

اثر تراکم کاشت و مدیریت آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج در منطقه کوشال لاهیجان، استان گیلان

حسن ابراهیمی راد^۱، حسین بابازاده^{۲*}، ابراهیم امیری^۳، حسین صدقی^۴

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

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

۳. دانشیار، گروه مهندسی آب، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان

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

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۲/۱۴ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۶/۲۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۷/۱۰)

چکیده

به منظور بررسی اثرات متقابل مدیریت‌های مختلف آبیاری و تراکم‌های مختلف، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار بر روی برنج رقم طارم هاشمی طی فصل‌های زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در منطقه کوشال لاهیجان واقع در شمال ایران انجام شد. تیمارهای آبیاری در پنج سطح غرقاب I_1 ، اشباع I_2 ، آبیاری با دور ۸ روز تا گلدهی I_3 ، آبیاری با دور ۸ روز بعد از گلدهی I_4 ، آبیاری با دور ۸ 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. ارزیابی مقادیر تخمینی و اندازه‌گیری شده عملکرد دانه با استفاده از پارامترهای ضریب تبیین، آزمون t ، ریشه میانگین مربعات خطا و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده، انجام گرفت. نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که تأثیر تیمارهای آبیاری و تراکم بوته بر صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود. اعمال تیمار آبیاری با دور ۸ روز تا گلدهی با تنها $4/88$ درصد کاهش در عملکرد توانست بالاترین میزان کارایی را به خود اختصاص دهد؛ ضمن اینکه $13/6$ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی کرد. بین میزان عملکرد و صفات تعداد کل خوشه، تعداد پنجه همبستگی مثبت ولی با صفت تعداد دانه پر در خوشه همبستگی منفی وجود داشت. بر اساس نتایج به نظر می‌رسد با استفاده از صفات وزن هزار دانه، تعداد کل خوشه و تعداد دانه پر در خوشه می‌توان معادله عملکرد برنج را تحت شرایط تنش خشکی در تراکم‌های مختلف پیش‌بینی نمود. معادله درجه دوم از یک‌سو با کمترین میزان ریشه میانگین مربعات خطا و پایین‌ترین میزان ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده و از سوی دیگر با بیشترین همبستگی بهترین شبیه‌سازی را در واسنجی نشان داد. مقدار خطا در مرحله اعتبارسنجی کاهش یافته لذا تابع تولید مذکور قابل توصیه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اثرات متقابل، تابع تولید، شالیزار، شمال ایران، رقم طارم هاشمی، واسنجی.

مقدمه

آب و هوایی و متعاقب آن کمبود آب قرار دارد (Pan et al., 2017). این در حالی است 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 سرشاخه‌های رودخانه سفیدرود (که تقریباً ۷۳٪ از شالیزارهای گیلان را تحت آبیاری قرار می‌دهد)، موجب گردیده که استفاده از آب در تولید برنج کاهش یافته و این امر تولید برنج را تهدید می‌کند (Amiri, 2006). آبیاری غرقاب دائم در شالیزار با راندمان آبیاری بسیار پایین باعث مصرف بیش از نیاز واقعی آب شده است بنابراین لازم است راه‌های صرفه‌جویی و افزایش بهره‌وری آب برای تولید برنج مورد ارزیابی و استفاده قرار گیرد. یکی از راهکارهای موجود روش آبیاری تناوبی می‌باشد. Rezaei and Nahvi (2007) نیز نشان دادند که آبیاری تناوبی باعث کاهش مصرف آب و بهبود بهره‌وری مصرف آب در برنج می‌شود.

برنج غذای اصلی حدود نیمی از مردم جهان و اغلب مردم کشورهای در حال توسعه است که در سطح حدود $146/5$ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی جهان کشت می‌شود (Gill et al., 2014; Murumkar et al., 2014). ایران کشوری نیمه‌خشک با میانگین بارندگی سالانه برابر 240 میلی‌متر و $0/57$ میلیون هکتار شالیزار می‌باشد. تقریباً آبیاری در کل مناطق شالیزار با استفاده از رژیم آبیاری غرقابی و با نگهداشتن $3-5$ سانتی‌متر آب روی خاک برای فصل رشد انجام می‌شود. دو استان گیلان و مازندران $70-80$ ٪ از برنج کل ایران را تولید می‌کنند (Amiri et al., 2011) که رشد آن به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر تغییرات

(Awan *et al.*, 2014). ضمناً تراکم‌های بالا برای سرکوب نمودن علف هرز و افزایش عملکرد در برنج توصیه شده است (Chauhan and Johnson, 2011).

به‌منظور تعیین اثر تراکم کاشت بر بهره‌وری آب محصول برنج، آزمایشی در قالب طرح کرت‌های خردشده با سه فاصله بوته به‌عنوان عامل فرعی (۲۰×۲۰، ۱۵×۱۵ و ۱۰×۱۰) سانتی‌متر و چهار رژیم مختلف آبیاری (غرقاب دائم به‌عنوان شاهد و ۱۰۰٪، ۷۵٪ و ۵۰٪ تبخیر از تشت) به‌عنوان عامل اصلی انجام شد که بهترین عملکرد در آبیاری ۷۵ درصد تبخیر از تشت و مدیریت تراکم کاشت (۲۰×۲۰) سانتی‌متر گزارش گردید (Amiri *et al.*, 2011).

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 معادله ساده عملکرد، مصرف آب در کشت برنج را کاهش و توان تولید آن را افزایش دهد.

مواد و روش‌ها

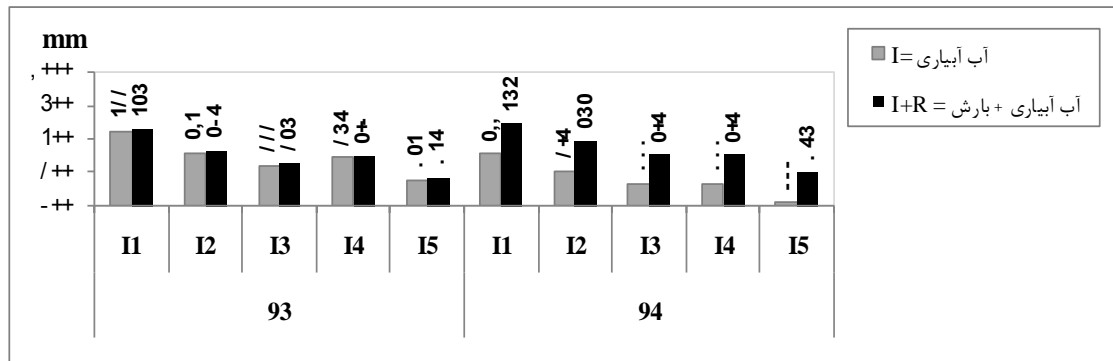
آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار بر روی برنج رقم هاشمی طی فصل‌های زراعی ۱۳۹۴ و ۱۳۹۳ در منطقه کوشال- لاهیجان واقع در شمال ایران انجام شد. ارتفاع محل از سطح دریا ۳- متر می‌باشد و در ۱۴" ۳' ۳۷° عرض شمال ۱۴" ۱' ۵۰° طول شرقی قرار دارد. تیمارهای آبیاری در پنج سطح غرقاب=I₁، اشباع=I₂، آبیاری با دور ۸ روز تا گلدهی=I₃، آبیاری با دور ۸ روز بعد از گلدهی=I₄، آبیاری با دور ۸ روز در کل دوره رشد=I₅ و تراکم در سه سطح ۱۵×۱۵، D₁=۲۰×۲۰، D₂=۲۰×۲۰ و D₃=۲۵×۲۵ سانتی‌متر بودند. هر کرت آزمایشی به طول ۹/۲ متر و عرض ۳ متر در نظر گرفته شد. پس از انتقال نشاها به زمین اصلی، کرت‌ها به مدت ۱۰ روز تمام غرقاب دائم نگه‌داشته شدند تا نشاها استقرار یابند. پس از آن، مدیریت آبیاری در کرت‌ها بر مبنای برنامه اعمال شد. حجم آب آبیاری و آب آبیاری + بارش ورودی به هر کرت توسط کنتور حجمی اندازه‌گیری شد که در شکل (۱) نشان داده شده است.

Amiri (2006) با بررسی مدیریت آبیاری برنج در استان گیلان بر روی رقم هاشمی، مقدار بهره‌وری آب بر اساس میزان آبیاری (WP₁) را در محدوده ۰/۲۹-۰/۹۲ کیلوگرم دانه بر مترمکعب آبیاری محاسبه نمود.

تنش خشکی ناشی از آبیاری غیر غرقابی به‌رغم کاهش میزان آب مصرفی، موجب مختل کردن انتقال املاح و مواد غذایی به گیاه برنج می‌شود. در این شرایط گیاه به‌منظور ادامه جذب آب از طریق تجمع ترکیبات اسمزی از جمله پرولین و کربوهیدرات‌های محلول، پتانسیل اسمزی خود را کاهش می‌دهد (Tarahomi *et al.*, 2010). Rezaei and Nahvi (2007) بیان نمودند که تنش خشکی ناشی از آبیاری غیر غرقابی با جلوگیری از انتقال املاح و مواد غذایی به گیاه و کاهش فتوسنتز باعث کاهش تعداد پنجه، سطح برگ، تجمع ماده خشک، تعداد دانه پر در خوشه، وزن صد دانه و در نهایت عملکرد می‌شود.

Roderick *et al.* (2011) 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. Jayawardena and Abeysekera (2002) در تحقیقات خود بر تأثیر فاصله کاشت در عملکرد برنج هیبرید در شش فاصله کاشت ۲۰×۲۰، ۲۵×۲۰، ۲۵×۲۵، ۳۰×۲۵، ۳۰×۳۰ و ۲۰×۱۵ سانتی‌متر بیان کردند که تراکم گیاهی یکی از مهم‌ترین فاکتورها برای دستیابی به عملکرد بالا می‌باشد، همچنین سه فاصله کاشت ۳۰×۲۵، ۲۵×۲۵ و ۲۵×۲۰ را مناسب دانستند و دستیابی به عملکرد بالا با فاصله کاشت بیشتر را در اجرای سایر مدیریت‌های زراعی همانند کوددهی مناسب، کنترل علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها بیان کردند.

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 (Baloch *et al.*, 2002). همچنین تراکم‌های بالای کشت برنج که باعث کاهش عملکرد در گیاه و اجزای عملکرد می‌شود نیز گزارش شده است (Chamara *et al.*, 2016). برخی محققین افزایش عملکرد در واحد سطح در اثر افزایش تراکم در واحد سطح را بیان نموده‌اند (Clerget *et al.*, 2016). پژوهشگران دیگری نیز کاهش عملکرد و زیست توده در سطح در اثر افزایش تراکم را اعلام کرده‌اند



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

مترمربع از هر کرت و پس از حذف حاشیه، اندازه‌گیری و بر اساس فرمول‌های آماری طرح بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS و Mstac محاسبه گردید. مقایسه میانگین نیز بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام پذیرفت. برای پیش‌بینی عملکرد نسبی از شاخص‌های آماری شامل ضریب تبیین (R^2) استفاده گردید. همچنین بر اساس داده‌های اندازه‌گیری و محاسبه شده، ارزیابی آماری مدل توسط ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSE)، ریشه‌ی میانگین مربعات خطای نرمال شده ($RMSE_n$)، خطای نسبی مدل (ME) و آزمون T انجام گرفت. مقادیر RMSE و $RMSE_n$ هر چه به صفر نزدیکتر باشند، نشان دهنده‌ی این مطلب است که روابط پیش‌بینی را بهتر انجام داده است. چنانچه مقدار نتیجه آزمون T بیشتر از ۰/۰۵ باشد بدان مفهوم است که مقادیر روابط در سطح احتمال ۹۵ درصد شبیه اندازه واقعی پارامتر می‌باشد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (1) \text{ رابطه}$$

$$RMSE_n = 100 \left(\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 / n}{O} \right)^{0.5} \quad (2) \text{ رابطه}$$

$$ME = 100 \left(\frac{P_i - O_i}{O_i} \right) \quad (3) \text{ رابطه}$$

در روابط (۱) و (۲)، O_i و S_i به ترتیب مقادیر معادلات عملکرد نسبی و مشاهده شده، MO میانگین مقادیر مشاهده شده و n تعداد مشاهدات است (Amiri et al., 2009).

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 ۸ 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 ۸ روز یکبار آبیاری شد. تیمار I_5 کاملاً به صورت ۸ روز یکبار آبیاری شد. قابل ذکر است که مدیریت آبیاری با تناوب ۸ روز (Amiri and Rezaei, 2013) بر اساس 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 گردید.

بر اساس جدول (۱) خاک محل آزمایش برای کشت برنج مناسب می‌باشد که 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 شکل (۲) ویژگی‌های هواشناسی محل انجام طرح را نشان می‌دهد. ۲۰ روز اول به صورت غرقاب آبیاری شد. کود اوره و پتاس و فسفات هر کدام به میزان ۶۰ کیلوگرم در هکتار به صورت پایه استفاده شد. کود اوره به مقدار ۶۰ کیلوگرم به صورت سرک یک ماه بعد از مرحله پایه نیز مصرف شد. بذریاشی در محیط خزانه در اوائل اردیبهشت ماه و نشاکاری تیمارها در اوائل خردادماه انجام گرفت. پس از رسیدگی و برداشت، خوشه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه در داخل آون برای خشک شدن قرار گرفتند. پس از رسیدن محصول، عملکرد، تعداد خوشه پر شده، تعداد پنجه، وزن خشک کاه نیز در رطوبت ۱۴ درصد با برداشت ۵

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Depth (cm)	EC ($dS.m^{-1}$)	PH	O.C (%)	CEC (meq/100g)	N (%)	K ($mg.kg^{-1}$)	P ($mg.kg^{-1}$)
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 کودپاشی	تاریخ نشاء کاری	تاریخ گل‌دهی	تاریخ کود سرک	تاریخ برداشت	کل طول دوره رشد - روز
۱۳۹۳	۹۳/۳/۶	۹۳/۳/۹	۹۳/۳/۱۴	۹۳/۳/۱۲	۹۳/۵/۱۴	۹۳/۴/۱۵	۹۳/۶/۱۴	۹۵
۱۳۹۴	۹۴/۳/۶	۹۳/۳/۱۰	۹۴/۳/۱۴	۹۴/۳/۱۳	۹۴/۵/۱۵	۹۴/۴/۱۵	۹۳/۶/۱۹	۹۹

جدول ۳. اطلاعات مربوط به هواشناسی

سال	ماه	حداقل دما	حداکثر دما	میانگین رطوبت نسبی	سرعت باد	ساعات آفتابی	تبخیر	بارندگی
مجموع و متوسط در دوره رشد*	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
	۹۳-۹۴	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
	۹۳-۹۴	۱۷/۱۳	۲۷/۰۸	۷۲/۷۳	۲/۰۱	۱۳۴۷/۸۰	۶۵۴/۴۱	۲۷۱/۰۵

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

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب جدول (۴) در دو سال آزمایش نشان داد که اثر تیمار آبیاری بر عملکرد، تعداد دانه پر، وزن هزار دانه، تعداد خوشه، بهره‌وری آب آبیاری در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) 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 تورگر است. بنابراین افزایش کارایی مصرف آب هم با بهبود عملیات زراعی و هم با بهبود مدیریت صحیح آبیاری قابل‌حصول است. همچنین اثر تیمار تراکم بر عملکرد، تعداد دانه پر، وزن هزار دانه، تعداد پنجه، تعداد خوشه، بهره‌وری آب آبیاری در سطح احتمال یک درصد ($P < 0.01$) معنی‌دار بود. 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 افزایش تعداد بوته در واحد سطح خنثی می‌شود (Asghar et al., 2001).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین مرکب در دو سال آزمایش (جدول ۵)، اعمال تنش در دوره رویشی ضمن حفظ عملکرد در حد روش معمول غرقاب باعث کمتر شدن مصرف آب می‌شود. تنش خشکی موجب می‌شود که خوشه از غلاف برگ پرچم خارج نشود و نرغیمی افزایش یافته و پوکی دانه‌های برنج بیشتر شود. تنش خشکی در مرحله زایشی تأثیر

بیشتری بر عملکرد دارد چون در اثر تنش خشکی در مرحله زایشی سطح سبز برگ و دوام آن کاهش یافته و متعاقب آن تولید مواد فتوسنتزی و افزایش رقابت درون بوته‌ای تعداد پنجه بارور و در نتیجه تعداد دانه پر کمتری تولید می‌شود. با کاهش میزان تراکم عملکرد کاهش می‌یابد. می‌توان چنین استنباط نمود که افزایش فواصل بین بوته‌ها و کاهش تراکم در واحد سطح، سبب افزایش نفوذ نور در جامعه گیاهی شده و فضای بیش‌تری جهت توسعه گیاه فراهم می‌گردد. به‌علاوه افزایش تراکم در واحد سطح می‌تواند به کنترل علف‌های هرز کمک نماید.

در جدول (۶) نتایج ارزیابی دقت معادلات در مدیریت‌های آبیاری و فواصل کشت مختلف گزارش شده است. عملکرد دانه توسط معادلات خطی، لگاریتمی، درجه دوم، نمایی بررسی گردید. ارزیابی مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده عملکرد دانه با استفاده از پارامترهای ضریب تبیین (R^2)، آزمون t ، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده، انجام گرفت. معادله درجه دوم از یک‌سو با کمترین میزان ریشه میانگین مربعات خطا و پایین‌ترین میزان ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده و از سوی دیگر با بالاترین میزان همبستگی به لحاظ آماری بهترین شبیه‌سازی را در واسنجی نشان داد.

مقدار خطا در مرحله اعتبارسنجی کاهش یافته که دلیلی بر قبول نتایج مدل می‌باشد (Dehghani et al., 2011). آزمون

تی P(t) بیشتر از ۰/۰۵ است که می‌توان نتیجه گرفت که تفاوت معنی‌داری بین داده‌های شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده نیست (Amiri et al., 2009). همچنین میانگین مربعات خطا از انحراف معیار مقادیر واقعی می‌بایست کمتر باشد که نتایج ارزیابی دقت معادلات در مدیریت‌های آبیاری و فواصل کشت مختلف گویای آن است.

جدول ۴. تجزیه واریانس مرکب در دو سال آزمایش

منابع تغییرات	df	عملکرد		میانگین مربعات		تعداد	وزن هزار دانه	تعداد پنجه	تعداد خوشه	بهره‌وری آب آبیاری
		دانه	دانه پر	تعداد	تعداد					
R	۲	۵۸۵۶۶/۰۱ ^{ns}	۲۰/۸۳ ^{ns}	۲۶۱۵۰ ^{ns}	۰/۴۱ ^{ns}	۰/۹۱ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}
Y	۱	۴۲۱۶۷۲/۶۱ ^{ns}	۳۰/۲۱۰ ^{ns}	۰/۳۷ ^{ns}	۲۵/۸۹*	۱۸/۳۶ ^{ns}	۰/۵۶۷ ^{ns}	۰/۵۶۷ ^{ns}	۰/۵۶۷ ^{ns}	۰/۵۶۷ ^{ns}
E	۲	۸۶۲۱۵/۰۹	۲۹/۶۰	۳۳/۷۲	۱/۳۸	۲/۲۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴
I	۴	۶۳۵۳۶۷۲/۳ ^{ns}	۵۲۶/۹۵ ^{ns}	۱۴/۶۸ ^{ns}	۸/۳۰ ^{ns}	۶۲/۴۰ ^{ns}	۰/۵۱۷ ^{ns}	۰/۵۱۷ ^{ns}	۰/۵۱۷ ^{ns}	۰/۵۱۷ ^{ns}
Y x I	۴	۵۴۳۹/۲۳ ^{ns}	۷/۲۳ ^{ns}	۵۷/۳۸ ^{ns}	۰/۷۱ ^{ns}	۰/۳۶ ^{ns}	۰/۰۱۷*	۰/۰۱۷*	۰/۰۱۷*	۰/۰۱۷*
E	۱۶	۶۸۶۳۶/۸۲	۳۸/۱۵	۲۷/۰۶	۰/۷۹	۱/۳۸	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵
D	۲	۹۶۴۲۸۹۹/۹ ^{ns}	۷۰۷۶/۰ ^{ns}	۵۸۷/۷۴ ^{ns}	۷۵/۹۸ ^{ns}	۴۳۳/۴ ^{ns}	۴۰۲۲ ^{ns}	۴۰۲۲ ^{ns}	۴۰۲۲ ^{ns}	۴۰۲۲ ^{ns}
Y x D	۲	۲۲۵۲۵/۴۳ ^{ns}	۹/۶۰ ^{ns}	۸/۹۱ ^{ns}	۰/۳۸ ^{ns}	۰/۴۱ ^{ns}	۰/۰۴۱ ^{ns}	۰/۰۴۱ ^{ns}	۰/۰۴۱ ^{ns}	۰/۰۴۱ ^{ns}
I x D	۸	۲۳۷۳۳/۵۲ ^{ns}	۹/۶۴ ^{ns}	۷/۹۹ ^{ns}	۰/۹۵ ^{ns}	۵/۲۱ ^{ns}	۰/۰۲۱ ^{ns}	۰/۰۲۱ ^{ns}	۰/۰۲۱ ^{ns}	۰/۰۲۱ ^{ns}
Y x I x D	۸	۱۲۱۱۶/۴۳ ^{ns}	۳/۰۳ ^{ns}	۱۷/۸۰ ^{ns}	۰/۶۵ ^{ns}	۰/۴۳ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}
E	۴۰	۵۸۵۸۵/۶۴	۱۱/۸۷	۱۳/۵۰	۰/۳۷	۱/۹۳	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶
CV%		۶/۶۵	۴/۳۳	۱۵/۲۳	۳/۴۴	۷/۹۶	۷/۹۸	۷/۹۸	۷/۹۸	۷/۹۸

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱٪ و ۵٪ ns غیر معنی‌دار.

R: تکرار، Y: سال، I: تیمار آبیاری، D: تیمار تراکم، E: خطا، df: درجه آزادی، CV: ضریب تغییرات

جدول ۵. نتیجه مقایسه میانگین مرکب عملکرد (کیلوگرم در هکتار)

سال	فاصله کاشت (سانتیمتر)	تیمارهای آبیاری در مراحل مختلف رشد برنج هاشمی					میانگین تراکم
		I ₀	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	
۹۳	D ₁ =۱۵×۱۵	۴۵۲۵/۴ a A	۴۴۶۳/۴ ab A	۴۲۹۲/۳ b A	۳۶۰۲/۱ c A	۳۲۲۲/۸ d A	۴۰۴۱/۲ A
	D ₂ =۲۰×۲۰	۴۳۲۶/۴ a A	۴۰۱۶/۷ a AB	۴۰۲۳/۲ a AB	۳۳۱۵/۷ b A	۲۷۵۶/۰ c B	۳۶۸۷/۶ B
	D ₃ =۲۵×۲۵	۳۴۶۹/۸ a B	۳۴۳۸/۶ a B	۳۲۶۵/۹ a B	۲۶۲۸/۰ ab B	۲۰۹۱/۸ b C	۲۹۷۸/۸ C
	میانگین تنش خشکی	۴۱۰۷/۲ a	۳۹۷۲/۹ a	۲۸۶۰/۵ a	۳۱۸۱/۹ b	۲۷۲۲/۵ c	
۹۴	D ₁ =۱۵×۱۵	۴۷۱۰/۷ a A	۴۶۸۳/۴ a A	۴۶۵۰/۳ a A	۳۷۶۱/۴ b A	۳۳۷۸/۳ c A	۴۲۴۶/۸ A
	D ₂ =۲۰×۲۰	۴۳۸۴/۱ a A	۴۲۳۷/۰ a B	۴۱۲۴/۶ a B	۳۳۹۶/۴ b A	۲۹۳۵/۴ c B	۳۸۱۵/۵ B
	D ₃ =۲۵×۲۵	۳۴۹۵/۳ a B	۳۴۸۵/۰ a C	۳۳۴۲/۵ a C	۲۷۶۴/۰ b B	۲۲۴۳/۰ c C	۳۰۶۶/۰ C
	میانگین تنش خشکی	۴۱۹۶/۷۰ a	۴۱۳۵/۱۸ a	۴۰۳۹/۱۵ a	۳۳۰۷/۲۶ b	۲۸۵۲/۲۲ c	

میانگین‌های با حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ ندارند.

جدول ۶. نتایج ارزیابی دقت معادلات در مدیریت‌های آبیاری و فواصل کشت مختلف

تیمار	معادلات به صورت خطی، لگاریتمی، درجه دوم، نمایی	نتایج واسنجی مدل (۱۳۹۳)					نتایج اعتبار سنجی مدل (۱۳۹۴)				
		P(t)	ME	RMSEn	RMSE	Sd	P(t)	ME	RMSEn	RMSE	Sd
D ₁	Y = ۳/۸۳۳ x + ۲۱۱۳	۰/۵۵ c					۰/۲	۲/۳	۱۱/۹	۴۸۰/۶	۵۴۴/۳
	Y = ۱۹۷۰/۱۰ ln(x) - ۸۱۸۲	۰/۵۸ b					۰/۵	۱/۶	۷/۸	۳۱۴/۰	
	Y = -۰/۱۱ x ^۲ + ۱۵/۲۲ x - ۷۲۹/۲	۰/۶۰ a					۰/۵	-۰/۱	۷/۶	۳۰۷/۰	
D ₂	Y = ۱۷۵/۱۶ x ^{-۱/۵۰۴۵}	۰/۵۹ ab					۰/۵	۲/۲	۷/۹	۳۲۰/۱	
	Y = ۴/۸۶۹ x + ۱۲۳۸	۰/۶۵ c					۰/۵	۲/۶	۹/۲	۳۳۹/۶	
	Y = ۲۵۰۳/۵ ln(x) - ۱۱۸۴۱	۰/۶۸ b					۰/۵	۱/۸	۸/۷	۳۲۲/۲	
D ₃	Y = -۰/۱۴ x ^۲ + ۱۹/۰۷۹ x - ۲۳۰۶	۰/۷۰ a					۰/۴	-۳/۴	۸/۷	۳۱۹/۷	
	Y = ۴۱/۷۲ x ^{-۱/۷۲۰۴۵}	۰/۶۸ ab					۰/۵	۳/۳	۹/۱	۳۳۶/۳	
	Y = ۴/۳۴۷ x + ۷۹۲/۱	۰/۵۸ c					۰/۵	۵/۰	۱۱/۶	۳۴۶/۶	
D ₄	Y = ۲۲۶۵ ln(x) - ۱۱۰۷۴	۰/۶۳ b					۰/۵	۴/۲	۱۰/۹	۳۲۵/۸	
	Y = -۰/۱۰۱۸ x ^۲ + ۲۳/۲۰ x - ۳۹۱۱	۰/۶۹ a					۰/۴	۲/۶	۱۰/۳	۳۰۵/۹	
	Y = ۱۷/۰۴ x ^{-۱/۸۲۹۵}	۰/۶۴ ab					۰/۵	۶/۴	۱۱/۶	۳۴۶/۷	

X: میزان مصرف آب آبیاری + بارش (میلی‌متر)، Y: عملکرد (کیلوگرم در هکتار) * میانگین‌های با حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح ۱٪ ندارند.

پنجه و تعداد خوشه توجیه می‌شود و با صفت تعداد دانه همبستگی منفی دارد.

بررسی ماتریس ضرایب همبستگی بین دو مدیریت‌های آبیاری و تراکم کشت و صفات اندازه‌گیری شده (جدول ۷) نشان داد که تغییرات عملکرد در این آزمایش بیشتر توسط تعداد

جدول ۷- ماتریس ضرایب همبستگی در مدیریت‌های آبیاری و تراکم کشت

Y	NP	NG	NT	TGW	PL	
۱	۰/۹۵۹**	-۰/۹۴۵**	۰/۷۱۲**	۰/۱۴۰ ^{ns}	۰/۲۸۰ ^{ns}	Y: عملکرد یک کپه (گرم)
	۱	-۰/۸۸۱**	۰/۷۴۸**	-۰/۰۵۸ ^{ns}	۰/۲۸۹ ^{ns}	NP: تعداد خوشه در پنجه
		۱	۰/۷۲۷**	۰/۰۰۵ ^{ns}	-۰/۲۷۱ ^{ns}	NG: تعداد دانه پر در خوشه
			۱	-۰/۲۲۹ ^{ns}	۰/۴۶۶**	NT: تعداد پنجه
				۱	۰/۰۰۱ ^{ns}	TGW: وزن هزار دانه (گرم)
					۱	PL: ارتفاع

** و *** به ترتیب معنی‌دار در سطح ۱٪ و ۵٪: ns: غیر معنی‌دار.

ضریب تبیین ($R^2=0/993$) ارائه شد. یکی از راه‌های آزمون عملکرد، تجزیه آن به اجزای عملکرد است. در واقع می‌توان گفت دو صفت تعداد خوشه و تعداد دانه پر به تنهایی قادر به تخمین عملکرد در مدیریت‌های آبیاری و تراکم‌های مختلف است ($R^2=0/962$).

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول (۸)، تخمین معادله همبستگی بین عملکرد یک کپه و صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از روش گام‌به‌گام با ورود صفات تعداد خوشه، تعداد دانه پر، وزن هزار دانه، تعداد پنجه و حذف بقیه صفات اندازه‌گیری شده از جمله ارتفاع انجام گرفت و در نهایت معادله رگرسیون با

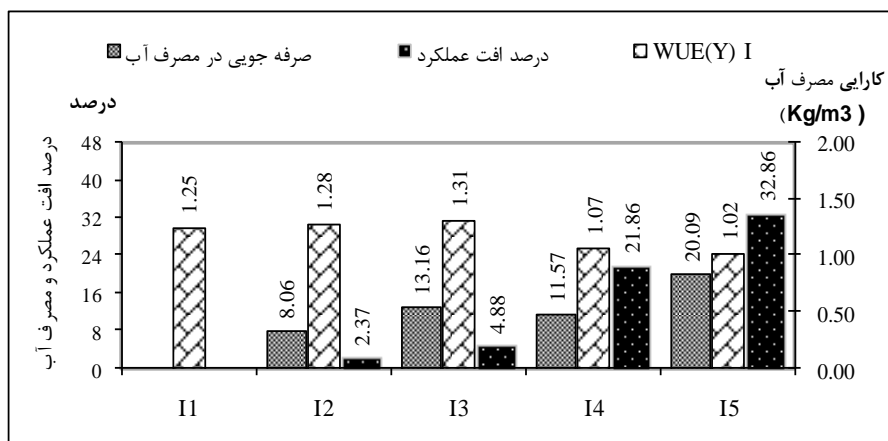
جدول ۸- معادله رگرسیون با استفاده از روش گام‌به‌گام

اجزای عملکرد	معادله عملکرد در کپه (گرم)	R ²
NP	$Y=2/40.8 (NP)-16/191$	۰/۹۱۹
NP + NG	$Y=1/411 (NP) + 0/297 (NG)-22/360$	۰/۹۶۲
NP+ NG + TGW	$Y= 1/534 (NP) + 0/268 (NG) + 1/063 (TGW)-41/452$	۰/۹۹۳

Y: عملکرد یک کپه (گرم) NP: تعداد خوشه در پنجه NG: تعداد دانه در خوشه NT: تعداد پنجه TGW: وزن هزار دانه (گرم) PL: ارتفاع

۴/۸۸ درصد کاهش در عملکرد توانست بالاترین میزان کارایی را به خود اختصاص دهد؛ ضمن اینکه ۱۳/۶ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی کرد.

با توجه به شکل (۲) بررسی به عمل آمده در مورد مقادیر مختلف درصد افت عملکرد، صرفه‌جویی در مصرف آب، کارایی مصرف آب نشان داد که اعمال تنش در دوره رویشی با تنها



شکل ۲- مقادیر مختلف درصد افت عملکرد، صرفه‌جویی در مصرف آب، کارایی مصرف آب

نتیجه گیری

استفاده از صفات وزن هزار دانه، تعداد خوشه و تعداد دانه در خوشه می‌توان معادله عملکرد برنج را در مدیریت‌های آبیاری و تراکم‌های مختلف پیش‌بینی نمود. معادله درجه دوم از یک‌سو با کمترین میزان خطا و با بالاترین میزان همبستگی به لحاظ آماری بهترین شبیه‌سازی را در واسنجی نشان داد.

آبیاری با دور ۸ روز تا گلدهی $I_3=$ با تنها ۴/۸۸ درصد کاهش در عملکرد توانست بالاترین میزان کارایی را به خود اختصاص دهد. انتخاب تراکم مناسب کاشت نیز در زمان تنش خشکی راهکار مدیریتی مناسبی برای بهینه کردن میزان عملکرد می‌باشد. با

REFERENCES

- Amiri, E. (2006). Investigation of water balance and rice yield under irrigation management whit model, (modeling and field experiments). PhD Thesis. Islamic Azad University, Tehran Science & Research Branch, Iran. 181 pp. (In Farsi).
- Amiri, E., Kavooosi, M., Kaveh, F. (2009). Evaluation of Crop Growth Models ORYA2000, SWAP and WOFOST under Different Types of Irrigation Management. *Journal of agricultural engineerin research*. 1(3):13-28. (In Farsi)
- Amiri, E., Razavipour, T., Farid, A & Bannayan, M. (2011). Effects of Crop Density and Irrigation Management on Water Productivity of Rice Production in Northern Iran: Field and Modeling Approach, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42,17, 2085-2099
- 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. *Pakistan. J. Biological Sci.* 4(4),460-461.
- 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 directseeded rice systems. *J. Pest Sci.* 88(2), 427-438.
- 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.
- Chamara, B.S., B. Marambe., and S. Bhagirath. (2016). Management of *Cleome ruidosperma* DC. using high crop density in dry-seeded rice. *Crop Prot.* 1-9.
- 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.
- 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.
- Dehghani, H., A. Alizadeh, and S.A. Haghayeghi. (2011). Water Balance Components Estimating in Farm Scale Using Simulation Model SWAP (Case Study: Neyshabur Region). *Journal of Water and Soil.* 24(6): 1265-1275. (In Farsi)
- Gill, J. S. Walia, S. S and Gill, R. S (2014). Direct seeded rice: An alternative rice establishment technique in north-west India – A review. *International Journal of Advanced Research.* 2 (3), 375-386.
- Jayawardena, S.N., and Abeysekera, S.W. (2002). Effect of plant spacing on the yield of hybrid rice. *Annals of the Sri Lanka Department of Agriculture.* 4, 15-20.
- Murumkar, R.P. Dongarwar, U.R. Phad D.S. Borkar, B.Y. and Pisalkar, P.S. (2014). Performance testing of four row self propelled paddy transplanter. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 3 (6) 2015-2019.
- Pan, J., Y. z. 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. Wat. Manage.*, 184:191-200.
- Rezaei M, Nahvi M. (2007). Effect of different irrigation management methods on water use efficiency and rice yield. *Agriculture Science* 1: 15-25.
- Roderick, M., Florencia, G. R., Rodriguez, G. D. P., Lampayan R.M., 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.
- 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. Bio. Sci. I. A. U. Z.* 3:1-7.