نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد دوازدهم، شماره چهارم، زمستان ۹۸
۱۵۷-۱۷۰
http://ejcp.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/ejcp.2020.16513.2231

اثر مدیریت آبیاری و تاریخ کاشت بر عملکرد و بهره‌وری آب در برنج (*Oryza sativa* L.)

پویا اعلایی بازکیایی[۱]، بهنام کامکار[۲*]، ابراهیم امیری[۳]، حسین کاظمی[۴]، مجتبی رضایی[۵]

[۱]دانشجوی دکتری رشته زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
[۲]استاد گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی گرگان و گروه اگروتکنولوژی دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران
[۳]ستاد گروه مهندسی آب، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران
[۴]دانشیار گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
[۵] موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران
تاریخ دریافت: ۹۸/۱/۲۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۳/۲۹

چکیده

سابقه و هدف: کمبود منابع آب و کم بودن کارایی آبیاری در مزارع برنج، استفاده بهینه و افزایش بهره‌وری از منابع موجود را ضروری می‌سازد. یافتن روشی از مدیریت آب که بدون تأثیرگذاری بر میزان عملکرد باعث مصرف کمتر آب گردد، لازم به نظر می‌رسد. تاریخ کاشت به دلیل تأثیر بر مراحل مختلف رشد و نمو و در نهایت عملکرد دانه بسیار حائز اهمیت است.

مواد و روش‌ها: این پژوهش به‌منظور بررسی اثر مدیریت آبیاری و تاریخ کاشت بر عملکرد و بهره‌وری آب در کشت برنج رقم هاشمی به‌صورت کرت‌های خردشده با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در دو سال زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در موسسه تحقیقات برنج کشور، رشت انجام گردید. دور آبیاری به‌عنوان عامل اصلی در چهار سطح غرقاب دائمی، دور آبیاری ۵، ۱۰ و ۱۵ روز و تاریخ کاشت به‌عنوان عامل فرعی در سه سطح (یک اردیبهشت، بیستم اردیبهشت و دهم خرداد) در نظر گرفته شدند.

یافته‌ها: بر اساس نتایج، تأثیر دور آبیاری و تاریخ کاشت بر صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین عملکرد شلتوک (۴۲۷۱ کیلوگرم در هکتار) در تیمار غرقاب به دست آمد و تیمارهای دور آبیاری ۵، ۱۰ و ۱۵ روزه با میانگین به ترتیب ۳۸۴۴، ۳۱۹۶ و ۳۲۶۴ کیلوگرم در هکتار، در رده‌های بعدی قرار داشتند. بر پایه عملکرد زیستی، تیمارهای آبیاری ۱۵ روزه و غرقاب به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین بهره‌وری آبیاری را داشتند. در بررسی تاریخ‌های کاشت مختلف، تاریخ کاشت‌های یک و ۲۰ اردیبهشت بیش‌ترین میزان عملکرد شلتوک (به ترتیب ۳۷۹۵ و ۳۸۲۰ کیلوگرم در هکتار) را داشتند و بیشترین بهره‌وری آب مبتنی بر عملکرد شلتوک و زیست‌توده در تاریخ کاشت یک اردیبهشت به دست آمد. تیمار دور آبیاری ۵ روزه با کاهش ۱۰ درصد عملکرد شلتوک و صرفه‌جویی ۱۰ درصد میزان آبیاری به‌عنوان بهترین گزینه مدیریت آبیاری در شرایط کمبود آب جهت آبیاری تعیین گردید. بیش‌ترین مقادیر بهره‌وری مصرف آب در تیمارهای دور آبیاری ۱۰ و ۱۵ روزه به‌دست آمد؛ اما با توجه به کاهش شدید عملکرد نسبت به آبیاری غرقابی (با میانگین ۲۴ درصد کاهش عملکرد شلتوک و ۱۴ درصد کاهش عملکرد زیست‌توده) گزینه‌های مطلوبی نبودند. با بررسی اثر تلفیق عامل آبیاری با تاریخ کاشت بر میزان کاهش عملکرد

*مسئول مکاتبه: behnam.kamkar@gmail.com

شلتوک و زیست‌توده و بهره‌وری آب، مشاهده شد که کاربرد تیمار آبیاری پنج روزه در تاریخ کاشت یک اردیبهشت بیش‌ترین عملکرد را با لحاظ نمودن کم‌ترین کاهش بهره‌وری آب داشته است.

نتیجه‌گیری: تلفیق تاریخ کاشت و دوره آبیاری می‌تواند در افزایش عملکرد شلتوک و بهره‌وری تولید آب با حداکثر بهره‌برداری از محیط تاثیرگذار باشد. با در نظر گرفتن میزان عملکرد شلتوک، زیست‌توده، بهره‌وری آب و میزان مصرف آب، تیمار آبیاری پنج روزه در تاریخ کاشت یک اردیبهشت بهترین عملکرد شلتوک و زیست‌توده را داشته است. این تیمار با نه درصد کاهش مصرف آب و شش درصد کاهش عملکرد شلتوک، بهترین تیمار از نظر بهره‌وری و تولید برنج بوده است. بنابراین، می‌توان با استفاده از دور آبیاری پنج‌روزه در منطقه مورد مطالعه، با انتخاب تاریخ کاشت مناسب میزان بهره‌وری مصرف آب را افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، برنج، بهره‌وری آب، تاریخ کاشت، عملکرد

مقدمه

بر اساس آمار سازمان خواربار جهانی (FAO) ایران در سال ۲۰۱۶ دارای ۵۵۷ هزار هکتار سطح زیر کاشت و ۲/۳ میلیون تن تولید برنج بوده است. واردات برنج در ایران در سال ۲۰۱۶ حدود ۱/۱ میلیون تن بود (۱۱). این نتایج دلالت بر آن دارد که تولید داخلی کفایت تأمین نیاز کشور را نداشته و بخشی از نیاز برنج مصرفی از طریق واردات تأمین می‌شود. استان گیلان بعد از مازندران بیش‌ترین سطح زیر کاشت برنج (۱۹۷ هزار هکتار) را در بین استان‌های کشور دارد (۱). بنابراین، مطالعه عملکرد برنج در گیلان از اهمیت زیادی برخوردار است. اگرچه در استان‌های شمالی ایران قسمت عمده‌ای از برنج کشور تولید می‌شود، ولی به منظور جبران کمبود تولید داخل، سالیانه مقداری برنج از خارج از کشور خریداری می‌شود. این در حالی است که اولاً به دلیل احداث سدهای متعدد و کم‌تر شدن سهم کشاورزان گیلانی از آب، تولید این گیاه با چالش کاهش منابع آبی مواجه خواهد شد و ثانیاً افزایش جمعیت باعث افزایش نیاز غذایی داخل خواهد شد. بنابراین، یافتن روشی از مدیریت آب که بدون تأثیرگذاری بر میزان عملکرد باعث مصرف کمتر آب گردد، ضروری به نظر می‌رسد (۳۱، ۲۰). به همین دلیل، بازنگری در شیوه‌های سنتی مدیریت آبیاری برنج نظیر غرقاب دائم امری اجتناب‌ناپذیر خواهد بود (۵). ژنگ و همکاران (۲۰۱۸) میزان بهره‌وری تولید برنج را بین ۱ تا ۲/۵ کیلوگرم شلتوک به ازای هر متر مکعب آب آبیاری گزارش نمودند (۳۲). وانگ و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی اثر برنامه‌ریزی در مصرف آب برنج مشاهده نمودند که در مقایسه با کاشت برنج در غرقاب دائم، کاشت در آبیاری تحت کنترل، سبب ۳۶ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب و ۳۶ درصد کاهش تبخیر- تعرق می‌شود (۲۷). کاراسلاس و همکاران (۲۰۱۵) بهره‌وری آب تیمارهای تناوب آبیاری در کل فصل رشد، تناوب تا مرحله خوشه‌دهی و آبیاری غرقاب دائم را به ترتیب معادل ۰/۸۸، ۰/۷۳ و ۰/۵۷ کیلوگرم شلتوک به ازای هر متر مکعب آب گزارش نمودند (۷). کاریخو و همکاران (۲۰۱۷) گزارش نمودند که مصرف متناوب آب در کاشت برنج با حفظ میزان عملکرد، سبب ۲۳ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب در مقایسه با روش غرقاب دائم می‌شود (۸). عزیز و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی اثر روش‌های کم‌آبیاری بر بهره‌وری آب و عملکرد شلتوک برنج مشاهده نمودند که کاشت با میزان آبیاری کم و مرطوب نگه داشتن خاک سبب افزایش بهره‌وری مصرف آب، کاهش ۱۸ درصدی

نشـت آب در خـاک و ذخیـره ۱۷ درصـدی آب در مقایسه با غرقاب دائـم مـی‌شـود (۴). ابراهیمـی‌راد و همکـاران (۱۳۹۶) در بررسـی اثـر دور آبیـاری بـر بهره‌وری آب در برنج مشاهده نمودند کـه آبیـاری بـا دور هشت روز تا گلدهی تنها با ۴٪ کـاهش عملکـرد نسبت به روش معمـول غرقـاب باعـث کمتـر شـدن مصرف آب و صرفه‌جویی معادل ۱۶٪ در آب مصرفی شد (۱۰).

هدف از تعیین تاریخ کاشت، یافتن زمانی است که مجموعه عوامل محیطی حادث در آن زمان، برای سبز شدن، استقرار و رشد گیاهچه مناسـب باشـد، ضـمن این‌که تا حد مقدور گیـاه در هـر مرحلـه از رشـد بـا شرایط مطلوب روبه‌رو گردد (۲). با توجه بـه بهتـرین عملکرد گیاهان زراعی در دامنه‌های مشخص اقلیمی و فیزیکی، با شناخت این عوامل می‌توان امکانات بالقوه اقلیمی را در مناطق مختلـف شناسـایی کـرده و از آن حداکثر بهره‌برداری را انجام داد (۳۳). تـاریخ کاشـت به دلیل تأثیر بر مراحل مختلف رشـد و نمـو و نهایتـاً عملکرد دانه طبق نظر محققـان بسـیار حـائز اهمیـت است (۱۷). مرادپـور و همکـاران (۲۰۱۵) در بررسـی اثر تاریخ کاشت بر عملکرد برنج در اسـتان مازنـدران مشاهده کردند که تاریخ کاشت ۹ و ۱۹ خرداد به دلیل وجود مناسب‌ترین شرایط رشد و به حـداکثر رسـیدن تولید گیاه از محـیط بـیش‌تـرین عملکـرد شـلتوک را داشتند و کم‌ترین عملکرد شلتوک در تاریخ کاشت ۲۹ خرداد به دست آمـد کـه علـت آن کـاهش عملکـرد، افزایش درجه حرارت در ابتدای فصل رشد و کـاهش طول دوره رشد در تاریخ‌های کاشت تأخیری گزارش گردید (۱۶). برار و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی تأثیر تاریخ کاشت بر بهره‌وری آب برنج مشاهده نمودند که تغییر ۱۰ روزه تاریخ کاشـت سـبب تغییـر بهـره‌وری واقعی آب تا ۱۳ درصد می‌شود (۶).

تـاکنون اکثـر تحقیـق‌هـای انجـام یافتـه در مـورد شیوه‌های مدیریت آبیاری در ایران بر پایـه دور ثابـت آبیاری از ابتدا تا انتهای فصل کاشت و یـا تـأثیر قطـع آب در مراحـل مختلـف رشـد بـوده اسـت و کـم‌تـر تحقیقی در مورد اثر متقابل مدیریت آبیـاری و تـاریخ کاشت روی عملکرد بـرنج و بهـره‌وری آب صـورت پذیرفته است. در این تحقیق سعی شـد اثـر مـدیریت آبیاری و تاریخ کاشت بر عملکرد و بهـره‌وری آب در برنج مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

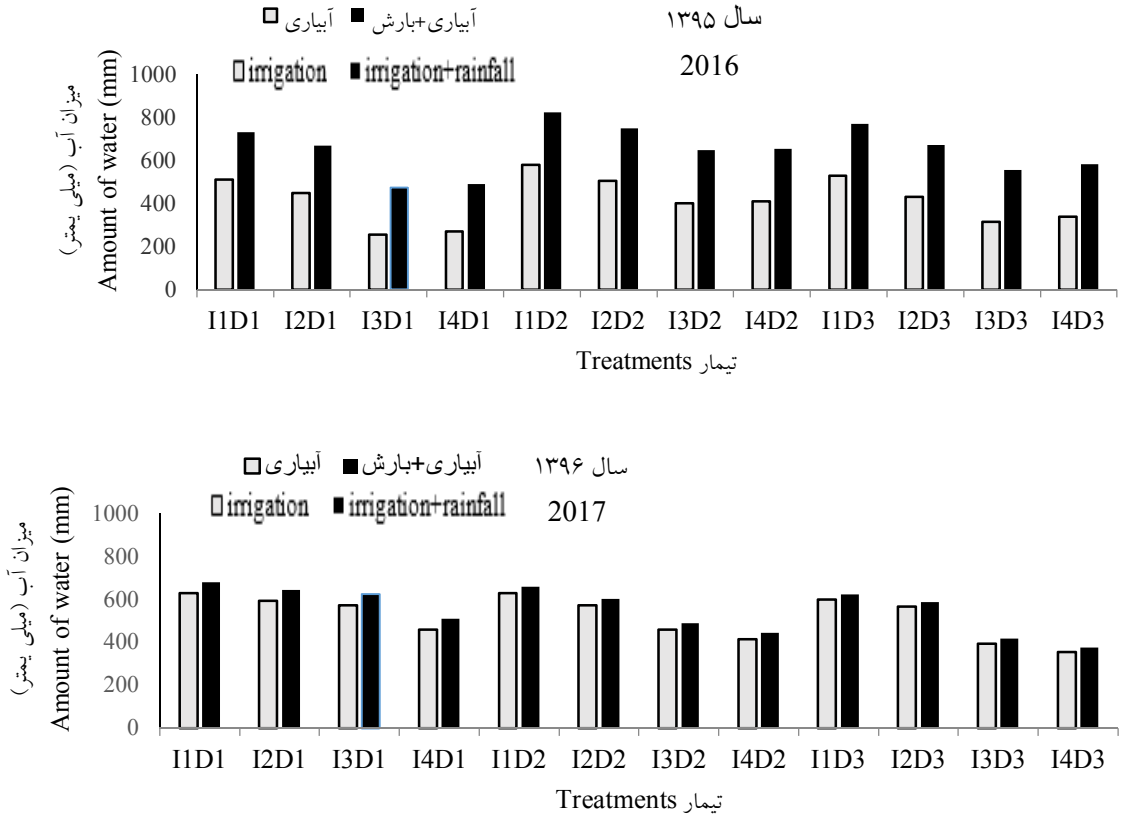
این آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سـه تکـرار بـر روی برنج رقم هاشمی طی سال‌های زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در موسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) انجـام شـد. ارتفاع محل از سطح دریا ۲۴ متر می‌باشد و در عرض ۳۷ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طول ۴۹ درجـه و ۶۴ دقیقه شـرقی قـرار دارد. تیمارهـای آبیـاری در چهـار سطح غرقـاب و دوره‌هـای آبیـاری ۵، ۱۰ و ۱۵ روزه به‌عنوان عامـل اصـلی (بـه ترتیـب I1، I2، I3 و I4) و تاریخ‌های کاشت در سه سـطح یـک اردیبهشـت، ۲۰ اردیبهشـت و ۱۰ خـرداد (بـه‌ترتیـب D1، D2 و D3) به‌عنوان عامل فرعی مورد نظر قرار گرفتند. کرت‌بندی بعـد از شـخم اولیـه و ثانویـه و انجـام گـل‌خرابـی (پادلینگ) در بـرنج صـورت گرفـت. اطلاعـات دوره رشد تیمارهای مختلف در جدول (۱) ذکر گردید. هر کرت آزمایشی بـه طـول و عـرض ۳/۵ متـر در نظـر گرفته شد. تـراکم نشـاها ۲۰×۲۰ سـانتی‌متـر در نظـر گرفته شد. جهت جلوگیری از نفوذ آب بین کرت‌هـا، مرزها با پلاستیک پوشانده شد. پس از انتقال نشاها به

زمین اصلی، کرت‌ها به مدت ۱۰ روز تمام غرقاب دائم نگه داشته شدند تا نشاها استقرار یابند. محاسبه درجه روز رشد برنج با استفاده از رابطه (۱) انجام شد که در آن Tmax و Tmin به‌ترتیب دمای کمینه و بیشینه، Tb دمای پایه برنج و n تعداد روز هر مرحله نموی است. دمای پایه برنج ۸ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد (سلطانی، ۲۰۱۲).

رابطه ۱:

$$Gdd = \sum_{i=1}^{n}\left(\left(\frac{Tmax-Tmin}{2}\right) - Tb\right)$$

پس از آن مدیریت آبیاری در کرت‌ها بر مبنای برنامه اعمال شد. حجم آب آبیاری به هر کرت توسط کنتور حجمی اندازه‌گیری شد که در شکل (۱) نشان داده شده است. متوسط مقدار آب مصرفی در دو سال آزمایش در آبیاری غرقاب، دور ۵، ۱۰ و ۱۵ روز به‌ترتیب برابر ۵۸۰، ۵۲۰، ۳۹۹ و ۳۷۵ میلی‌متر و در تاریخ کشت اول تا سوم به‌ترتیب ۴۶۸، ۴۹۷ و ۴۴۲ میلی‌متر بود که با استفاده از کنتور حجمی اندازه‌گیری شد.



شکل ۱- میزان آب آبیاری و آب آبیاری + بارش طی دو سال آزمایش (D3,D2,D1: به ترتیب تاریخ کاشت یک اردیبهشت، ۲۰ اردیبهشت و ۱۰ خرداد; I4,I3,I2,I1: به ترتیب آبیاری غرقاب، دوره آبیاری ۵، ۱۰ و ۱۵ روزه).

Figure 1. Amount of total water in two years of experiment (D1, D2 and D3: planting date of April 21st, May, 11th and May, 31st; I1, I2, I3 and I4: full flooding, 5, 10 and 15 days irrigation intervals, respectively).

جدول ۱- اطلاعات دوره نمو برنج (رقم هاشمی) در تیمارهای مختلف طی دو سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶.

Table 1- Information of growth periods of rice (Hashemi cultivar) in several treatments in 2016 and 2017.

سال year	تیمار Treatment / اطلاعات رشد Growth information	I4D1	I3D1	I2D1	I1D1	I4D2	I3D2	I2D2	I1D2	I4D3	I3D3	I2D3	I1D3
2016	روز خزانه گیری Seeding in the nursery	March, 25	March, 25	March, 25	March, 25	April, 15	April, 15	April, 15	April, 15	May, 6	May, 6	May, 6	May, 6
	تاریخ کاشت Date of planting	April, 21	April, 21	April, 21	April, 21	May, 11	May, 11	May, 11	May, 11	May, 31	May, 31	May, 31	May, 31
	روز تا ۵۰ درصد گلدهی Day to 50% flowering	57	57	57	58	60	60	60	62	77	77	77	78
	طول دوره رشد(روز) Growth period (day)	87	87	87	88	95	95	95	97	121	121	121	122
	درجه روز-رشد تا ۵۰ درصد گلدهی Growing degree days to 50% flowering	1298	1298	1298	1316	1197	1197	1197	1232	1294	1294	1294	1300
	درجه روزرشد تا مرحله رسیدگی Growing degree days to maturity	1844	1844	1844	1862	1817	1817	1817	1856	2072	2072	2072	2091
2017	روز خزانه گیری Seeding in the nursery	March, 25	March, 25	March, 25	March, 25	April, 15	April, 15	April, 15	April, 15	May, 6	May, 6	May, 6	May, 6
	تاریخ کاشت Date of planting	April, 21	April, 21	April, 21	April, 21	May, 11	May, 11	May, 11	May, 11	May, 31	May, 31	May, 31	May, 31
	روز تا ۵۰ درصد گلدهی Day to 50% flowering	56	57	57	61	57	58	58	61	73	73	73	76
	طول دوره رشد(روز) Growth period (day)	81	81	81	86	90	91	91	94	111	111	111	114
	درجه روز-رشد تا ۵۰ درصد گلدهی Growing degree days to 50% flowering	1265	1283	1283	1359	1111	1130	1130	1183	1174	1174	1174	1230
	درجه روزرشد تا مرحله رسیدگی Growing degree days to maturity	1736	1736	1736	1835	1698	1716	1716	1771	1853	1853	1853	1908

*D3,D2,D1: به ترتیب تاریخ کاشت یک اردیبهشت، ۲۰ اردیبهشت و ۱۰ خرداد؛ I4,I3,I2,I1: به ترتیب آبیاری غرقاب، دوره آبیاری ۵، ۱۰ و ۱۵ روزه.

D1, D2 and D3: planting date of April 21st, May, 11th and May, 31st; I1, I2, I3 and I4: full flooding, 5, 10 and 15-days irrigation intervals.

بر اساس جدول (۲) خاک محل آزمایش (۵ درصد شن، ۴۶ درصد رس، ۵۴ درصد سیلت و بافت رس‌سیلتی) برای کاشت برنج مناسب می‌باشد. همچنین، جدول (۳) اطلاعات هواشناسی محل انجام طرح را نشان می‌دهد. کود اوره به میزان ۶۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت پایه و به مقدار ۶۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت سرک یک ماه بعد از مرحله پایه (در مرحله حداکثر پنجه‌زنی) نیز مصرف شد. کود پتاسیم اکسید (K_2O) به میزان ۷۰ کیلوگرم در هکتار و فسفر پنتااکسید (P_2O_5) به میزان ۲۵ کیلوگرم در هکتار استفاده گردید. پس از رسیدگی و برداشت، خوشه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در داخل آون برای خشک‌شدن قرار گرفتند و وزن ماده خشک اندازه‌گیری شد. عملکرد شلتوک و ماده خشک به‌ترتیب با برداشت پنج و یک مترمربع از هر کرت و پس از حذف حاشیه، بر اساس استانداردهای زراعی اندازه‌گیری و داده‌ها بر اساس فرمول‌های آماری آزمایش کرت‌های خرد شده با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده از نرم‌افزارهای SAS آنالیز شدند. تجزیه واریانس ساده صفات در هر سال انجام گرفت. سپس برای اطلاع از وضعیت عملکرد تیمارها، سال‌ها و بررسی اثرات متقابل، تجزیه واریانس مرکب و آزمون بارتلت بر مبنای موازین آماری طرح کرت‌های خرد شده انجام گرفت. مقایسه میانگین نیز بر اساس آزمون کم‌ترین اختلاف معنی‌دار (LSD) انجام پذیرفت.

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری).

Table 2- Physical and chemical Characteristics of Soil Layers of Experiment Farm (0-30 cm depth).

بافت خاک Soil texture	جرم مخصوص ظاهری ($g.cm^{-1}$)	رس(%)	سیلت(%)	شن(%)	فسفر قابل جذب P($mg.kg^{-1}$)	هدایت هیدرولیکی اشباع Ks(cmd^{-1})	شوری EC($dS.m^{-1}$)	اسیدیته گل اشباع pH	کربن آلی O.C(%)	گنجایش تبادل کاتیونی CEC (meq/100g)	نیتروژن کل N ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب K($mg.kg^{-1}$)	عمق(cm)
رس سیلتی Silty clay	1.1	46	54	5	10.6	0.21	0.71	7.34	1.36	35	0.13	311	15

جدول ۳- اطلاعات هواشناسی سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ محل انجام طرح.

Table 3- Meteorological information from year 2016 and 2017 at the site of the project.

سال Year	ماه Month	بارش (میلی‌متر) rainfall (mm)	فشار هوh (کیلوپاسکال) vapor ressure (kPa)	تشعشع کل (کیلوژول بر متر مربع در روز) Radiation ($KJ\ m^{-2}\ d^{-1}$)	سرعت باد (متر بر ثانیه) Wind speed ($m\ s^{-1}$)	دمای بیشینه (درجه سانتی‌گراد) Maximum temperature (°C)	دمای کمینه (درجه سانتی‌گراد) Minimum temperature (°C)
2016	April	127.4	1.20	343778	1.54	18.80	9.67
	May	26.5	1.84	428218	1.77	24.66	14.92
	June	48.3	2.27	595321	1.59	28.75	18.44
	March	144.8	2.63	609381	1.47	31.28	20.98
	August	51.2	2.73	592162	1.34	33.09	21.43
	September	164.7	2.59	459063	1.29	31.42	20.12
2017	April	89.4	1.25	383139	2.41	17.96	8.75
	May	27.1	1.81	481220	2.00	23.91	14.34
	June	9.0	2.28	610828	1.82	28.27	18.88
	March	14.7	2.59	607252	1.59	31.08	20.68
	August	0	2.70	672293	1.61	32.85	22.14
	September	60.5	2.76	527633	1.62	32.20	21.31

*آمار دما، سرعت باد، تابش و فشار هوا بر اساس میانگین ماهانه در شش ماه اول سال و بارش بر اساس مجموع بارش در هر ماه ذکر گردیده است.

*The temperature, wind speed, irradiance and air pressure are based on the monthly average in the first six months of the year and precipitation based on the total rainfall in each month.

بهره‌وری آب آبیاری و بهره‌وری آب کل مبتنی بر عملکرد و زیست‌توده نیز در فواصل زمانی معین با استفاده از روابط ۲ الی ۵ تعیین شدند (۳۰ و ۵).

رابطه ۲: آبیاری/ عملکرد شلتوک=بهره‌وری آبیاری مبتنی بر عملکرد شلتوک (کیلوگرم بر متر مکعب در هکتار)

رابطه ۳: آبیاری+بارندگی/ عملکرد شلتوک=بهره‌وری آبیاری مبتنی بر عملکرد شلتوک (کیلوگرم بر متر مکعب در هکتار)

رابطه ۴: آبیاری/ زیست‌توده=بهره‌وری آبیاری مبتنی بر عملکرد زیست‌توده (کیلوگرم بر متر مکعب در هکتار)

رابطه ۵: آبیاری+بارندگی / زیست‌توده = بهره‌وری آبیاری مبتنی بر عملکرد زیست‌توده (کیلوگرم بر متر مکعب در هکتار)

نتایج و بحث

پس از انجام آزمون یکنواختی اشتباه آزمایشی آزمون بارتلت و اطمینان از یکنواخت بودن اشتباهات آزمایشی در سال‌های مختلف، تجزیه مرکب داده‌ها انجام شد (جدول ۴). نتایج تجزیه واریانس مرکب (جدول ۴) در دو سال آزمایش نشان داد که اثرات تیمار آبیاری بر عملکرد شلتوک، زیست‌توده، بهره‌وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر زیست‌توده، بهره‌وری آب آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب آبیاری مبتنی بر زیست‌توده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بنابراین افزایش بهره‌وری آب هم با بهبود عملیات زراعی و هم با بهبود مدیریت صحیح آبیاری قابل حصول است. مقایسه میانگین مرکب صفات اندازه‌گیری شده در تیمارهای مختلف طی دو سال آزمایش نشان داد که بیش‌ترین میزان عملکرد در تیمار آبیاری مربوط به حالت غرقاب به میزان ۴۲۷۱ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین آن مربوط به شرایط آبیاری با دور ۱۰ و ۱۵ روز در کل دوره رشد به میزان ۳۱۹۶ و ۳۲۶۴ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۵). بیش‌ترین میزان زیست‌توده در تیمار آبیاری به حالت غرقاب (۱۰۹۶۰ کیلوگرم) و کم‌ترین آن به شرایط آبیاری با دور ۱۰ و ۱۵ روز در کل دوره رشد (به‌ترتیب ۹۴۵۶ و ۹۲۷۸ کیلوگرم) تعلق داشت (جدول ۵). نتایج نشان داد کاهش رطوبت در منطقه رشد ریشه روی تولید زیست‌توده و شلتوک برنج اثر منفی گذاشت (جدول ۵) و عملکرد شلتوک و زیست‌توده با طولانی‌شدن دوره آبیاری دارای روند کاهشی (۳۵ و ۱۵ درصد کاهش به ترتیب عملکرد شلتوک و زیست‌توده) بود (شکل ۲). با توجه به نقش عمده‌ای که آب در تشکیل بافت گیاهی، تبادل مواد در داخل گیاه، تعرق، فتوسنتز و خنک‌کردن گیاه دارد، طبیعتاً کمبود آب تولید ماده خشک و دانه را با مشکل مواجه می‌کند (۲۵). گیاه برنج تحت تأثیر خشکی واکنش‌هایی مثل لوله‌ای شدن برگ، عقیم‌شدن گل، کاهش توسعه برگ، تغییر اختصاص ماده خشک، افزایش عمق ریشه‌دهی، تأخیر در دوره توسعه رشد رویشی، افزایش پیری برگ و کاهش میزان فتوسنتز را نشان می‌دهد (۲۸، ۲۹).

با توجه به نتایج (جدول ۷) بیش‌ترین مقدار عملکرد شلتوک در تاریخ کاشت ۲۰ اردیبهشت در سال اول (۳۹۱۷ کیلوگرم در هکتار)، و یک و ۲۰ اردیبهشت (به ترتیب ۴۱۶۷ و ۳۸۲۵ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد. به نظر می‌رسد که کمبود تابش (جدول ۳) و در نتیجه کاهش سطح برگ (نتایج گزارش نشده)، سبب کاهش عملکرد دانه در تاریخ کاشت یک اردیبهشت در سال اول شد که با نتایج کلارینگ و کرامبین (۲۰۱۳) مطابقت داشت. بیش‌ترین میانگین عملکرد زیست‌توده در تاریخ کاشت یک و ۲۰ اردیبهشت در هکتار به دست آمد (جدول ۷). نتایج نشان داد در تاریخ کاشت ۱۰ خرداد (شکل ۲) افزایش دما و کوتاه‌شدن دوره رشد برنج از عوامل تأثیرگذار کاهش عملکرد زیستی باشند (جداول ۱ و ۳). گیاهان سه کربنی مانند برنج در شرایط عدم

آبیاری به سرد کردن برگ‌های خود از طریق تعرق وابسته می‌باشند. در چنین شرایطی، خشکی خاک سبب می‌شود که گیاه علاوه بر دمای محیط به دلیل عدم توانایی تعرق، تنش گرمایی مضاعفی را تحمل کند که سبب آسیب به گیاه می‌شود (۲۵). نتایج نشان داد که با توجه به حساس‌بودن این رقم برنج به تنش گرمایی (جدول ۳) و همچنین، کوتاه‌شدن دوره رشد در تاریخ کاشت ۱۰ خرداد (جدول ۱) سبب کاهش عملکرد شلتوک در تاریخ کاشت ۱۰ خرداد شد (جدول۵). برای اکثر گیاهان زراعی به‌خصوص آن‌هایی که مانند برنج (دارای پریکارپ ثابت) محدودیت فیزیکی برای رشد دانه دارند، ظرفیت عملکرد عمدتاً توسط تعداد دانه در واحد سطح و طول دوره پر شدن دانه تعیین می‌شود و تنش گرمایی و کمبود آب طول دوره پر شدن دانه و اندازه بذر را کاهش می‌دهد (۱۷).

طبق نتایج، بیش‌ترین بهره‌وری آب آبیاری مبتنی بر عملکرد شلتوک و عملکرد زیستی در تاریخ کاشت یک اردیبهشت در سال اول (به‌ترتیب ۰/۷۴ و ۲/۰۱ کیلوگرم بر متر مکعب) و سال دوم (به ترتیب ۰/۹۷ و ۲/۸۴ کیلوگرم بر متر مکعب) به دست آمد (جدول ۷). همچنین، در سال اول بیش‌ترین بهره‌وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر عملکرد زیستی در تاریخ کاشت یک اردیبهشت (به ترتیب ۱/۷۷ و ۱/۶۸ کیلوگرم بر متر مکعب) به دست آمد (جدول ۷). بهره‌وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر عملکرد شلتوک بین تاریخ‌های کاشت تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۶). به نظر می‌رسد از دلایل کاهش بهره‌وری تولید زیست‌توده با کاشت در ۲۰ اردیبهشت و ۱۰ خرداد نسبت به کاشت در یک اردیبهشت (شکل ۲)، برخورد مراحل حساس گیاه به کمبود آب شدید در این تاریخ کاشت باشد (جدول ۷) که با نتایج سلطانی و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد (۲۱). نتایج نشان داد برای این رقم برنج، حد محدودی از بهره‌وری قابل دسترس است (شکل ۲) و با کاهش بیشتر مصرف آب تغییری در بهره‌وری مشاهده نخواهد شد (جدول ۵). به نظر می‌رسد در شرایط کم‌آبیاری، ریشه گیاه برنج از آب خاک به شکل مؤثرتری استفاده می‌نماید (جدول ۵). دسترسی مؤثر گیاه برنج به آب سبب افزایش بهره‌وری آب در تولید دانه می‌شود. از این‌رو، باید از روش‌های دقیق‌تر آبیاری جهت به حداقل رساندن هدر رفت آب استفاده نمود (۱۹). واشیشت و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی اثر تاریخ کاشت برنج، تغییرات دوره فنولوژی و تغییرات تبخیر- تعرق را از عوامل مؤثر در تغییر میزان مصرف آب متأثر از تغییر تاریخ کاشت گزارش نمودند (۲۶). جبران و همکاران (۲۰۱۵ ب) گزارش نمودند که نظام‌های تولید برنج بر پایه ذخیره آب شامل کاشت هوازی و کاشت غرقاب با آبیاری تناوبی سبب حفظ ۲۷-۱۸ درصدی آب و بهبود بهره‌وری آب نسبت به کاشت رایج غرقاب می‌باشند (۱۴). کهال و همکاران (۲۰۰۷) در بررسی تأثیر تاریخ کاشت بر بهره‌وری گزارش نمودند انتخاب تاریخ کاشت مطلوب سبب کاهش ۱۹۲ میلی‌متر تبخیر- تعرق و صرفه‌جویی ۵۹۰ میلی‌متری آبیاری نسبت به سایر تاریخ‌های کاشت شد (۹).

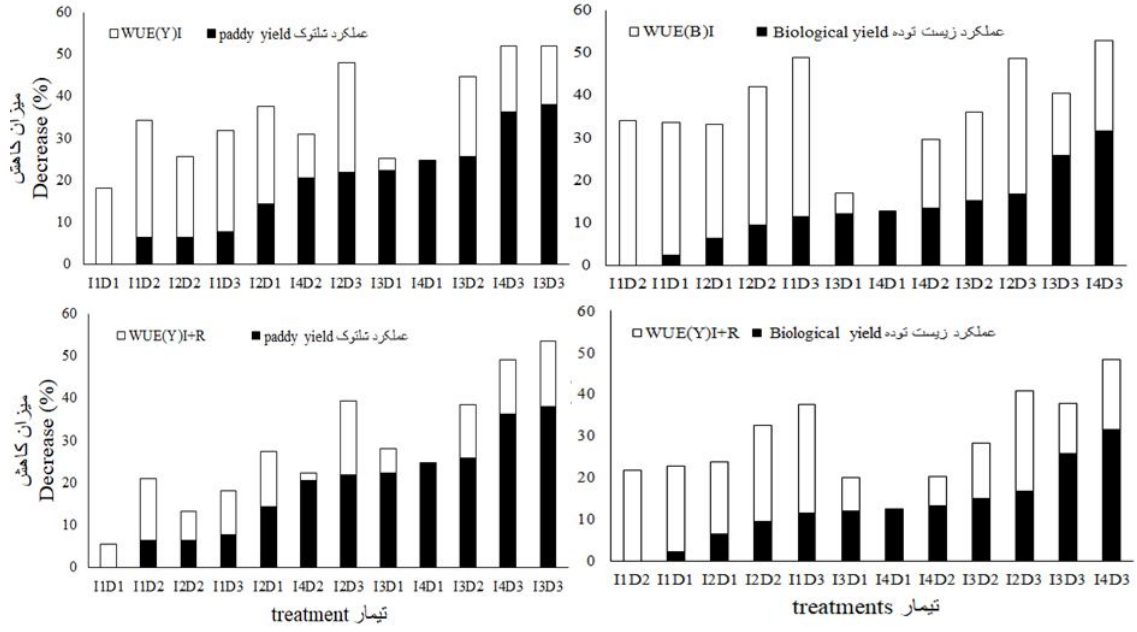
بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر سال بر صفات عملکرد و زیست‌توده معنی‌دار نشد (جدول ۴). اثر سال بر بهره‌وری آب آبیاری مبتنی بر عملکرد، بهره‌وری آب آبیاری مبتنی بر زیست‌توده، بهره‌وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر عملکرد، بهره‌وری آب آبیاری + بارش مبتنی بر زیست‌توده معنی‌دار شده است که می‌توان آن را به یکنواخت نبودن شرایط طی سال‌های آزمایش نسبت داد (جدول ۴). با توجه به پرباران بودن سال اول (۵۶۳ میلی‌متر بارش در شش ماه اول سال) نسبت به سال دوم (۲۰۱ میلی‌متر بارش در شش ماه اول سال) و با توجه به استفاده از آبیاری کم‌تر در سال اول (میانگین ۴۱۶ میلی‌متر) نسبت به

سال دوم (میانگین ۵۱۹ میلی‌متر) کارایی آبیاری در سال اول برای تولید عملکرد شلتوک (۰/۹۰ کیلوگرم بر متر مکعب) و زیست‌توده (۲/۵۱ کیلوگرم بر متر مکعب) نسبت به سال دوم بالاتر بود (جدول ۵). در حالی که در سال دوم بهره‌وری آبیاری + بارش مبتنی بر عملکرد (۰/۶۵ کیلوگرم بر متر مکعب) و زیست‌توده (۱/۸۲ کیلوگرم بر مترمکعب) نسبت به سال اول بیشتر بوده است (جدول ۵). نتایج نشان داد که بارش بیش‌تر (جدول ۳) در سال اول سبب هدرروی آب از خاک و کاهش بهره‌وری تولید شد. گیرتس و رایس (۲۰۰۹) بیان نمودند که افزودن آب بیش از نیاز تبخیر- تعرق گیاه در شرایط بدون تنش آبی، علاوه بر این‌که سبب افزایش عملکرد شلتوک نشده، بلکه سبب هدر رفت آب از راه تبخیر از سطح خاک یا نفوذ عمقی، بدون تولید، می‌شود و حتی ممکن است وجود آب زیاد به دلیل تنش غرقاب یا آبشویی عناصر غذایی سبب کاهش عملکرد شود (۱۲). طبق نتایج مندرج در جدول ۶ در سال اول با تغییر کاشت، شاخص‌های بهره‌وری آبیاری مبتنی بر زیست‌توده و بهره‌وری آبیاری مبتنی عملکرد شلتوک و آبیاری + بارش مبتنی بر زیست‌توده در تاریخ کاشت یک اردیبهشت بیش‌ترین مقدار را داشت، درحالی‌که در سال دوم، بین شاخص‌های بهره‌وری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۷).

نتایج نشان داد بارش بیش‌تر در سال اول (جدول ۳) سبب شده تا بین تاریخ‌های کاشت از نظر بهره‌وری آبیاری مبتنی بر زیست‌توده و بهره‌وری آبیاری مبتنی عملکرد شلتوک تفاوت معنی‌داری مشاهده شود و در این مورد، بارش در مراحل رشدی مختلف نسبت به تاریخ کاشت از تأثیرگذاری بیشتری برخوردار بود. آرامسینگها و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی گزارش نمودند که جهت افزایش بهره‌وری و دست‌یابی به حداکثر پتانسیل قابل دسترس از منابع طبیعی، انتخاب تاریخ کاشت باید بر اساس پیش‌بینی زمان شروع بارش باشد (۳). بررسی تیمارهای آبیاری نشان داد که در سال اول، بیش‌ترین بهره‌وری آبیاری و آبیاری + بارش مبتنی بر عملکرد و بهره‌وری آبیاری مبتنی بر زیست‌توده در سطوح کم‌آبیاری شدیدتر شامل دور آبیاری ۱۰ و ۱۵ روزه مشاهده شد. درحالی‌که در سال دوم تیمارهای غرقاب و دور آبیاری ۵ روزه از نظر بهره‌وری آبیاری و آبیاری + بارش مبتنی بر عملکرد از وضعیت بهتری برخوردار بودند (جدول ۶). نتایج نشان داد بارش کم‌تر در سال دوم سبب شده است تا تیمار غرقاب از نظر بهره‌وری آبیاری + بارش مبتنی بر عملکرد شلتوک کارایی بهتری داشته باشند (جدول ۳). به‌طور کلی، آبیاری کم‌آبیاری ضمن کاهش میزان مصرف آب، سبب افزایش بهره‌وری تولید شلتوک و زیست‌توده می‌شود (شکل ۲)، اما در هر صورت با افزایش میزان مصرف آب و بهبود شرایط گیاه از نظر دسترسی به آب، عملکرد شلتوک و زیست‌توده افزایش یافت (شکل ۲). تیمار دور آبیاری ۵ روزه با کاهش ۱۰ درصد عملکرد شلتوک و صرفه‌جویی ۱۰ درصد میزان آبیاری نسبت به شرایط غرقاب دائم، به‌عنوان بهترین گزینه مدیریت آبیاری در شرایط کمبود آب جهت آبیاری تعیین گردید (شکل ۲). سریفوم و همکاران (۲۰۱۸) گزارش نمودند که نظام تناوب خشکی و رطوبت در فصل با بارش کم سبب بهبود بهره‌وری آب شد، در حالی‌که در فصل مرطوب تفاوت مصرف آب معنی‌دار نبود (۲۳). تونگ و بومن (۲۰۰۱) گزارش نمودند که کمبود آب در برنج سبب واکنش‌هایی نظیر کاهش سطح برگ و در نتیجه کاهش جذب نور و کاهش فتوسنتز، تخصیص بیش‌تر فراورده‌های گیاه به رشد ریشه در مرحله رشد رویشی و در نتیجه استفاده مطلوب‌تر از میزان آب موجود در خاک می‌شود. علت کاهش بهره‌وری در تیمار غرقاب می‌تواند تولید بیشتر شلتوک به ازای میزان آب مصرفی در تیمارهای کم آبیاری باشد (جدول ۵). بومن و تونگ (۲۰۰۱) در

مرور مطالعات بهره‌وری آب مشاهده نمودند که در بیش‌تر بررسی‌ها در تیمارهای کم‌آبیاری، کاهش عملکرد شلتوک نسبت به کاهش مصرف آب کم‌تر بوده و در نتیجه سبب افزایش بهره‌وری تولید نسبت به تیمار غرقاب دائم شده است (۵). سریوانسلو و همکاران (۲۰۱۸) مشاهده نمودند که غرقاب تا عمق سه سانتی‌متر تا مرحله آغازش سنبله و ادامه غرقاب با عمق پنج سانتی‌متر سبب افزایش عملکرد و بهره‌وری آب مبتنی بر عملکرد شلتوک می‌شود (۲۲). تاکور و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی روش‌های افزایش کارایی مصرف آب در کاشت برنج، مشاهده نمودند که در نظام نشایی متداول با آبیاری در یک روز پس از محو شدن آب از سطح خاک عملکرد شلتوک برابر ۴/۳۵ تن در هکتار و بهره‌وری ۳/۷۳ کیلوگرم در هکتار به ازای هر میلی‌متر مصرف آب بوده که بهره‌وری بیش‌تری نسبت به آبیاری در ۳، ۵ و ۷ روز پس از محو شدن آب از سطح خاک را داشته است (۲۴). جبران و همکاران (۲۰۱۵ الف) در مقایسه آبیاری تناوبی و غرقاب نشایی و کاشت مستقیم، مشاهده نمودند که بهره‌وری آب در کاشت مستقیم و آبیاری تناوبی بیش از آبیاری غرقاب بوده است (۱۳).

با بررسی میزان مصرف آب و اثر تلفیق عامل آبیاری با تاریخ کاشت بر میزان کاهش عملکرد شلتوک و زیست‌توده و بهره‌وری آب و مشاهده شد که کاربرد تیمار پنج در تاریخ کاشت یک اردیبهشت بیش‌ترین عملکرد (۴۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) را با لحاظ نمودن کم‌ترین کاهش بهره‌وری آب داشته است (شکل ۲).



شکل ۲- میانگین کاهش بهره‌وری آب، عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده نسبت بالاترین مقادیر بدست آمده در ترکیب تیمارهای آبیاری و تاریخ کاشت در برنج (رقم هاشمی). D3,D2,D1: به ترتیب تاریخ کاشت یک اردیبهشت، ۲۰ اردیبهشت و ۱۰ خرداد؛ I4,I3,I2,I1: به ترتیب آبیاری غرقاب، دوره آبیاری ۵، ۱۰ و ۱۵ روزه؛ *WP (Y)I: بهره‌وری آب آبیاری مبتنی عملکرد شلتوک، WP (B)I: بهره‌وری آب آبیاری مبتنی عملکرد زیستی، WP (Y)I+R: بهره‌وری آب کل مبتنی عملکرد شلتوک، WP (Y)I+R: بهره‌وری آب کل مبتنی عملکرد زیستی.

Figure 2: The average amount of reduction in water productivity and paddy and biomass yield in relation to the maximum values in combined compositions of planting date and irrigation intervals in rice (Hashemi cultivar). D1, D2 and D3: planting date of April 21st, May, 11th and May, 31st; I1, I2, I3 and I4: full flooding, 5, 10 and 15 days irrigation intervals; WP (Y)I: Irrigation productivity based on paddy yield; WP (B)I : Irrigation productivity based on biological yield; WP (Y)I+R: Total water productivity based on paddy yield WP (Y)I+R: Total water productivity based on biological yield.

جدول ٤- تجزیه واریانس تاثیر آبیاری و تاریخ کاشت بر عملکرد شلتوک، زیست‌توده و بهره‌وری آب برنج رقم هاشمی.

Table 4- Variance analysis of effect of irrigation and planting date on paddy and biomass yield and water productivity of rice (Hashemi cultivar).

منابع تغییر S.O.V	df	MS					
		$WP(B)_{I+R}$ (kg/m^3)	$WP(B)_I$ (kg/m^3)	$WP(Y)_{I+R}$ (kg/m^3)	$WP(Y)_I$ (kg/m^3)	عملکرد زیستی Biological yield (kg/ha)	عملکرد شلتوک Paddy yield(kg/ha)
سال year	1	1.23**	5.9**	0.143**	0.806**	2940.6ns	52808.6ns
سال*تکرار Block*year	4	0.02ns	0.03ns	0.001ns	0.002ns	1304133.7ns	268280.1ns
آبیاری irrigation	3	0.4**	1.89**	0.009ns	0.094**	10885263.4**	4345527.7**
سال*آبیاری Year*irrigation	3	0.07ns	0.51**	0.032**	0.16**	610361.7*	706875.6ns
خطای آبیاری Irrigation error	12	0.06*	0.14*	0.003ns	0.003ns	2114640.6ns	82279.8ns
تاریخ کاشت Plating date	2	0.16**	0.72**	0.017ns	0.053**	16910370.6**	2156589.6**
تاریخ کاشت*آبیاری Planting date*irrigation	6	0.02ns	0.11ns	0.005ns	0.013ns	622691.2ns	205981.6ns
سال*تاریخ کاشت Year*planting date	2	0.09*	0.43**	0.012ns	0.042*	7873765.1**	2363100.2**
سال*آبیاری*تاریخ کاشت Year*irrigation*planting date	6	0.02ns	0.11ns	0.005ns	0.011ns	1534903.1ns	476116.03ns
خطا Error	32	0.027	0.0059	0.0059	0.009	1253163.7	240022.3
ضریب تغییرات C.V (%)	--	9.8	11	12.7	11.8	11.2	13.3

*$WP(Y)_I$: بهره‌وری آب آبیاری مبتنی عملکرد شلتوک، $WP(B)_I$: بهره‌وری آب آبیاری مبتنی عملکرد زیستی، $WP(Y)_{I+R}$: بهره‌وری آب کل مبتنی عملکرد شلتوک، $WP(Y)_{I+R}$: بهره‌وری آب کل مبتنی عملکرد زیستی.

$WP(Y)_I$: Irrigation productivity based on paddy yield; $WP(B)_I$: Irrigation productivity based on biological yield; $WP(Y)_{I+R}$: Total water productivity based on paddy yield $WP(Y)_{I+R}$: Total water productivity based on biological yield.

جدول ٦- تجزیه واریانس تاثیر آبیاری و تاریخ کاشت بر بهره‌وری آب برنج رقم هاشمی در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹٦.

Table 6- Variance analysis of effect of irrigation and planting date on water productivity of rice cv. Hashemi.

منبع تغییرات Source of variation	MS							
	$WP(B)_{I+R}$ (kg/m^3)		$WP(B)_I$ (kg/m^3)		$WP(Y)_{I+R}$ (kg/m^3)		$WP(Y)_I$ (kg/m^3)	
سال year	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016
بلوک Block	0.031ns	.00647ns	0.037ns	0.02368ns	0.002ns	0.0001ns	0.002ns	0.00075ns
آبیاری Irrigation	0.202**	0.19329**	0.301**	0.02039**	0.026ns	0.01921**	0.028ns	0.23099**
بلوک*آبیاری Block*irrigation	0.056ns	0.07027ns	0.063ns	0.21094ns	0.005ns	0.00049ns	0.006ns	0.00134ns
تاریخ کاشت Planting date	0.01ns	0.1956**	0.034ns	0.00846**	0.01ns	0.00467ns	0.021ns	0.05355**
آبیاری*تاریخ کاشت Irrigation*planting date	0.05ns	0.012ns	0.07ns	0.16592ns	0.011ns	0.00238ns	0.012ns	0.01493ns
خطا Error	0.024	0.0311	0.027	0.0911	0.0096	0.0023209	0.0111	0.00691
ضریب تغییرات (٪) C.V (%)	8.5	11.3	8.4	12	14.8	8.5	15	9.1

*$WP(Y)_I$: بهره‌وری آب آبیاری مبتنی عملکرد شلتوک، $WP(B)_I$: بهره‌وری آب آبیاری مبتنی عملکرد زیستی، $WP(Y)_{I+R}$: بهره‌وری آب کل مبتنی عملکرد شلتوک، $WP(Y)_{I+R}$: بهره‌وری آب کل مبتنی عملکرد زیستی.

$WP(Y)_I$: Irrigation productivity based on paddy yield; $WP(B)_I$: Irrigation productivity based on biological yield; $WP(Y)_{I+R}$: Total water productivity based on paddy yield $WP(Y)_{I+R}$: Total water productivity based on biological yield.

جدول ۷- مقایسه میانگین تاثیر آبیاری و تاریخ کاشت بر عملکرد دانه و زیست‌توده و بهره‌وری آب برنج رقم هاشمی در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶.

Table 7- Means comparison of water productivity and paddy and biomass yield of rice (Hashemi cultivar) at different irrigation levels and planting dates in 2016 and 2017 years.

	$WP(B)_{I+R}$ (kg/m^3)		$WP(B)_I$ (kg/m^3)		$WP(Y)_{I+R}$ (kg/m^3)		$WP(Y)_I$ (kg/m^3)		عملکرد شلتوک paddy yield(kg/ha)		عملکرد زیستی Biological yield(kg/ha)	
	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
آبیاری Irrigation												
I1	1.38a	1.71b	1.98	1.81b	0.52b	0.69a	0.75c	0.72a	4050a	4497a	10704a	11217a
I2	1.49a	1.74b	2.26b	1.85b	0.52b	0.69a	0.79b	0.73a	3673b	4016b	10418a	10113ab
I3	1.68a	1.86ab	2.39a	1.99ab	0.60a	0.58b	1.05a	0.62b	3408c	3150c	9423a	9490b
I4	1.67a	2.04a	2.91a	2.21a	0.60a	0.69a	1.04a	0.74a	3406c	3091c	9400a	9156b
تاریخ کاشت Planting date												
D1	1.7a	1.84a	2.84a	2.01a	0.58a	0.68a	0.97a	0.74a	3425b	4167a	9890ab	11217a
D2	1.47b	1.87a	2.28b	1.98a	0.55a	0.68a	0.84b	0.72a	3917a	3825a	10656a	10137b
D3	1.48b	1.81a	2.43b	1.91a	0.56a	0.63a	0.92a	0.66a	3562b	3074b	9413b	8643c

میانگین‌های با حروف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد ندارند.

D1 D2, D3: بترتیب تاریخ کاشت یک اردیبهشت، ۲۰ اردیبهشت و ۱۰ خرداد; I4,I3,I2,I1: بترتیب آبیاری غرقاب، دوره آبیاری ۵، ۱۰ و ۱۵ روزه. $WP(Y)_I$: بهره‌وری آب آبیاری مبتنی عملکرد شلتوک، $WP(B)_I$: بهره‌وری آب آبیاری مبتنی عملکرد زیستی، $WP(Y)_{I+R}$: بهره‌وری آب کل مبتنی عملکرد شلتوک، $WP(Y)_{I+R}$: بهره‌وری آب کل مبتنی عملکرد زیستی.

The means of the common alphabets do not have a significant difference at 1%.

D1, D2 and D3: planting date of April 21st, May, 11th and May, 31st; I1, I2, I3 and I4: full flooding, 5, 10 and 15 days irrigation intervals.

$WP(Y)_I$: Irrigation productivity based on paddy yield; $WP(B)_I$: Irrigation productivity based on biological yield; $WP(Y)_{I+R}$: Total water productivity based on paddy yield $WP(Y)_{I+R}$: Total water productivity based on biological yield.

نتیجه‌گیری کلی

اگر ما معتقدیم به ازای هر قطره آب باید تولید افزایش یابد، باید مدیریت زراعی را به گونه‌ای تغییر دهیم که سببصرفه‌جویی آب در طول فصل رشد گردد. تنظیم مصرف آب از هر دو طریق مصرف کم‌تر آب و کاهش هدرروی آب می‌تواند سبب سوق دادن سیستم های تولید برنج به بهره‌وری بیشتر آب برای تولید پایدار برنج شود. انتخاب فواصل مناسب آبیاری در ترکیب با تاریخ کاشت مطلوب می‌تواند سبب افزاش بهره‌وری آب در تولید برنج شود که هدف اصلی این مطالعه بوده است. بررسی دوره‌های آبیاری نشان داد که کم‌آبیاری ضمن کاهش میزان مصرف آب، سبب افزایش بهره‌وری تولید شلتوک و زیست‌توده می‌شود، اما در هر صورت با افزایش میزان مصرف آب و بهبود شرایط گیاه از نظر دسترسی به آب، عملکرد شلتوک و زیست‌توده افزایش می‌یابد. بیش‌ترین مقادیر بهره‌وری مصرف آب در تیمارهای دور آبیاری ۱۰ و ۱۵ روزه به دست آمد؛ اما با توجه به کاهش شدید عملکرد نسبت به آبیاری غرقابی (با میانگین ۲۴ درصد کاهش عملکرد شلتوک و ۱۴ درصد کاهش عملکرد زیست‌توده) گزینه‌های مطلوبی نبودند. با در نظر گرفتن میزان عملکرد شلتوک و زیست‌توده و بهره‌وری آب و میزان مصرف آب، تیمار آبیاری پنج روزه در تاریخ کاشت یک اردیبهشت بهترین عملکرد شلتوک و زیست‌توده را داشته است. این تیمار با نه درصد کاهش مصرف آب و شش درصد کاهش عملکرد شلتوک، بهترین تیمار از نظر بهره‌وری و تولید برنج بوده است. بنابراین، می‌توان با استفاده از دور آبیاری پنج‌روزه در منطقه مورد مطالعه، با انتخاب تاریخ کاشت مناسب می‌توان میزان بهره‌وری مصرف آب را افزایش داد.

منابع

1.Agricultural Statistics. 2017. Volume I: Crop products. 2015-16. Office of Statistics and Information Technology, Deputy Director of Planning and Economic Affairs. Ministry of Agricultural Jihad. 90 p. (In Persian)

2.Ali, M.A., Ali, M., Sattar, M., and Ali, L. 2010. Sowing date effect on yield of different wheat varieties. J. Agric. Res. 48: 2. 157-162.

3.Amarasingha, R.P.R.K., Galagedara, L.W., Marambe, B., Silva, G.L.L.P., Punyawardena, R., Nidumolu, U., Howden, M., and Suriyagoda, L.D.B. 2014. Aligning sowing dates with the onset of rains to improve rice yields and water productivity: modelling rice (*Oryza sativa* L.) yield of the Maha season in the dry zone of Sri Lanka. Trop. Agric. Res. 25: 3. 277-286.

4.Aziz, O., Hussain, S., Rizwan, M., Riaz, M., Bashir, S., Lin, L., Mehmood, S., Imran, M., Yaseen, R., and Lu, G. 2018. Increasing water productivity, nitrogen economy, and grain yield of rice by water saving irrigation and fertilizer-N management. Environ. Sci. Pollut. R. 25: 17. 16601-16615.

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

6.Brar, S.K., Mahal, S.S., Brar, A.S., Vashist, K.K., Sharma, N., and Buttar, G.S. 2012. Transplanting time and seedling age affect water productivity, rice yield and quality in north-west India. Agric. Water. Manag. 115. 217-222.

7.Carracelas, G., Marchesi, C., and Lavecchia, A. 2015. Water productivity, Irrigation management and Systematization for Rice Farming Systems in Uruguay. In Proceedings of the 5th International Symposium for Farming Systems Design (Pp. 53-54). European Society for Agronomy Montpellier.

8.Carrijo, D.R., Lundy, M.E., and Linquist, B.A. 2017. Rice yields and water use under alternate wetting and drying irrigation: A meta-analysis. Field Crops Res. 203: 173-180.

9.Chahal, G.B.S., Sood, A., Jalota, S.K., Choudhury, B.U., and Sharma, P.K. 2007. Yield, evapotranspiration and water productivity of rice (*Oryza sativa* L.)–wheat (*Triticum aestivum* L.) system in Punjab (India) as influenced by transplanting date of rice and weather parameters. Agric. Water. Manag. 88: 1-3. 14-22.

10.Ebrahimi Rad, H., Babazadeh, H., Amiri, E., and Sedghi, H. 2017. Effect of Irrigation Management and Planting Density on Yield and Water Productivity of Rice (Hashemi Cultivar). Water Res. Agric. 31: 4. 625-636. (In Persian)

11.FAO. 2016. Food and Agricultural Organization of the United Nations (sited in: http://www,fao.org/index_en.htm/, 11/4/2018.

12.Geerts, S., and Raes, D. 2009. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. Agric. Water. Manag. 96: 9. 1275-1284.

13.Jabran, K., Ullah, E., Hussain, M., Farooq, M., Haider, N., and Chauhan, B. S. 2015a. Water saving, water productivity and yield outputs of fine-grain rice cultivars under conventional and water-saving rice production systems. Exp. Agri. 51: 4. 567-581.

14.Jabran, K., Ullah, E., Hussain, M., Farooq, M., Zaman, U., Yaseen, M., and Chauhan, B. S. 2015b. Mulching improves water productivity, yield and quality of fine rice under water□saving rice production systems. J. Agro. Crop Sci. 201:5. 389-400.

15.Klaring, H.P., and Krumbein, A. 2013. The effect of constraining the intensity of solar radiation on the photosynthesis, growth, yield and product quality of tomato. J. Agro. Crop Sci. 199: 5. 351-359.

16.Moradpour, S., Amiri, E, Mobasser. H.R., and Madani, H. 2015. The effects of planting date and plant density on rice in Mazandaran province. New finding in agriculture. 9: 2. 117-127. (In Persian)

17.Pazoki, A.R. Karimi Nejad. M., and Foladi Toroghi, A.R. 2010. Effect of planting dates on yield of ecotypes of

saffron (*Crocus sativus* L.) in Natanz region. Crop Phys. 2: 8. 3-12. (In Persian)

18. Prasad, P.V.V., Staggenborg, S.A., and Ristic, Z. 2008. Impacts of drought and/or heat stress on physiological, developmental, growth, and yield processes of crop plants. Response of crops to limited water: Understanding and modeling water stress effects on plant growth processes. (Responseofcrops). 301-355.
19. Rajwade, Y.A., Swain, D.K., Tiwari, K.N., and Singh Bhadoria, P.B. 2018. Grain Yield, Water Productivity, and Soil Nitrogen Dynamics in Drip Irrigated Rice under Varying Nitrogen Rates. Agron. J. 110: 3. 868-878.
20. Rezaei, M. 2007. Environment protection using irrigation and herbicide management in paddy field. Presented in the 10th national conference on irrigation and drainage. 26-28 Jun. 2007. Tehran. (In Persian)
21. Soltani, M., Liaghat, A.M., and Sotoodehneia. A. 2012. Conjunctive Effect of Planting Date and Time of Supplementary Irrigation on Water Productivity of Lentil in RainfedConditions. Iran. J. Soil Water Res. 43: 3. 243-248. (In Persian)
22. Srinivasulu, P., Ramulu, V., Devi, M.U., and Sreenivas, G. 2018. Influence of Irrigation Regimes and Nitrogen Levels on Growth, Yield and Water Productivity of Rice under Alternate Wetting and Drying (AWD) Method of Water Management. Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci. 7: 4. 3307-3311.
23. Sriphirom, P., Chidthaisong, A., and Towprayoon, S. 2018. Rice Cultivation to Cope with Drought Situation by Alternate Wet and Dry (AWD) Water Management System: Case Study of Ratchaburi Province, Thailand. Chem. Eng. Trans. 63: 139-144.
24. Thakur, A.K., Mohanty, R.K., Patil, D.U., and Kumar, A. 2014. Impact of water management on yield and water productivity with system of rice intensification (SRI) and conventional transplanting system in rice. Paddy Water Environ. 12: 4. 413-424.
25. Taiz, L., and Zeiger, E. 2006. Plant physiology. Sinauer Associates. Sunderland MA. US. 2010. 782 p.
26. Vashisht, B.B., Jalota, S.K., and Vashist, K.K. 2015. Yield, water productivity and economics of rice (*Oryza sativa* L.) as influenced by transplanting dates, varieties and irrigation regimes in central Punjab. Indian. J. Agri. 60: 1. 65-69.
27. Wang, X., Lu, W., Jun Xu, Y., Zhang, G., Qu, W., and Cheng, W. 2016. The positive impacts of irrigation schedules on rice yield and water consumption: synergies in Jilin Province, Northeast China. Int. J. Agr. Sustain. 14: 1. 1-12.
28. Wopereis, M.C.S. Bouman, B.A.M., Tuong, T.P., Ten Berge, H.F.M., and Kropff, M.J. 1996. ORYZA W: rice growth model for irrigated and rain fed environments. SARP Research proceeding. Wageningen. The Netherlands.
29. Wopereis, M.C.S. 1993. Quantifying the impact of soil and climate variability on rainfed rice production. PhD thesis. Wageningen (Netherlands): Wageningen Agricultural University. 188 p.
30. Wright, P.R., Morgan, J.M., and Jessop, R.S. 1996. Comparative adaptation of canola (*Brassica napus*) and Indian mustard (*B. juncea*) to soil water deficits: Plant water relations and growth. Field Crop Res. 49: 1. 51-64.
31. Yazdani, M.R. 2007. Evaluation of different irrigation regime in rice cultivation in Guilan Iran. Proceeding of 11th national conference on irrigation and drainage. 26-28 Jun. Tehran. Iran. (In Persian)
32. Zhang, H., Yu, C., Kong, X., Hou, D., Gu, J., Liu, L., and Yang, J. 2018. Progressive integrative crop managements increase grain yield, nitrogen use efficiency and irrigation water productivity in rice. Field Crop Res. 215: 1-11.
33. Zolfaghari, H., Farhadi, B., and Rahimi. H. 2016. Climatic Potentials in Iran for Soybean Cultivation. J. Geog. Plann. 20: 56. 89-105. (In Persian)