمتر شدن مصرف آب و صرفه‌جویی معادل ۱۶٪ در آب مصرفی شد. در بررسی تراکم کشت‌های مختلف، در تراکم زیاد ( $D_1$ ) اجزای عملکرد در بوته کاهش یافت و با افزایش فاصله یا کاهش تراکم ( $D_3$ ) عملکرد در واحد سطح و کارایی کاهش یافت. بنابراین، تراکم  $D_2$  بهینه و مطلوب بود.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، کارایی مصرف آب، دور آبیاری، رقم هاشمی.

۱ - آدرس نویسنده مسئول: گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

\* - دریافت: فروردین ۱۳۹۶ و پذیرش: شهریور ۱۳۹۶

## مقدمه

گیاه برنج، با سطح زیر کشت حدود ۵۵۰ هزار هکتار، از نظر اهمیت دومین غله مهم خوراکی بعد از گندم در ایران می‌باشد. پیش‌بینی می‌شود نیاز سالانه برنج در ایران در چند سال آینده به چهار میلیون تن برسد (ویلز و چاوز، ۲۰۱۲). آب مهمترین عامل برای تولید پایدار در مناطق برنج‌خیز است. تقریباً ۷۵٪ برنج جهان از شالیزارهای فاریاب تولید می‌شود (کارملیتا و همکاران، ۲۰۱۱). برنج بزرگترین مصرف کننده آب در بین همه محصولات کشاورزی است (بومن، ۲۰۰۷؛ بومن و تونگ، ۲۰۰۱) و رشد آن به طور قابل توجهی تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی و متعاقب آن کمبود آب قرار دارد (پن و همکاران، ۲۰۱۷). این در حالیست که رشد بی‌سابقه تقاضا برای مصرف آب در بخش‌های صنعتی، شرب و کاهش میزان آب قابل استفاده در بخش کشاورزی به علت ایجاد سد در سر شاخه‌های رودخانه سفیدرود (که تقریباً ۷۳٪ از شالیزارهای گیلان را تحت آبیاری قرار می‌دهد)، موجب گردیده که استفاده از آب در تولید برنج در استان گیلان کاهش یافته و این امر تولید برنج را تهدید کند (امیری، ۱۳۸۵)؛ بنابراین، لازم است راه‌های صرفه‌جویی و افزایش بهره‌وری آب برای تولید برنج مورد ارزیابی و استفاده قرار گیرد. آبیاری غرقاب دائم در شالیزار با راندمان آبیاری بسیار کم باعث مصرف بیش از نیاز واقعی آب شده است. برای کاهش مصرف آب در آبیاری برنج، روش‌های آبیاری مختلفی به منظور کاهش آب ورودی به شالیزار وجود دارد که از آن جمله می‌توان به مدیریت‌های آبیاری غیر غرقاب در دوره‌هایی از رشد برنج اشاره نمود (بومن و تونگ، ۲۰۰۱).

امیری (۱۳۸۵) با بررسی مدیریت آبیاری برنج در استان گیلان بر روی رقم هاشمی، مقدار بهره‌وری

آب بر اساس میزان آبیاری ( $WP_i$ ) را در محدوده ۰/۲۹-۰/۹۲ کیلوگرم دانه بر متر مکعب آبیاری محاسبه نمود. بومن و تانگ (۲۰۰۱) مقدار  $WP_{I+R}$  برای برنج را ۰/۲-۱/۱ کیلوگرم دانه به ازای هر متر مکعب آب ورودی (مجموع آبیاری و بارندگی) محاسبه کردند. تنش خشکی ناشی از آبیاری غیر غرقابی به رغم کاهش میزان آب مصرفی، موجب مختل کردن انتقال املاح و مواد غذایی به گیاه برنج می‌شود. در این شرایط، گیاه به منظور ادامه جذب آب از طریق تجمع ترکیبات اسمزی از جمله پرولین و کربوهیدرات‌های محلول، پتانسیل اسمزی خود را کاهش می‌دهد (ترحمی و همکاران، ۲۰۱۰). غلظت زیاد مواد محلول باعث سمیت سلول شده و از این طریق بر عملکرد بسیاری از آنزیم‌های درگیر در سیستم فتوسنتزی مؤثر واقع می‌شود. کاهش وزن خشک به دلیل کاهش رشد گیاهی، بسته شدن روزنه‌ها و متعاقب آن کاهش فتوسنتز و پیری و ریزش برگ‌ها می‌باشد (گیسل و همکاران، ۲۰۰۷).

رودریک و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی نتیجه گرفتند که روش کم آبیاری تناوب خشکی و رطوبت در حدود ۳۸٪ مصرف آب آبیاری شالیزار را بدون کاهش عملکرد و سود کشاورزان کاهش داده است. همچنین در آزمایشی روی برنج مشاهده شد که با افزایش تراکم بوته، طول خوشه، تعداد دانه در خوشه کاهش و تعداد پنجه در مترمربع و ارتفاع افزایش یافتند. در تراکم ۲۵ بوته در متر مربع، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت به ترتیب با میانگین‌های ۳۴۰۰، ۸۰۰۰ کیلوگرم در هکتار و ۴۲/۴ درصد، حداکثر مقدار را داشتند (بزرگی و همکاران، ۲۰۱۱).

اصولاً زارعین بر این باور هستند که با افزایش تراکم می‌توان عملکرد را افزایش داد؛ اما باید توجه داشت که در تراکم‌های بیشتر از حد مطلوب، کاهش وزن بوته‌ها به حدی است که افزایش عملکرد ناشی از

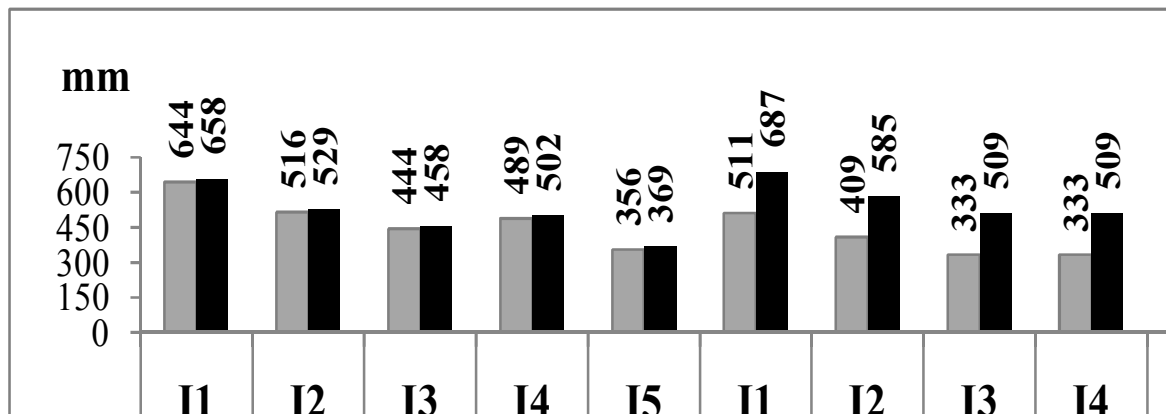
## مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در گیاه برنج (رقم هاشمی) طی فصل‌های زراعی ۱۳۹۴ و ۱۳۹۳ در منطقه کوشال- لاهیجان واقع در شمال ایران انجام شد. ارتفاع محل از سطح دریا ۳- متر می‌باشد و در  $3' 14'' 37^{\circ}$  عرض شمالی و  $1' 14'' 50^{\circ}$  طول شرقی قرار دارد. تیمارهای آبیاری در پنج سطح شامل غرقاب  $I_1=$ ، اشباع  $I_2=$ ، آبیاری با دور هشت روز بعد تا گلدهی  $I_3=$ ، آبیاری با دور هشت روز بعد از گلدهی  $I_4=$ ، آبیاری با دور هشت روز در کل دوره رشد  $I_5=$  و تراکم کشت در سه سطح  $D_1=15 \times 15$ ،  $D_2=20 \times 20$ ،  $D_3=25 \times 25$  سانتی‌متر بود. هر کرت آزمایشی به طول  $9/2$  متر و عرض سه متر در نظر گرفته شد. پس از انتقال نشاها به زمین اصلی، کرت‌ها به مدت ۱۰ روز تمام غرقاب دائم نگه داشته شدند تا نشاها استقرار یابند. پس از آن، مدیریت آبیاری در کرت‌ها بر مبنای برنامه اعمال شد. حجم آب آبیاری و آب آبیاری + بارشورودی به هر کرت توسط کتور حجمی اندازه‌گیری شد که در شکل ۱ نشان داده شده است. تیمار  $I_1$  غالباً به صورت غرقاب و تیمار  $I_2$  غالباً به صورت اشباع بودند. تیمار  $I_3$  تا قبل از گلدهی به صورت هشت روز یکبار و بعد از آن به صورت غرقاب آبیاری شد. تیمار  $I_4$  تا قبل از گلدهی به صورت دو تا سه روز در میان آبیاری و بعد از آن به صورت هشت روز یکبار آبیاری شد. تیمار  $I_5$  کلاً به صورت هشت روز یکبار آبیاری شد. قابل ذکر است که مدیریت آبیاری با تناوب هشت روز (امیری و رضائی، ۱۳۹۱) براساس دوره تناوب متناسب با رشد گیاه برنج، با بهره‌مندی از مدیریت بهینه آب در شرایط تنش خشکی و در راستای مقابله با خسارت ناشی از تنش آبی بر عملکرد برنج هاشمی اجرا شد.

افزایش تعداد بوته در واحد سطح خنثی می‌شود (اصغر و همکاران، ۲۰۰۱). برخی از منابع گزارش کردند که تراکم‌های بالای کشت برنج باعث کاهش عملکرد در گیاه و اجزای عملکرد می‌شود (چمارا و همکاران، ۲۰۱۶). بعضی دیگر افزایش عملکرد در واحد سطح در اثر افزایش تراکم در واحد سطح را بیان نمودند (کلرگت و همکاران، ۲۰۱۶). همچنین تراکم‌های بالا برای از بین بردن علف هرز و افزایش عملکرد در برنج توصیه شده است (چوهم و جانسون، ۲۰۱۱). پژوهشگران دیگر نیز از کاهش عملکرد و زیست‌توده در سطح در اثر افزایش تراکم خبر دادند (آوان و همکاران، ۲۰۱۴).

به منظور تعیین اثر تراکم کاشت بر بهره‌وری آب محصول برنج آزمایشی در قالب طرح کرت‌های خرد شده با سه فاصله بوته به عنوان عامل فرعی ( $20 \times 20$ ،  $15 \times 15$  و  $10 \times 10$  سانتی‌متر) و چهار رژیم مختلف آبیاری (غرقاب دائم به عنوان شاهد و ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد تبخیر از تشت) به عنوان عامل اصلی انجام شد که بهترین عملکرد در آبیاری ۷۵٪ تبخیر از تشت و مدیریت تراکم کاشت ( $20 \times 20$  سانتی‌متر) گزارش گردید (امیری و همکاران، ۲۰۱۱).

تاکنون اکثر تحقیق‌های انجام یافته در مورد شیوه‌های مدیریت آبیاری در ایران بر پایه دور ثابت آبیاری از ابتدا تا انتهای فصل کشت و یا تأثیر قطع آب در مراحل مختلف رشد بوده است و کمتر تحقیقی در مورد شیوه مدیریت آبیاری با توجه به تراکم کاشت صورت پذیرفته است. این طرح سعی دارد با ارائه راه حل ساده و قابل اجرای مصرف آب در کشت برنج راکاهش و توان تولید آن را افزایش دهد.



شکل ۱- میزان آب آبیاری و آب آبیاری + بارش طی دو سال آزمایش

ماه انجام گرفت. بهره‌وری آب آبیاری و آبیاری + بارش مبتنی بر عملکرد و زیست توده نیز در فواصل زمانی معین با استفاده از روابط ۱ الی ۴ تعیین شدند (تانگ و بومان، ۱۹۹۶؛ رایت و همکاران، ۲۰۰۳).

پس از رسیدگی و برداشت برنج، خوشه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه در داخل آون برای خشک شدن قرار گرفتند. عملکرد شلتوک و میزان زیست‌توده نیز در رطوبت ۱۴ درصد با برداشت ۵ متر مربع از هر کرت و پس از حذف حاشیه، اندازه‌گیری و براساس فرمول‌های آماری طرح بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS و Mstac محاسبه گردید.

براساس (جدول ۱) خاک محل آزمایش دارای ۴۷ درصد شن، ۳۴/۵ درصد رس، ۱۸/۵ درصد سیلت بوده و بافت آن لوم رسی شنی می‌باشد. همچنین (جدول ۲) اطلاعات زراعی و (جدول ۳) ویژگی‌های هواشناسی محل انجام طرح را نشان می‌دهند. پس از انتقال نشاها به زمین اصلی، کرت‌ها به مدت ۲۰ روز تمام غرقاب دائم نگه داشته می‌شوند تا نشاها استقرار یابند. کود اوره و پتاس و فسفات هر کدام به میزان ۶۰ کیلوگرم در هکتار به صورت پایه استفاده شد. به مقدار ۶۰ کیلوگرم کود اوره به صورت سرک یک ماه بعد از مرحله پایه مصرف شد. بذریابی در محیط خزانه در اوائل اردیبهشت ماه و نشاکاری تیمارها در اوائل خرداد

- (۱) 
$$\text{عملکرد شلتوک} = \frac{\text{عملکرد شلتوک}}{\text{مصرف آب}}$$
 بهره‌وری آب آبیاری مبتنی بر عملکرد (کیلوگرم بر متر مکعب در هکتار)
- (۲) 
$$\text{عملکرد شلتوک} = \frac{\text{عملکرد شلتوک}}{\text{مصرف آب + بارندگی}}$$
 بهره‌وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر عملکرد (کیلوگرم بر متر مکعب در هکتار)
- (۳) 
$$\text{زیست توده} = \frac{\text{زیست توده}}{\text{مصرف آب}}$$
 بهره‌وری آب آبیاری مبتنی بر زیست‌توده (کیلوگرم بر متر مکعب در هکتار)
- (۴) 
$$\text{زیست توده} = \frac{\text{زیست توده}}{\text{مصرف آب + بارندگی}}$$
 بهره‌وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر زیست‌توده (کیلوگرم بر متر مکعب در هکتار)

جدول ۱- ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Depth (cm)	EC (dS.m <sup>-1</sup> )	PH	O.C (%)	CEC (meq/100g)	N (%)	K (mg.kg <sup>-1</sup> )	P (mg.kg <sup>-1</sup> )
۱۵	۱/۹۹۳	۷/۱۹	۲/۳۰	۳۵	۰/۱۰۲	۲۲۵	۴/۳۸

جدول ۲- اطلاعات زراعی در دو سال مختلف اجرای آزمایش

سال زراعی	تاریخ شخم زمین	تاریخ کرت بندی	تاریخ کود پاشی	تاریخ نشاء کاری	تاریخ کود سرک	تاریخ برداشت	کل طول دوره رشد- روز
۱۳۹۳	۹۳/۳/۶	۹۳/۳/۹	۹۳/۳/۱۴	۹۳/۳/۱۲	۹۳/۴/۱۵	۹۳/۶/۱۴	۹۵
۱۳۹۴	۹۴/۳/۶	۹۴/۳/۱۰	۹۴/۳/۱۴	۹۴/۳/۱۳	۹۴/۴/۱۵	۹۴/۶/۱۹	۹۹

جدول ۳- اطلاعات مربوط به هواشناسی

سال	ماه	حداقل دما	حداکثر دما	میانگین رطوبت نسبی	سرعت باد	ساعات آفتابی	تبخیر	بارندگی
۱۳۹۳	فروردین	۶/۵۵	۱۷/۷۹	۷۷/۴۵	۲/۱۸	۱۶۴/۳۰	۶۶/۴۹	۱۱۱/۹۰
	اردیبهشت	۱۴/۲۸	۲۵/۱۲	۷۱/۹۴	۱/۸۴	۲۲۹/۲۰	۱۰۶/۱۲	۱۷/۳۰
	خرداد	۱۸/۶۹	۲۸/۳۹	۷۱/۸۴	۲/۱۲	۲۵۲/۴۰	۱۲۶/۹۸	۱۲/۳۰
	تیر	۲۱/۸۱	۳۰/۶۱	۷۰/۱۱	۲/۱۹	۲۵۵/۰۰	۱۳۳/۲۳	۲۶/۲۰
	مرداد	۲۰/۹۵	۳۲/۹۲	۶۱/۰۸	۲/۲۱	۳۰۸/۳۰	۱۳۶/۳۴	۲/۵۰
۱۳۹۴	شهریور	۲۱/۲۵	۳۰/۵۴	۷۳/۹۴	۱/۶۰	۱۸۸/۱۰	۹۴/۸۱	۳۴/۳۰
	فروردین	۸/۳۰	۱۶/۴۱	۷۹/۹۰	۲/۳۷	۱۳۱/۳۰	۶۳/۱۸	۹۳/۷۰
	اردیبهشت	۱۲/۲۲	۲۲/۰۰	۷۵/۵۵	۲/۳۹	۱۹۱/۹۰	۹۲/۸۸	۳۰/۳۰
	خرداد	۱۸/۴۵	۲۹/۳۵	۶۹/۳۱	۲/۲۶	۲۷۳/۲۰	۱۳۲/۵۴	۴/۷۰
	تیر	۲۱/۶۶	۳۱/۱۵	۷۰/۸۹	۱/۹۲	۲۶۸/۴۰	۱۳۷/۵۷	۱۱۱/۵۰
مجموع و متوسط در دوره رشد*	مرداد	۲۱/۷۲	۳۲/۶۳	۷۱/۶۸	۱/۶۰	۲۸۲/۶۰	۱۳۵/۵۰	۴/۶۰
	شهریور	۱۹/۶۷	۲۸/۰۱	۷۹/۱۱	۱/۴۱	۱۵۰/۹۰	۸۳/۱۸	۹۲/۸۰
	۱۳۹۳	۲۰/۴۹	۳۰/۶۴	۶۷/۶۸	۲/۱۸	۸۱۵/۷۰	۳۹۶/۵۵	۴۱/۰۰
	۱۳۹۴	۲۰/۶۱	۳۱/۰۴	۷۰/۶۲	۱/۹۳	۸۲۴/۲۰	۴۰۵/۶۱	۱۲۰/۸۰
	۹۴-۹۳	۲۰/۵۵	۳۰/۸۴	۶۹/۱۵	۲/۰۵	۸۱۹/۹۵	۴۰۱/۰۸	۸۰/۹۰
مجموع و متوسط در فصل کشت	۱۳۹۳	۱۷/۲۶	۲۷/۵۶	۷۱/۰۶	۲/۰۲	۱۳۹۷/۳۰	۶۶۳/۹۷	۲۰۴/۵۰
	۱۳۹۴	۱۷/۰۰	۲۶/۵۹	۷۴/۴۱	۱/۹۹	۱۲۹۸/۳۰	۶۴۴/۸۵	۳۳۷/۶۰
	۹۴-۹۳	۱۷/۱۳	۲۷/۰۸	۷۲/۷۳	۲/۰۱	۱۳۴۷/۸۰	۶۵۴/۴۱	۲۷۱/۰۵

واحد سرعت باد متر بر ثانیه، درجه حرارت سانتی گراد، بارندگی و تبخیر میلیمتر در ماه، رطوبت نسبی بر حسب درصد می باشد.  
\*برای سرعت باد، دما و رطوبت متوسط و برای بقیه عوامل مجموع سه ماه خرداد، تیر و مرداد ارائه شده است.

## نتایج و بحث

پس از انجام آزمون یکنواختی اشتباه آزمایشی (آزمون بارتلت) و اطمینان از یکنواخت بودن اشتباهات آزمایشی در سال های مختلف تجزیه مرکب داده ها انجام و نتایج در (جدول ۴) ارائه شده است. اثر سال بر صفت عملکرد، زیست توده، بهره وری آب آبیاری مبتنی بر

عملکرد و بهره وری آب آبیاری مبتنی بر زیست توده معنی دار نشده است که نشان دهنده یکنواخت ماندن این صفات در طی دو سال انجام طرح است. اثر سال بر بهره وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر عملکرد، بهره وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر زیست توده معنی دار شده است که می توان آنرا به عواملی همچون بارش

انتهای فصل و حذف آبیاری آخر در سال دوم که منجر به عدم یکنواختی آنها طی سال‌های آزمایش شده است، نسبت داد.

نتایج تجزیه واریانس مرکب (جدول ۴) در دو سال آزمایش نشان داد که اثرات تیمار آبیاری بر عملکرد، زیست توده، بهره‌وری آب آبیاری مبتنی بر عملکرد، بهره‌وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر زیست توده در سطح احتمال یک درصد ( $P < 0/01$ ) و بر بهره‌وری آب آبیاری مبتنی بر زیست توده، بهره‌وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر زیست توده در سطح احتمال یک درصد ( $P < 0/05$ ) معنی‌دار بود. آب عامل اصلی تشکیل دهنده بافت، معرف در واکنش‌های شیمیایی، حلال، وسیله انتقال متابولیتها و مواد معدنی داخل گیاه و ضروری برای بزرگ شدن سلول از طریق افزایش فشار آماس است. نقصان میزان عملکرد بیولوژیک در اثر افزایش دور آبیاری را می‌توان ناشی از کاهش توانایی گیاه در جذب عناصر غذایی و سنتز و انتقال مواد پرورده در اثر کمبود آب دانست. هر عاملی که عملکرد را افزایش دهد راندمان مصرف آب را نیز افزایش می‌دهد. هرگونه تنش رطوبتی باعث افزایش مقاومت روزنه‌ای شده و کارایی مصرف آب را افزایش می‌دهد. در چنین مواقعی تلفات آب در اثر تعرق بیشتر از فتوسنتز کاهش یافته که نتیجه آن بالا رفتن کارایی مصرف آب خواهد بود؛ که با نتایج امیری و همکاران، (۲۰۱۱) مطابقت دارد. اثر تیمار تراکم بر عملکرد، زیست توده، بهره‌وری آب آبیاری مبتنی بر عملکرد، بهره‌وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر زیست توده، بهره‌وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر عملکرد، بهره‌وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر زیست توده در سطح احتمال یک درصد ( $P < 0/01$ ) معنی‌دار بود. فاصله بیشتر بین بوته‌ها باعث می‌شود هر گیاه به دلیل داشتن فضای بیشتر در اطراف خود نور بیشتری

دریافت نموده و فعالیت فتوسنتزی خود را بهتر انجام دهد و از گیاهانی که به هم نزدیک‌تر هستند بهتر رشد کند (بلوچ و همکاران، ۲۰۰۲). همچنین اثر متقابل تیمارهای آبیاری و تراکم بر صفات مورد مطالعه معنی‌دار شد ( $P < 0/01$ ).

با توجه به نتایج (جدول ۵) مقایسه میانگین مرکب صفات اندازه‌گیری شده در تیمارهای مختلف طی دو سال آزمایش بالاترین میزان عملکرد در تیمار آبیاری مربوط به حالت غرقاب به میزان ۴۱۵۱ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن مربوط به شرایط آبیاری با دور هشت روز در کل دوره رشد به میزان ۲۷۸۷ کیلوگرم در هکتار بود. بالاترین میزان زیست توده در تیمار آبیاری مربوط به حالت غرقاب به میزان ۸۱۷۵ کیلوگرم و کمترین آن مربوط به شرایط آبیاری با دور هشت روز در کل دوره رشد به میزان ۵۵۶۱ کیلوگرم بود. بالاترین میزان بهره‌وری آب آبیاری مبتنی بر عملکرد، بهره‌وری آب آبیاری مبتنی بر زیست توده، بهره‌وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر عملکرد، بهره‌وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر زیست توده در تیمار آبیاری مربوط به حالت آبیاری با دور هشت روز تا گلدهی به ترتیب به میزان ۱/۳۱، ۲/۶۰، ۰/۹۶، ۱/۹۰ کیلوگرم بر مترمکعب و همچنین کمترین میزان بهره‌وری آب آبیاری مبتنی بر عملکرد، بهره‌وری آب آبیاری مبتنی بر زیست توده، بهره‌وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر عملکرد، بهره‌وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر زیست توده در تیمار آبیاری مربوط به حالت آبیاری با دور هشت روز در کل دوره رشد به ترتیب به میزان ۱/۰۲، ۲/۰۴، ۰/۷۳، ۱/۴۵ کیلوگرم بر متر مکعب بود. برنج در مرحله زایشی به کمبود آب خیلی حساس است که علت آن تشکیل گل-های عقیم است. کاهش رطوبت در مرحله تشکیل خوشه و گل‌دهی باعث می‌گردد تا عمل تلقیح به خوبی انجام نشده و عملکرد کاهش یابد؛ زیرا در رطوبت کم،

علف‌های هرز کمک نماید، زیرا سایه انداز گیاهی زودتر تشکیل شده و با ایجاد سایه از رشد علف‌های هرز جلوگیری می‌نماید.

براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس ساده (جدول ۶) اثر سال بر صفات عملکرد و زیست توده معنی‌دار نشده است که نشان دهنده یکنواخت ماندن این صفات است. اثر سال بر بهره‌وری آب آبیاری مبتنی بر عملکرد، بهره‌وری آب آبیاری مبتنی بر زیست توده، بهره‌وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر عملکرد، بهره‌وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر زیست توده معنی‌دار شده است که می‌توان آنرا به یکنواخت نبودن آنها طی سال‌های آزمایش نسبت داد.

اثر تیمار آبیاری بر بر صفات عملکرد، زیست توده و اثر تیمار تراکم بر عملکرد، زیست توده، بهره‌وری آب آبیاری مبتنی بر زیست توده، بهره‌وری آب آبیاری مبتنی بر عملکرد، بهره‌وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر زیست توده، بهره‌وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر عملکرد، بهره‌وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر زیست توده معنی‌دار بود ( $P < 0.01$ )؛ بنابراین افزایش بهره‌وری آب هم با بهبود عملیات زراعی و هم با بهبود مدیریت صحیح آبیاری قابل حصول است.

دانه‌های گرده نمی‌توانند به تخمدان نفوذ کرده و عمل تلقیح را انجام دهند که منجر به تولید دانه‌های پوک می‌شوند. بومان (۲۰۰۷) در آزمایشی به این نتیجه دست یافتند که با اعمال مدیریت صحیح آب می‌توان، اولاً مانع کاهش عملکرد شد و ثانیاً در مصرف آب صرفه‌جویی نموده و در نتیجه بهره‌وری آب را افزایش داد.

با توجه به نتایج (جدول ۵) مقایسه میانگین مرکب صفات اندازه‌گیری شده در تیمارهای مختلف طی دو سال آزمایش با کاهش تراکم میزان عملکرد، زیست توده، بهره‌وری آب آبیاری مبتنی بر عملکرد، بهره‌وری آب آبیاری مبتنی بر زیست توده، بهره‌وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر عملکرد، بهره‌وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر زیست توده کاهش یافت. افزایش رقابت بین بوته‌ای در استفاده از شرایط محیطی و اثر سایه‌اندازی بر قسمت‌های تحتانی گیاه در تراکم‌های بالا موجب بالا رفتن تنفس، نگهداری و انتقال کم‌تر مواد فتوسنتزی به دانه‌ها شده و از سوی دیگر به دلیل تولید پنجه کم‌تر در بوته باعث کاهش عملکرد دانه در بوته می‌شود؛ اما در هر صورت با افزایش تراکم و بالا رفتن تعداد بوته در واحد سطح عملکرد نیز در واحد سطح افزایش می‌یابد. به‌علاوه افزایش تراکم در واحد سطح می‌تواند به کنترل

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین مرکب صفات اندازه‌گیری شده در تیمارهای مختلف طی دو سال آزمایش

WUE(B) <sub>I+R</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	WUE(Y) <sub>I+R</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	WUE(B) <sub>I</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	WUE(Y) <sub>I</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	زیست توده (kg/ha)	عملکرد (kg/ha)	عوامل آزمایش
۱/۸۳a	۰/۹۳a	۲/۴۷a	۱/۲۵a	۸۱۷۵a	۴۱۵۲a	I <sub>1</sub>
۱/۸۶a	۰/۹۵a	۲/۵۳a	۱/۲۸a	۸۰۰۴ab	۴۰۵۴ab	I <sub>2</sub>
۱/۹۰a	۰/۹۶a	۲/۶۰a	۱/۳۱a	۷۸۲۴b	۳۹۵۰b	I <sub>3</sub>
۱/۵۵b	۰/۷۸b	۲/۱۳b	۱/۰۷b	۶۴۵۲c	۳۲۴۵c	I <sub>4</sub>
۱/۴۵b	۰/۷۳b	۲/۰۴b	۱/۰۲b	۵۵۶۱d	۲۷۸۷d	I <sub>5</sub>
۱/۹۵a	۰/۹۹a	۲/۶۸a	۱/۳۶a	۸۱۷۹a	۴۱۳۹a	D <sub>1</sub>
۱/۷۷b	۰/۸۹b	۲/۴۳b	۱/۲۳b	۷۴۳۰b	۳۷۵۲b	D <sub>2</sub>
۱/۴۳c	۰/۷۳c	۱/۹۶c	۰/۹۹c	۶۰۰۰c	۳۰۲۲c	D <sub>3</sub>

میانگین‌های با حروف مشترک اختلاف معنی داری در سطح ۱٪ ندارند.

WUE(Y)<sub>I</sub>: بهره‌وری آب آبیاری مبتنی بر عملکرد، WUE(B)<sub>I</sub>: بهره‌وری آب آبیاری مبتنی بر زیست‌توده، WUE(Y)<sub>I+R</sub>: بهره‌وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر عملکرد، WUE(B)<sub>I+R</sub>: بهره‌وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر زیست‌توده

به طور کلی نتایج مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در تیمارهای مختلف طی دو سال آزمایش (جدول ۷) نشان داد از یک سو عملکرد و زیست توده تیمار آبیاری با دور هشت روز تا گلدهی  $I_3=$  با عملکرد و زیست توده در زمان بدون کمبود آب (غرقاب  $I_1=$ ) و (اشباع  $I_2=$ ) همه در یک گروه قرار دارند و اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ به لحاظ آماری ندارند و از سوی دیگر بالاترین میزان بهره‌وری آب آبیاری مبتنی بر عملکرد، بهره‌وری آب آبیاری مبتنی بر زیست توده، بهره‌وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر عملکرد، بهره‌وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر زیست توده را به خود اختصاص داده است.

براساس نتایج گزارش شده در جدول (۷) با کاهش مقدار تراکم عملکرد و زیست توده و بهره‌وری‌های آبیاری و آبیاری + بارش مبتنی بر آنها کاهش یافت. کاهش عملکرد و بیوماس در سطح در اثر افزایش فاصله در پژوهش آوان و همکاران، (۲۰۱۴) گزارش شده است. افزایش میزان عملکرد و زیست توده در سال دوم آزمایش را می‌توان به عوامل جوی از جمله سه برابر شدن میزان بارش در فصل رشد نسبت داد. به دلیل بارش فراوان‌تر در سال دوم از یک سو و تأثیر آن بر افزایش عملکرد میزان بهره‌وری آب آبیاری مبتنی بر عملکرد، بهره‌وری آب آبیاری مبتنی بر زیست توده افزایش یافت؛ و از سوی دیگر چون شدت افزایش عملکرد از شدت افزایش آب مصرفی کمتر می‌باشد بهره‌وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر عملکرد، بهره‌وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر زیست توده کمتر شد که با نتایج (جانفنگ پن و همکاران، ۲۰۱۷) هم سو می‌باشد.

با توجه به (شکل ۲) از یک سو با افزایش تراکم  $D_1$  ضمن بالا بودن هزینه نشاکاری، به دلیل تولید پنجه کم‌تر در بوته باعث کاهش عملکرد دانه در بوته

می‌شود؛ اما در هر صورت با افزایش تراکم و بالا رفتن تعداد بوته در واحد سطح عملکرد نیز در واحد سطح افزایش می‌یابد. از سوی دیگر با افزایش فاصله  $D_3$  میزان بهره‌وری کاهش می‌یابد؛ بنابراین تراکم  $D_2$  بهینه و مطلوب می‌باشد. همچنین با توجه به (شکل ۳) اعمال کاهش رطوبت در دوره رویشی (آبیاری با دور هشت روز تا گلدهی) ضمن حفظ عملکرد و زیست توده در حد مطلوب باعث کاهش مصرف آب می‌شود؛ بنابراین، آبیاری تناوبی در دوره رشد رویشی در خاک مزرعه مورد آزمایش با بافت غالب لوم رسی شنی نه تنها می‌تواند باعث افزایش بهره‌وری مصرف آب شود، بلکه با گسترش سیستم ریشه گیاه باعث جذب بیشتر آب و مواد غذایی و در نتیجه افزایش میزان محصول همسان شرایط غرقاب در واحد سطح شود.

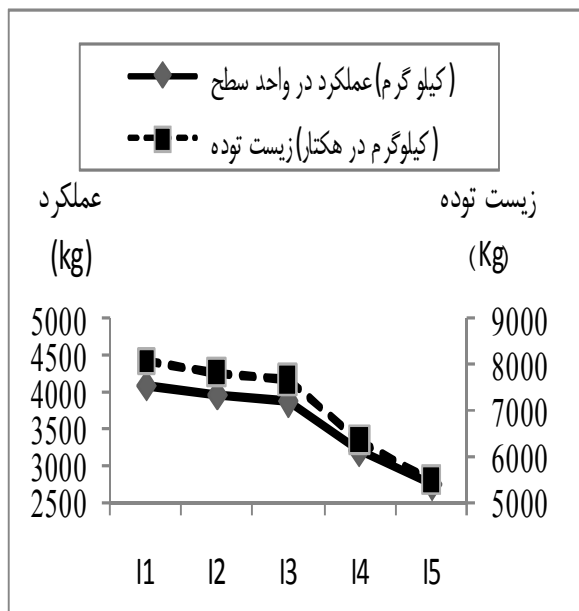
### نتیجه‌گیری

لزوم برنامه‌ریزی دقیق برای استفاده بهینه از منابع آبی موجود برای دستیابی به کشت پایدار ضروری است. با توجه به نتایج این تحقیق آبیاری با دور هشت روز تا گلدهی تنها با چهار درصد کاهش عملکرد نسبت به روش معمول غرقاب باعث کمتر شدن مصرف آب و صرفه جویی معادل ۱۶ درصد در میزان آب مصرفی می‌شود. از نظر زیست توده تیمار  $I_1$  با ۸۱۷۵ کیلوگرم بیشترین میزان زیست توده در طول فصل رویش را داشته و تیمارهای  $I_2$ ،  $I_3$ ،  $I_4$  و  $I_5$  با مقادیر ۸۰۰۴، ۷۸۲۴، ۶۴۵۲ و ۵۵۶۱ کیلوگرم در رده‌های بعدی قرار دارند. تیمارهای  $I_3$  و  $I_5$  به ترتیب دارای بیشترین و کمترین بهره‌وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر عملکرد برابر ۰/۹۶ و ۰/۷۳ کیلوگرم بر مترمکعب آب بودند. تراکم  $D_1=15 \times 15$  در شرایط بدون تنش و تراکم  $D_1=20 \times 20$  در شرایط محدودیت آب، بهترین عملکرد و بهره‌وری آب را نشان داد. در نتیجه انتخاب تراکم مناسب کاشت

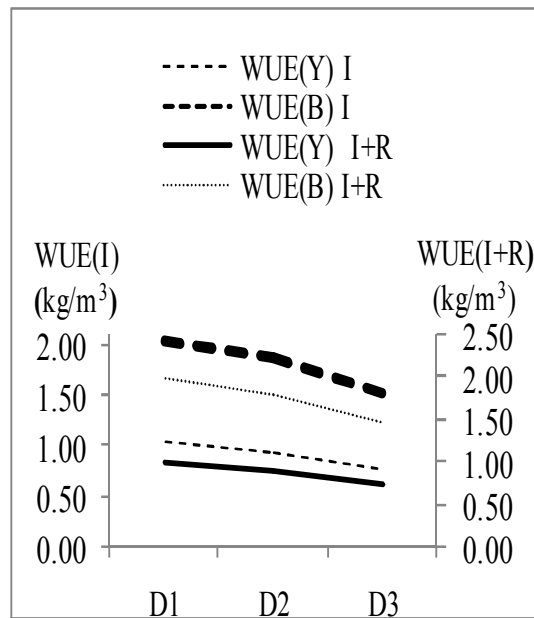


دستیابی به عملکرد اقتصادی پایدار در شرایط محدودیت آب می‌باشد.

بوته در ابعاد ۲۰×۲۰ سانتی‌متر و نیز آبیاری تناوبی با دور هشت روز تا گلدهی راهکار مدیریتی مناسبی برای



شکل ۳- اثر تنش خشکی بر عملکرد و زیست‌توده



شکل ۴- اثر تراکم کاشت بر میزان بهره‌وری آب

جدول ۶- تجزیه واریانس ساده طی دو سال آزمایش

میانگین مربعات													df	منابع تغییر
WUE(B) <sub>I+R</sub>		WUE(Y) <sub>I+R</sub>		WUE(B) <sub>I</sub>		WUE(Y) <sub>I</sub>		زیست توده		عملکرد				
۹۴	۹۳	۹۴	۹۳	۹۴	۹۳	۹۴	۹۳	۹۴	۹۳	۹۴	۹۳			
۱/۰۹۱**	۱/۰۰۹*	۰/۲۸۱*	۰/۲۶۰*	۷/۱۹۵**	۱/۱۵۴*	۱/۸۴۷**	۰/۲۹۴*	۱۳۶۱۷/۲۶ <sup>ns</sup>	۵۴۰۵۷۷/۶۱ <sup>ns</sup>	۳۴۳۴/۱۱ <sup>ns</sup>	۱۴۱۳۴۷/۹۹ <sup>ns</sup>	۲	R	
۰/۳۲۹**	۰/۴۲۵**	۰/۰۹۱**	۰/۱۱۶**	۰/۷۱۱**	۰/۴۵۱**	۰/۱۹۷**	۰/۱۲۲**	۱۱۸۵۰۷۰/۰/۶**	۱۱۷۰۷۹۸۸/۹**	۳۳۰۳۷۵۶/۴**	۳۱۵۵۳۵۵/۱**	۴	I	
۰/۰۷۸	۰/۱۶۴	۰/۰۲۱	۰/۰۴۲	۰/۵۰۸	۰/۱۸۲	۰/۱۳۳	۰/۰۴۷	۲۲۷۱۹۳/۴۰	۳۱۶۷۳۵/۸۳	۵۶۰۶۵/۰۰	۸۱۲۰۸/۶۳	۸	E	
۱/۰۶۰**	۱/۰۲۲**	۰/۲۸۱**	۰/۲۶۸**	۳/۱۷۶**	۱/۰۹۶**	۰/۸۳۱**	۰/۲۸۸**	۲۰۰۷۱۸۹۶/۴**	۱۶۷۵۴۸۴۶/۲**	۵۲۷۵۴۵۹/۵**	۴۳۸۹۹۶۵/۸۲**	۲	D	
۰/۰۰۳**	۰/۰۰۷**	۰/۰۰۱**	۰/۰۰۲**	۰/۰۱۰**	۰/۰۰۸**	۰/۰۰۳**	۰/۰۰۲**	۵۱۳۶۱/۳۴**	۸۶۴۱۹/۰۹**	۱۴۳۰۵/۶۹**	۲۱۵۴۴/۲۵**	۸	I×D	
۰/۰۰۸	۰/۰۲۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	۰/۰۳۱	۰/۰۲۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۶	۱۰۸۳۵۴/۰۳	۳۴۶۶۰۷/۸۱	۲۸۰۱۶/۸۵	۸۹۱۵۴/۴۳	۲۰	E	
۵/۲۶	۸/۱۳	۵/۳۶	۸/۱۹	۶/۰۷	۸/۰۶	۶/۱۰	۸/۱۷	۴/۷۸	۸/۳۳	۴/۵۲	۸/۳۷		CV%	

\*\* و \* به ترتیب معنی دار در سطح ۱٪ و ۵٪/ns: غیر معنی دار.

R: تکرار، Y: سال، I: تیمار آبیاری، D: تیمار تراکم، E: خطا، df: درجه آزادی، CV: ضریب تغییرات، WUE(Y)<sub>I</sub>: بهره‌وری آب آبیاری مبتنی بر عملکرد، WUE(B)<sub>I</sub>: بهره‌وری آب آبیاری مبتنی بر زیست توده، WUE(Y)<sub>I+R</sub>: بهره‌وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر زیست توده

جدول ۷- نتایج مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده در تیمارهای مختلف طی دو سال آزمایش

WUE(B) <sub>I+R</sub> (kg/m <sup>3</sup> )		WUE(Y) <sub>I+R</sub> (kg/m <sup>3</sup> )		WUE(B) <sub>I</sub> (kg/m <sup>3</sup> )		WUE(Y) <sub>I</sub> (kg/m <sup>3</sup> )		زیست توده (kg/ha)		عملکرد (kg/ha)		عوامل آزمایش
۹۴	۹۳	۹۴	۹۳	۹۴	۹۳	۹۴	۹۳	۹۴	۹۳	۹۴	۹۳	
۱/۷۷a	۱/۸۸a	۰/۹۰a	۰/۹۵a	۲/۹۹ab	۱/۹۵a	۱/۵۲a	۰/۹۹a	۸۲۶۰a	۸۰۹۰a	۴۱۹۸a	۴۱۰۷a	I <sub>1</sub>
۱/۸۲a	۱/۹۰a	۰/۹۲a	۰/۹۶a	۳/۰۹a	۱/۹۷a	۱/۵۷a	۱/۰۰a	۸۱۶۰a	۷۸۴۷a	۴۱۳۵a	۳۹۷۳a	I <sub>2</sub>
۱/۸۶a	۱/۹۳a	۰/۹۴a	۰/۹۸a	۳/۲۰a	۲/۰۰a	۱/۶۱a	۱/۰۱a	۷۹۹۸a	۷۶۵۰a	۴۰۳۹a	۳۸۶۱a	I <sub>3</sub>
۱/۵۳b	۱/۵۵b	۰/۷۷b	۰/۷۸b	۲/۶۵bc	۱/۶۱b	۱/۳۳b	۰/۸۱b	۶۵۷۴b	۶۳۲۹b	۳۳۰۷b	۳۱۸۲b	I <sub>4</sub>
۱/۴۳b	۱/۴۷b	۰/۷۱c	۰/۷۴b	۲/۵۶c	۱/۵۲c	۱/۲۸c	۰/۷۷c	۵۶۸۸c	۵۴۳۵c	۲۸۵۲c	۲۷۲۴c	I <sub>5</sub>
۱/۹۲a	۱/۹۸a	۰/۹۷a	۱/۰۰a	۳/۳۱a	۲/۰۵a	۱/۶۷a	۱/۰۴a	۸۳۶۸a	۷۹۹۰a	۴۲۳۸a	۴۰۴۱a	D <sub>1</sub>
۱/۷۴b	۱/۸۰b	۰/۸۷b	۰/۹۱b	۲/۹۹b	۱/۸۶b	۱/۵۱b	۰/۹۴b	۷۵۵۴b	۷۳۰۵b	۳۸۱۷b	۳۶۸۸b	D <sub>2</sub>
۱/۴۰c	۱/۴۷c	۰/۷۰c	۰/۷۴c	۲/۴۰c	۱/۵۲c	۱/۲۱c	۰/۷۶c	۶۰۸۵c	۵۹۱۵c	۳۰۶۶c	۲۹۷۹c	D <sub>3</sub>

WUE(B)<sub>I+R</sub>: بهره‌وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر زیست توده

## فهرست منابع

۱. امیری، ا. ۱۳۸۵. بررسی بیلان آب و عملکرد برنج در مدیریت‌های آبیاری در شالیزار با استفاده از مدل. رساله دکتری. دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران. ۱۸۱ صفحه.
۲. امیری، ا. و م. رضائی. ۱۳۹۱. ارزیابی بیلان و بهره‌وری آب برنج در شرایط آبیاری تناوبی و کود نیتروژن. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۴، جلد ۶. ص ۳۰۶-۳۱۵.
3. Amiri, E., T. Razavipour, A. Farid and M. Bannayan. 2011. Effects of crop density and irrigation management on water productivity of rice production in Northern Iran: Field and modeling approach. *Commun. Soil. Sci. Plan Anal.*, 42(17): 2085-2099.
4. Asghar, A., A. Tanveer, M.A. Choudhry, R. Sohail and M.M. Akram. 2001. Growth and yield response of rice bean (*Vigna umbellata*) to different seeding rates and planting patterns. *Pak.J. Biol. Sci.*, 4(4):460-461.
5. Awan, T.H., Sta. P.C. Cruz and B.S. Chauhan. 2014. Ecological significance of rice (*Oryza sativa* L.) planting density and nitrogen rates in managing the growth and competitive ability of itchgrass (*Rottboellia cochinchinensis*) in direct-seeded rice systems. *J. Pest Sci.*, 88(2): 427-438.
6. Baloch, A.W., A.M. Soomro, M.A. Javed, M. Ahmad, H.R. Bughio and M.S. Bughio. 2002. Optimum plant density for high yield in rice (*Oriza sativa* L.). *Asian J. Plant Sci.*, 1(2): 114-116.
7. Bouman, B.A.M. 2007. A conceptual framework for the improvement of cropwater productivity at different spatial scales. *Agric. Syst.*, 93:43-60.
8. Bouman, B.A.M. and T.P. Tuong. 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated rice. *Agric. Water Manage.*, 49:11-30.
9. Bozorgi, H.R., A. Faraji and R.K. Danesh. 2011. Effect of plant density on yield and yield components of rice. *World Appl.Sci. J.*, 12(11): 2053-2057.
10. Carmelita, M., R.Alberto, R. Wassmann, T. Hirano, A. Miyata, R. Hatano, A. Kumar, A. Padre and M. Amante. 2011. Comparisons of energy balance and evapotranspiration between flooded and aerobic rice fields in the Philippines. *Agric. Water Manage.*, 98: 1417-1430.
11. Chamara, B.S., B. Marambe and B.S.Chauhan. 2017. Management of *Cleome rutidosperma* DC. using high crop density in dry-seeded rice. *Crop Prot.*, 95: 120-128.
12. Chauhan, B.S. and D.E. Johnson. 2011. Ecological studies on *Echinochloa crus-galli* and the implications for weed management in direct-seeded rice. *Crop Prot.* 30:1385-1391.
13. Clerget, B., C. Buenob, A.J. Domingob, H.L. Layaoenb and L. Vialb. 2016. Leaf emergence, tillering, plant growth, and yield in response to plant density in a high-yielding aerobic rice crop. *Field Crops Res.* 199:52-64.
14. Gisele, A., M. Torres, A. Gimenes, V.E. de Rosa and V. Quecini. 2007. Identifying water stress-response mechanisms in citrus by in silico transcriptome analysis. *Genet. Mol. Biol.* 30:888-905.
15. Pan, J., Y. Liu, X. Zhong, R.M. Lampayan, G.R. Singleton, N. Huang, K. Liang, B. Peng and K. Tian. 2017. Grain yield, water productivity and nitrogen use efficiency of rice under different water management and fertilizer-N inputs in South China. *Agric. Water Manage.*, 184:191-200.
16. Roderick, M., G.R. Florencia, G.D.P. Rodriguez, R.M. Lampayan and B.A.M. Bouman. 2011. Impact of the alternate wetting and drying (AWD) water-saving irrigation technique: Evidence from rice producers in the Philippines. *Food Policy*, 36(2): 280-288.

17. Tarahomi, G., M. Lahuti and F. Abasi. 2010. Effects of drought stress on changes in soluble carbohydrates, chlorophyll and potassium in *Salvia lerifol* Benth. *J. Biol. Sci.*, 3:1-7.
18. Tuong, T.P. and B.A.M. Bouman. 2003. Rice production in water-scarce environments. *In: Kijne, J.W., ssR. Barker R. and D. Molden (Eds.), Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*, CABI Publishing, UK, pp. 53-67.
19. Wailes, E.J. and E.C. Chavez. 2012. World Rice Outlook. International Rice Baseline with Deterministic and Stochastic Projections, 2012-2021. *Aaes. Agric. Bus. U. Ark.*, Division of Agriculture Staff, 81 p.
20. Wright, P.R., J.M. Morgan and R.S. Jessop. 1996. Comparative adaptation of canola (*Brassica napus*) and Indian mustard (*B. juncea*) to soil water deficits: Plant water relations and growth. *Field Crops Res.* 49:51-64.