نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص ۶۱۲-۵۹۵

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.4, Winter 2021, p. 595-612

مقاله علمی- پژوهشی

ارزیابی تأثیر مدیریت آبیاری تناوبی بر شاخص‌های فیزیوژیکی رشد و میزان آب مصرفی چهار رقم برنج (*Oryza sativa* L.) در استان گیلان

هورام اصغری لالمی[۱]، سید علیرضا ولدآبادی[۲*]، محمدرضا یزدانی[۳]، حمیدرضا ذاکرین[۲] و مهرزاد الله قلی‌پور[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۰۵

اصغری لالمی، ه.، ولدآبادی، س.ع.، یزدانی، م.، ذاکرین، ح.، و قلی‌پور، م.، ۱۳۹۹. ارزیابی تأثیر مدیریت آبیاری تناوبی بر شاخص‌های فیزیوژیکی رشد و میزان آب مصرفی چهار رقم برنج (*Oryza sativa* L.) در استان گیلان. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۴): ۶۱۲-۵۹۵.

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر آبیاری تناوبی بر سرعت رشد و خصوصیات گیاهی چهار رقم برنج (*Oryza sativa* L.)، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات برنج استان گیلان در دو سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴ به‌صورت آزمایش اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و ۲۰ تیمار به اجرا در آمد. عامل اصلی پنج سطح آبیاری تناوبی (آبیاری روزانه به‌صورت غرقاب (شاهد)، ۵، ۸، ۱۰ و ۱۵ روز یک بار) و چهار رقم برنج هاشمی، خزر، گیلانه و ۸۴۳۱ به‌عنوان عامل فرعی مد نظر قرار گرفتند. نتایج نشان داد که اثر متقابل آبیاری و رقم بر صفات وزن خشک برگ و ساقه، LDW، TDW و NAR در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند. همچنین شاخص سطح برگ و LWR در فاکتور آبیاری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند. در مقایسه سطوح مختلف آبیاری، آبیاری روزانه رشد بهتری نسبت به سایر روش‌های آبیاری داشت. در شرایط بدون تنش (آبیاری روزانه) رقم ۸۴۳۱ دارای بیشترین رشد و رقم هاشمی کمترین رشد را دارا بود. در شرایط تنش متوسط (آبیاری ۵ و ۸ روزه) رقم ۸۴۳۱ مقاومت بیشتری به تنش داشت و بهترین شرایط را داشت و رقم هاشمی ضعیف‌ترین بود. در شرایط تنش زیاد (آبیاری ۱۰ و ۱۵ روزه) رقم خزر بیشترین مقاومت را به کمبود آب داشت و رقم گیلانه از این نظر ضعیف‌ترین رقم بود. بدین ترتیب، از آن‌جا که لزوم برنامه‌ریزی دقیق برای استفاده بهینه و پایدار از منابع آبی موجود ضروری است، پیشنهاد می‌شود انتخاب روش‌های مناسب مدیریتی همچون آبیاری و کاشت ارقام با عملکرد بالا را برای دستیابی به عملکرد دانه پایدار و تأمین امنیت غذایی به‌ویژه در شرایط محدودیت آب مدنظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: امنیت غذایی، عملکرد پایدار، محدودیت آب

مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) بعد از گندم (*Triticum aestivum* L.) مهم‌ترین گیاه زراعی دنیا بوده و تأمین‌کننده بیش از ۸۰ درصد کالری و ۷۵ درصد پروتئین مصرفی مردم جنوب شرق آسیا است. تولید برنج تا اوایل دهه ۱۳۴۰ می‌توانست نیازهای داخلی کشور را تا حدی تأمین کند، ولی در حال حاضر با توجه به افزایش سریع جمعیت و بهبود وضعیت اقتصادی مردم، تولید داخلی کفاف نیاز مردم را نمی‌دهد و همه ساله مقدار زیادی برنج از خارج وارد کشور می‌شود.

آب مهم‌ترین عامل برای تولید پایدار در مناطق برنج‌خیز است. تقریباً ۷۵ درصد جهان برنج جهان از شالیزارهای فاریاب تولید می‌شود (Carmelita et al., 2011). مصرف آب برنج بیش از چهار برابر بقیه

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تاکستان، ایران.
۳ و ۴- به‌ترتیب دانشیار و استادیار مؤسسه تحقیقات برنج، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email:valadabadi97@gmail.com)
Doi:10.22067/jag.v12i4.75721

غلات و در مجموع، نزدیک به ۵۰ درصد آب آبیاری اختصاص داده شده برای کشاورزی در کل جهان گزارش شده است (Grigg et al., 2000). برنج بیش‌ترین مقدار مصرف آب را در بین محصولات کشاورزی دارا بوده و حدود ۸۰ درصد کل منابع آب شیرین مصرفی آسیا را شامل می‌شود (Sedaghat et al., 2015). از ۲۵ درصد آب-های شیرین موجود در دنیا ۷۰ درصد آن در بخش کشاورزی مصرف شده که ۳۰-۲۵ درصد آن به زراعت برنج اختصاص دارد (Sedaghat et al., 2015). برنج بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در مقایسه محصولات مختلف کشاورزی است (Bouman, 2007; Bouman & Tuong, 2001) و رشد و عملکرد آن به‌طور معنی‌داری وابسته به تغییرات آب‌وهوایی و متعاقب آن کمبود آب قرار دارد (Pan et al., 2017). با توجه به محدودیت دسترسی به منابع آبی کافی، مهم‌ترین چالش تولید برنج، ذخیره آب، افزایش بهره‌وری و کارایی مصرف آب است (Bouman et al., 2001). برای کاهش مصرف آب در برنج، روش‌های مختلفی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به مدیریت‌های آبیاری غیرغرقاب در دوره‌هایی از رشد برنج اشاره نمود (Bouman & Tuong, 2001). بومن و تونگ (Bouman & Tuong, 2001) مقدار آبیاری برنج را ۱/۱-۰/۲ کیلوگرم دانه به‌ازای هر مترمکعب آب ورودی (مجموع آبیاری و بارندگی) محاسبه کردند.

یکی از راهکارهای موجود برای کاهش مصرف آب در کشت برنج، تغییر روش مرسوم آبیاری غرقاب دائم به روش آبیاری تناوبی با فاصله مناسب برای هر رقم می‌باشد (Abdi, 2003; Asadi et al., 2003). تحقیقات نشان داده است که با تغییر شیوه آبیاری از غرقابی به آبیاری تناوبی می‌توان بدون کاهش عملکرد و یا با درصد قابل قبولی از آن در مصرف آب صرفه‌جویی نمود و بازده کاربرد آب را به‌مقدار قابل توجهی افزایش داد (Bouman et al., 2005). نتایج آزمایشی در نیجریه نشان داد که بالاترین راندمان مصرف آب مربوط به اشباع کامل خاک در مقایسه با رژیم‌های غرقابی و شرایط ظرفیت مزرعه‌ای خاک است (Nwadukwe & Chude, 1998). خشک و مرطوب نمودن متناوب خاک مهم‌ترین عمل حفظ رطوبت در زراعت برنج چین می‌باشد (Mao, 1993). کشت برنج در شرایط خاک کاملاً اشباع در مقایسه با غرقاب سنتی ضمن کاهش درون‌ده‌های آب، باعث افزایش بازدهی آن می‌شود (Tabbal et al., 2002). برنج را می‌توان مانند گیاهان آپلند گندم و ذرت (*Zea mays* L.) به‌عنوان یک گیاه هوازی آبیاری نمود (Bouman, 2001).

دی-داتا (De-Datta, 1980) گزارش نمود که نیاز آبی برنج به رقم، نوع خاک، توپوگرافی و مرحله رشدی محصول بستگی دارد. وی با اعمال دوره‌های آبیاری تناوبی چهار، شش، هشت و ۱۰ روزه روی ارقام IR_{20} و $IR_{480\text{-}5\text{-}9}$ بیان نمود که دورهای آبیاری چهار و هشت روزه، عملکرد را به اندازه یک تن نسبت به دور آبیاری ۱۰ روزه افزایش داد. همچنین با افزایش دور آبیاری تناوبی، ارتفاع گیاه، تعداد پنجه، شاخص سطح برگ و تولید ماده خشک برنج کاهش یافت. یامبو و اینگرام (Yambo & Ingram, 1998) نیز گزارش کردند که تیمار تنش در دوره‌های ۵ و ۱۰ روزه در مراحل زایشی سبب کاهش ۴۰-۲۵ درصدی عملکرد شد و اعمال تنش در دوره ۱۵ روزه در مراحل ظهور جوانه اولیه در خوشه، گل‌دهی و پر کردن دانه‌های زودرس به‌ترتیب عملکرد را به‌میزان ۷۰، ۸۸ و ۵۲ درصد کاهش داد. کوباتا و تاکامی (Kobata & Takami, 1989) کاهش عملکرد دانه برنج تحت تأثیر تنش آبی را به افزایش عقیمی، کاهش تعداد دانه و تولید ماده خشک نسبت دادند. سورته و همکاران (Sorte et al., 1992) مشاهده نمودند که تنش آبی پنج روزه در ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ روز بعد از کاشت روی ارقام مختلف برنج، موجب کاهش عملکرد دانه به‌ترتیب برابر با ۷، ۲۳، ۵۵ و ۴۸ درصد گردید.

فوکایی (Fukai, 1999) دریافت که مناسب‌ترین زمان برای دسترسی به آب جهت دستیابی به عملکرد بالا، زمان گل‌دهی است و ارقامی که زود گل می‌دهند، برای مناطقی که احتمال بروز خشکی آخر فصل بالا است، مناسب‌تر هستند؛ در حالی‌که در مناطقی که تنش خشکی در ابتدای فصل وجود دارد و تنش در خلال مرحله رویشی رخ می‌دهد، ارقام زودرس حساس‌تر به تنش خشکی هستند. به‌علاوه، تنوع برای تحمل به تنش خشکی به اثر متقابل فنولوژی، ژنوتیپ و محیط بستگی دارد. کومار و کومار (Kumar & Kumar, 2000) اظهار داشتند که اعمال تنش خشکی به‌طور معنی‌داری ارتفاع و سطح برگ را کاهش داد. همچنین ارقام با زیست‌توده بیشتر در مقایسه با ارقام با زیست‌توده کمتر به خشکی متحمل‌تر بودند. تنوع ارقام جهت حفظ پتانسیل آب برگ، لوله‌ای شدن برگ و پایداری عملکرد تحت شرایط تنش خشکی معنی‌دار بود.

تاکنون بیشتر مطالعات در زمینه شیوه‌های مدیریت آبیاری برنج در ایران بر پایه دور ثابت آبیاری از ابتدا تا انتهای فصل کشت و یا تأثیر قطع آب در مراحل مختلف رشد بوده است. بر این اساس، با توجه به بروز خشکسالی‌های اخیر، کمبود منابع آبی در سطح کشور،

ناکافی بودن آب در مراحل مختلف رشد برنج و از آن‌جا که مدیریت آبیاری راهکاری پایدار برای کشاورزی در مناطق دارای بحران کم‌آبی می‌باشد (Baroudy et al., 2014 El)، ضروری است با برنامه‌ریزی دقیق و اعمال مدیریت صحیح آبیاری و انتخاب ارقام مناسب، کارایی و بهره‌وری تولید ارتقاء داده شود. لذا این مطالعه با هدف بررسی تأثیر مدیریت آبیاری تناوبی بر شاخص‌های فیزیوژیکی رشد و میزان آب مصرفی چهار رقم رایج برنج در استان گیلان طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌صورت اسپیلت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در محل ستاد مؤسسه تحقیقات برنج طی دو سال ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۵-۱۳۹۴ انجام شد. پنج سطح آبیاری (شامل آبیاری غرقاب دائم و آبیاری تناوبی هر ۵، ۸، ۱۰ و ۱۵ روز یک بار) و چهار رقم (خزر، گیلانه، هاشمی و ۸۴۳۱) به‌ترتیب به‌عنوان عامل اصلی و فرعی مد نظر قرار گرفتند.

نمونه‌برداری از خاک جهت تعیین بافت خاک و میزان ظرفیت نگهداری آب خاک در حد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی و برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک از قبیل EC، pH، میزان Ca، Na و Mg انجام شد (جدول ۱).

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک

Table 1- Chemical and physical criteria of soil

ویژگی Characteristic	واحد Unit	مقدار Value
رس Clay	درصد Percent	46
سیلت Silt	درصد Percent	42
شن Sand	درصد Percent	12
اشباع Saturation	درصد Percent	82.1
هدایت الکتریکی EC	دسی‌زیمنس بر متر $dS.m^{-1}$	1.48
واکنش pH	-	7.46
		2.05
نیتروژن کل Total N	درصد Percent	0.16
فسفر P	میلی‌گرم بر کیلوگرم $mg.kg^{-1}$	6.7
پتاسیم K	میلی‌گرم بر کیلوگرم $mg.kg^{-1}$	142

در ۱۵ روز اول بعد از نشاکاری آبیاری غرقابی اعمال شد تا بوته به‌خوبی استقرار یابد. در زمان بارندگی سطح آب در مقدار قبل از شروع بارندگی تثبیت (مقدار آب مزرعه به‌مقدار قبل از بارندگی کاهش یافت) و از ازدیاد عمق آب در اثر باران جلوگیری شد. خزانه‌گیری به‌روش مرسوم منطقه انجام شد. شخم شالیزار در دو نوبت انجام گرفت. شخم اول در اواخر پاییز و اوایل زمستان و شخم دوم عمود بر شخم اول در فصل بهار انجام گرفت. کودپاشی زمین طبق آزمون خاک انجام شد. بر این اساس، ۴۵ کیلوگرم در هکتار فسفر به‌صورت سوپر فسفات تریپل، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم به‌صورت سولفات پتاسیم و ۶۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به‌صورت اوره قبل از کاشت به خاک اضافه شد.

عملیات نشاکاری در ۲۵ اردیبهشت‌ماه (بر اساس تقویم زراعی ارائه شده توسط سازمان جهاد کشاورزی استان گیلان بهترین زمان نشاکاری و بیشترین میزان نشاکاری اراضی شالیزاری استان گیلان نیمه دوم اردیبهشت می‌باشد) انجام گرفت. در این زمان، نشاءها به اندازه طبیعی خود یعنی ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متر رسیده و دارای ۵-۴ برگ

بودند. برای انجام نشاءکاری، نشاءها از خزانه به زمین اصلی منتقل شدند. قبل از انتقال نشاءها خزانه کاملاً آبیاری شد تا عمل کندن نشاءها به‌آسانی صورت گیرد و به ریشه‌ها آسیبی وارد نگردد. سپس کاشت نشاءها در زمین اصلی صورت گرفت.

صفاتی از قبیل وزن خشک ساقه و برگ، شاخص سطح برگ (LAI)[1]، سرعت رشد محصول (CGR)[2]، سرعت آسیمیلاسیون خالص (NAR)[3]، نسبت سطح برگ (LAR)[4]، سرعت رشد نسبی (RGR)[5] و سطح ویژه برگ (SLA)[6] در زمان خوشه‌دهی و عملکرد دانه اندازه‌گیری و محاسبه شد.

شاخص سطح برگ (LAI) با استفاده از معادله ۱ محاسبه گردید.

معادله (۱) $LAI = LA / GA$

در این معادله، LA: سطح برگ به مترمربع و GA: سطح زمین اشغال شده توسط برگ می‌باشد.

سرعت رشد گیاه (CGR) با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد.

معادله (۲) $CGR = W_2 - W_1 / T_2 - T_1$

که در آن، $W_2 - W_1$ تغییرات وزن خشک و T_2-T_1 فاصله زمانی نمونه‌برداری می‌باشد.

سرعت جذب خالص (NAR) با استفاده از معادله ۳ محاسبه شد.

معادله (۳) $NAR = CGR / LAI$

سرعت رشد نسبی (RGR) طبق معادله ۴ محاسبه شد که در آن، TDW: وزن خشک کل گیاه است.

معادله (۴) $RGR = CGR / TDW$

سطح ویژه برگ (SLA) طبق معادله ۵ محاسبه شد که در آن، LA: سطح برگ و LDW: وزن خشک برگ می‌باشد.

معادله (۵) $SLA= LA / LDW$

نسبت سطح برگ (LAR) با استفاده از معادله ۶ محاسبه شد.

معادله (۶) $LAR=LA / TDW$

به‌منظور انجام تجزیه واریانس از نرم‌افزارهای SAS 9.1 و SPSS، برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel و برای مقایسه میانگین از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که صفات وزن خشک برگ و ساقه، LDW، TDW و NAR در اثر متقابل آبیاری و رقم در سطح احتمال یک درصد و همچنین شاخص سطح برگ و LWR در فاکتور آبیاری در سطح احتمال یک معنی‌دار شدند. صفات LAR، CGR، RGR و SLA معنی‌دار نبودند (جدول ۲).

از نظر شاخص سطح برگ، رقم خزر با ۲/۴۹ بیشترین و رقم هاشمی با ۲/۱۷ کمترین مقدار را دارا بودند. آبیاری روزانه بیشترین شاخص سطح برگ را با ۳/۰۱ ایجاد نمود و آبیاری ۱۵ روزه با ۱/۳۵ کمترین مقدار را دارا بود. آبیاری روزانه و رقم خزر در اثر متقابل دو فاکتور دارای بیشترین شاخص سطح برگ با ۳/۲۲ بودند. همچنین آبیاری ۱۵ روزه و رقم ۸۴۳۱ با ۱/۱۵ کمترین مقدار را دارا بودند (جدول‌های ۲ و ۳). از جمله دلایلی که آبیاری سطح برگ را تحت تأثیر قرار داد این است که آبیاری جذب عناصر غذایی توسط گیاه را افزایش داده و باعث افزایش فعالیت فتوسنتزی و افزایش مواد فتوسنتزی می‌گردد، افزایش مواد فتوسنتزی هم می‌تواند میزان سطح برگ را تحت تأثیر قرار دهد. آبیاری همچنین از طریق افزایش انعطاف‌پذیری دیواره سلولی، افزایش پتانسیل اسمزی و فشار تورژسانس سطح برگ سبب افزایش سطح برگ می‌شود. بومسا و وین (Boomsma & Vyn, 2008) گزارش نمودند که سطح برگ در گیاهان از صفات حساس به کم‌آبی است. هیو و همکاران (Hu et al., 2007) نیز گزارش نمودند که خشکی جذب املاح و مواد غذایی را کاهش می‌دهد که این امر نیز به‌نوبه خود می‌تواند باعث کاهش رشد اندام هوایی گیاه شود. از نظر فیزیولوژی گیاهی کمبود آب تقسیم سلولی و طویل شدن را در تمامی ابعاد کاهش می‌دهد (Lukovic et al., 2009). رشد سلول از جمله فرآیندهای حساس نسبت به کم‌آبی می‌باشد. رشد نتیجه تولید سلول توسط تقسیم سلول‌های مریستمی و توسعه سلول‌های جوان است. در شرایط کمبود شدید آب، طویل شدن سلول‌های گیاهان می‌تواند به‌دلیل متوقف شدن جریان آب از آوندهای چوبی به سلول‌های در حال توسعه متوقف شود و طویل شدن سلول و در نتیجه، خصوصیات مربوط به رشد گیاه کاهش یابد (Anjum et al., 2011).

عملکرد دانه یکی از صفات مهم گیاه برنج می‌باشد. وقوع تنش خشکی باعث کاهش عملکرد گیاه می‌گردد. در این میان آب نقش مهمی در به‌دست آوردن عملکرد حداکثری در گیاه برنج دارد.

1- Leaf area index
2- Crop growth rate
3- Net assimilation rate
4- Leaf area ratio
5- Relative growth rate
6- Specific leaf area

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر آبیاری تناوبی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی رشدی ارقام برنج طی دو سال زراعی

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) for the effect of alternating irrigation on physiological growth indices of rice cultivars during two growing seasons

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	سرعت رشد نسبی RGR	حداکثر وزن خشک ساقه Stem dry weight$_{max}$	حداکثر وزن خشک برگ Leaf dry weight$_{max}$	حداکثر شاخص سطح برگ LAI$_{max}$	سرعت آسیمیلاسیون خالص NAR	حداکثر وزن خشک کل TDW$_{max}$	سطح ویژه برگ SLA	نسبت سطح برگ LAR	حداکثر سرعت رشد نسبی CGR$_{max}$	نسبت وزن خشک برگ LWR	عملکرد دانه Yield
سال Year (Y)	1	0.000 ^{ns}	0.012 ^{ns}	0.004 ^{ns}	1.058 ^{ns}	31.553 **	865.108 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	121.203 **	0.002 ^{ns}	349272 ns
خطای اصلی Main error	4	0.000	8.156	0.043	0.216	0.657	310.217	0.000	0.000	0.031	0.006	137423
آبیاری تناوبی Alternating irrigation (I)	4	0.000 ^{ns}	175.509 **	89.657 **	12.266 **	47.768 **	364477.870 **	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	263.982 ^{ns}	0.020 **	37570124 **
I × Y	4	0.000 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.060 ^{ns}	0.649 **	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	34420 ns
خطای فرعی Sub error	16	0.000	0.002	0.002	0.093	0.001	0.154	0.000	0.000	0.000	0.026	132359
رقم Variety (V)	3	0.000 ^{ns}	131.468 ^{ns}	60.091 ^{ns}	1.282 ^{ns}	6.729 **	11275.543 **	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	14.756 ^{ns}	0.000 ^{ns}	4312840 **
Y × V	3	0.000 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.095 ^{ns}	0.037 **	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	29402 ns
I × V	12	0.000 ^{ns}	9.380 **	1.702 **	0.090 ^{ns}	1.342 **	2184.436 **	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	2.331 ^{ns}	0.003 ^{ns}	630455 **
Y× I × V	12	0.000 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.003 ^{ns}	0.022 ^{ns}	0.009 **	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	0.000 ^{ns}	23641 ns
خطای فرعی فرعی Sub sub error	60	0.000	0.001	0.002	0.052	0.001	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000	61125
ضریب تغییرات CV (%)	-	0.25	0.29	0.49	10.08	0.49	0.55	1.01	0.53	0.66	0.71	6.78

**، * و ns: به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌دار می‌باشند.

**, * and ns: are significant at 1 and 5% probability levels and non significant, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری تناوبی بر شاخص‌های رشدی ارقام گیاه برنج طی دو سال زراعی

Table 3- Mean comparisons for the interaction effects of alternating irrigation on growth indices of rice cultivars during two growing seasons

تیمار	شاخص سطح برگ	سرعت رشد محصول	وزن خشک کل	سرعت رشد نسبی	سرعت آسیمیلاسیون خالص	نسبت سطح برگ	سطح ویژه برگ	نسبت وزن برگ	وزن خشک برگ	وزن خشک ساقه	عملکرد دانه
Treatment	LAI	CGR ($g.m^{-2}.day^{-1}$)	TDW ($g.m^{-2}$)	RGR ($g.m^{-2}$)	NAR ($g.m^{-2}.day^{-1}$)	LAR ($m^2.g^{-1}$)	SLA ($m^2.g^{-1}$)	LWR ($g.g^{-1}$)	Leaf dry weight ($g.m^{-2}$)	Stem dry weight ($g.m^{-2}$)	Yield ($kg.ha^{-1}$)
$I_1\times V_1$	3.322 a*	12.09 d	494.7 c	0.02443 a	7.955 e	0.004090 a	0. 0108 a	0.3805 cdef	11.03 f	17.42 b	5420 a
$I_1\times V_2$	3.195 abc	14.30 b	482.6 d	0.02961 a	8.721 b	0.005037 a	0. 0103 a	0.3868 bcde	12.16 d	14.36 f	5188 a
$I_1\times V_3$	2.772 bcd	13.07 c	533.9 a	0.02791 a	8.490 c	0.005272 a	0. 011 a	0.3680 def	13.41 b	20.06 a	3906 c
$I_1\times V_4$	2.750 cd	14.84 a	531.5 b	0.02447 a	9.484 a	0.005272 a	0. 009 a	0.3167 f	10.37 i	12.97 h	4301 bc
$I_2\times V_1$	3.263 ab	10.71 f	435.0 e	0.02460 a	7.647 f	0.003500 a	0. 008 a	0.4141 bcde	12.42 c	17.29 c	5421 a
$I_2\times V_2$	2.825 bcd	11.12 e	376.8 i	0.02950 a	8.01 f	0.004628 a	0. 010 a	0.4292 bcd	14.485 k	14.21 g	5364 a
$I_2\times V_3$	2.545 de	10.18 g	412.0 g	0.02469 a	7.258 h	0.004892 a	0. 009a a	0.4295 bcd	13.47 b	17.39 b	4044 c
$I_2\times V_4$	3.063 abc	10.24 g	434.6 f	0.02355 a	7.249 h	0.004617 a	0. 0089 a	0.3510 ef	9.790 j	14.34 f	4698 b
$I_3\times V_1$	2.390 def	9.272 i	370.9 j	0.02499 a	5.159 l	0.003350 a	0.007 a	0.4224 bcd	9.503 k	15.65 d	3877 c
$I_3\times V_2$	2.340 defg	10.78 f	303.5 l	0.03548 a	8.394 d	0.004222 a	0.008 a	0.4516 ab	10.82 g	11.25 k	3942 c
$I_3\times V_3$	2.222 efgh	8.249 k	325.0 k	0.02536 a	7.204 h	0.004067 a	0.0085 a	0.3761 cdef	11.78 e	14.37 f	3310 d
$I_3\times V_4$	2.010 fghi	9.455 h	382.9 h	0.02468 a	6.223 k	0.003420 a	0.008 a	0.3904 bcde	8.785 m	10.95 l	3286 d
$I_4\times V_1$	1.855 ghi	6.492 m	281.9 n	0.02614 a	6.546 j	0.002940 a	0.006 a	0.4388 abc	7.798 o	15.21 e	2899 de
$I_4\times V_2$	1.913 fghi	8.582 j	265.0 o	0.03236 a	6.976 i	0.003678 a	0.007 a	0.4051 bcde	9.238 l	9.655 n	3115 d
$I_4\times V_3$	1.767 hij	6.534 m	254.4 p	0.02565 a	5.227 l	0.003393 a	0.005 a	0.4242 bcd	10.57 h	11.36 j	2975 de
$I_4\times V_4$	1.592 ijk	7.674 l	298.0 m	0.02572 a	6.268 k	0.003245 a	0.006 a	0.3846 bcdef	7.743 o	10.29 m	2611 e
$I_5\times V_1$	1.303 jk	4.152 q	179.7 t	0.02204 a	4.948 m	0.003065 a	0.004 a	0.5032 a	6.742 p	12.57 i	2001 f
$I_5\times V_2$	1.322 jk	5.022 o	183.8 s	0.02725 a	5.214 l	0.003395 a	0.0033 a	0.4441 abc	8.622 n	8.603 q	2010 f
$I_5\times V_3$	1.157 k	4.789 p	204.0 q	0.02342 a	4.417 n	0.002880 a	0.0038 a	0.4397 abc	6.338 q	8.807 p	1928 f
$I_5\times V_4$	1.653 ij	5.202 n	198.6 r	0.02300 a	7.442 g	0.003213 a	0.004 a	0.4301 bcd	14.00 a	9.548 o	1640 f

I_1، I_2، I_3، I_4 و I_5: به‌ترتیب آبیاری روزانه، ۵ روز، ۸ روز، ۱۰ روز و ۱۵ روز یک بار و V_1، V_2، V_3 و V_4: به‌ترتب ارقام خزر، گیلانه، ۸۴۳۱ و هاشمی

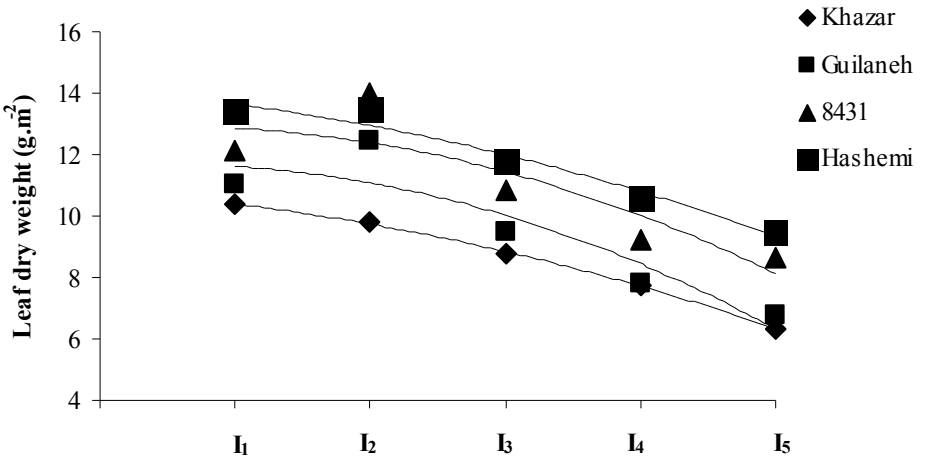
I_1, I_2, I_3, I_4 and I_5: are present irrigation at every day, every 5 days, 8 days, 10 days and 15 days and V_1, V_2, V_3 and V_4: Khazar, Gilaneh, 8431 and Hashemi cultivars, respectively.

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means with same letter(s) for each column have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

بر اساس نتایج مقایسه میانگین آبیاری پنج روزه با مقدار ۴۸۸۱ کیلوگرم بیشترین عملکرد دانه را داشت. در بین ارقام مختلف برنج رقم خزر با مقدار ۳۹۲۵ کیلوگرم بیشترین عملکرد را داشتند. در اثر متقابل دو فاکتور، آبیاری پنج روزه و رقم خزر با ۵۴۲۱ کیلوگرم بیشترین عملکرد برنج را داشتند. در آبیاری غرقاب و پنج روزه از بین ارقام مختلف رقم خزر بیشترین عملکرد را داشت، در حالی که در آبیاری ۸، ۱۰ و ۱۵ روزه رقم گیلانه دارای بیشترین عملکرد بودند. بررسی ارقام مختلف نشان داد که در این ارقام آبیاری پنج روز بیشترین عملکرد دانه را داشت.

آبیاری پنج روزه با ۱۲/۴۲ گرم دارای بیشترین وزن خشک برگ و آبیاری ۱۵ روزه با ۷/۷۹ گرم کمترین مقدار را دارا بود. در بین ارقام مختلف کشت شده، رقم ۸۴۳۱ با ۱۱/۷۴ گرم بیشترین و رقم هاشمی با ۸/۶ گرم کمترین وزن خشک برگ را داشتند. در اثر متقابل آبیاری و رقم، آبیاری پنج روزه و رقم گیلانه با ۱۴ گرم دارای بیشترین وزن خشک برگ و آبیاری ۱۵ روزه و رقم هاشمی با ۶/۳۳ گرم دارای کمترین وزن خشک برگ بودند (جدول‌های ۲و ۳). آبیاری باعث افزایش تولید مواد فتوسنتزی و افزایش وزن خشک گیاه از طریق تأثیر بر فرایندهای بیولوژیک گیاه می‌گردد. با کاهش مقدار آب، وزن خشک گیاه کاهش می‌یابد. از جمله دلایل آن می‌توان به تغییر در انتقال آنزیم‌ها در فتوسنتز و آنزیم ریبولوز بیز فسفات کربوکسیلاز در کلروپلاست اشاره کرد. با کاهش میزان آب آبیاری از تجمع ماده خشک و میزان جذب آب و در نتیجه، محتوای آب گیاه کاسته می‌شود (Nazarli & Zardashti, 2010). کاهش جذب در گیاه که بیشتر وزن تر گیاه را شامل می‌شود، وابسته به فعالیت ریشه‌ها است، ولی در صورت کم‌آبی، از رشد ریشه‌ها و فعالیت جذبی ریشه‌ها کاسته خواهد شد (Boomsa & Vyn, 2008). از سوی دیگر، کاهش در وزن خشک برگ‌ها در اثر کم‌آبی به‌دلیل کاهش تجمع آسیمیلات‌ها که ناشی از کاهش تولید و ظرفیت پذیرش مواد فتوسنتزی برای رشد برگ‌ها است، در گیاه اتفاق می‌افتد (Yordanova & Popova, 2007).



خزر Khazar	$y = -0.120x^2 - 0.288x + 10.79$ $R^2 = 0.999$	8431	$y = -0.236x^2 + 0.236x + 12.86$ $R^2 = 0.773$
گیلانه Guilaneh	$y = -0.262x^2 + 0.257x + 11.61$ $R^2 = 0.860$	هاشمی Hashemi	$y = -0.129x^2 - 0.299x + 14.06$ $R^2 = 0.963$

شکل ۱- اثر متقابل آبیاری تناوبی بر وزن خشک برگ ارقام برنج

Fig. 1- Interaction of alternating irrigation on leaf dry weight of rice cultivars

I_1، I_2، I_3، I_4 و I_5: به‌ترتیب آبیاری روزانه، ۵ روز، ۸ روز، ۱۰ روز و ۱۵ روز یک بار

I_1, I_2, I_3, I_4 and I_5: are present irrigation at every day, every 5 days, 8 days, 10 days and 15 days, respectively.

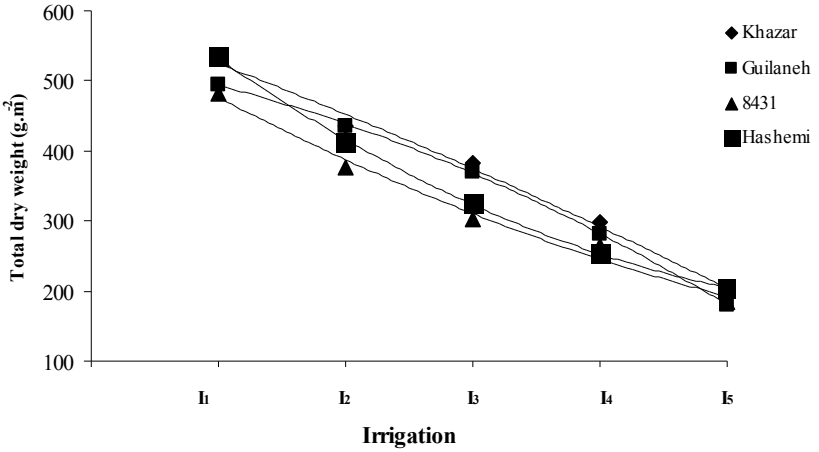
از نظر وزن خشک ساقه، رقم خزر با ۱۵/۶۳ بیشترین و رقم هاشمی با ۱۱/۴۷ کمترین مقدار را دارا بودند. آبیاری روزانه بیشترین وزن خشک ساقه را با ۱۶/۲ گرم ایجاد نمود و آبیاری ۱۵ روزه با ۹/۸۸ کمترین مقدار را دارا بود. آبیاری روزانه و رقم ۸۴۳۱ در اثر متقابل دو فاکتور دارای بیشترین وزن خشک ساقه با ۲۰/۰۶ گرم بودند، همچنین آبیاری ۱۵ روزه و رقم گیلانه با ۸/۶۰ گرم کمترین مقدار را دارا بودند (جدول‌های ۲و ۳). آبیاری باعث افزایش تولید مواد فتوسنتزی در گیاه شده و همچنین از طریق تحت تأثیر قرار دادن فرایندهای بیولوژیک گیاه سبب افزایش وزن خشک می‌گردد. با کاهش مقدار آب، وزن خشک گیاه کاهش می‌یابد. از جمله دلایل آن می‌توان به تغییر در انتقال آنزیم‌ها در فتوسنتز و آنزیم ریبولوز بیز فسفات کربوکسیلاز در کلروپلاست اشاره کرد. کاهش فتوسنتز مهم‌ترین عامل کاهنده وزن خشک بخش‌های مختلف گیاه است (Efeoğlu et al., 2009). تحقیقات نشان داده است که بروز کم‌آبی منجر به کاهش سطح برگ و فعالیت فتوسنتزی گیاه می‌شود و در نتیجه، میزان تجمع آسیمیلات‌ها افزایش می‌یابد که منجر به تخصیص بیشتر آسیمیلات‌ها برای بخش‌های مختلف گیاه و در نتیجه، افزایش رشد گیاهان می‌گردد (Mafakheri et al., 2010). بنابراین، تأمین آب کافی برای رشد گیاه نقش مثبتی را در افزایش رشد گیاه بر عهده خواهد داشت. بومسا و وین (Boomsma & Vyn, 2008) نیز گزارش نمودند که تحت تأثیر خشکی انتقال مواد غذایی به ساقه کاهش می‌یابد. تحت شرایط خشکی، عناصر غذایی (به‌ویژه نیتروژن) نقش مهمی را در عملکرد گیاهان زراعی بر عهده دارد (Rajala et al., 2009). گرگین و همکاران (Gorgean et al., 2008) نیز اظهار داشته‌اند که نیتروژن مهم‌ترین عنصر غذایی محدودکننده تولید گیاهان زراعی مخصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک است

سرعت رشد محصول یکی از شاخص‌هایی است که با عملکرد گیاهان زراعی همبستگی بالایی نشان می‌دهد. در ابتدای فصل رشد به‌دلیل کم بودن سطح برگ، دریافت نور و فتوسنتز و در نتیجه، سرعت تجمع ماده خشک کم می‌باشد. با افزایش سطح برگ جذب نور و فتوسنتز و تولید ماده خشک بیشتر شده و متعاقب آن سرعت رشد گیاه افزایش می‌یابد. در انتهای فصل رشد به‌دلیل افزایش زیست‌توده و تنفس نگهداری، انتقال مواد فتوسنتزی از برگ‌ها به دانه‌ها، خنک شدن هوا و پیری و ریزش برگ‌ها سرعت رشد گیاه کاهش می‌یابد. از نظر CGR، رقم گیلانه با ۹/۵۹ گرم بر مترمربع در روز بیشترین و رقم خزر با ۸/۵۴ گرم بر مترمربع در روز کمترین مقدار را دارا بودند. آبیاری روزانه بیشترین CGR را با ۱۳/۵۷ گرم بر مترمربع در روز ایجاد نمود و آبیاری ۱۵ روزه با ۴/۷۹ گرم بر مترمربع در روز کمترین مقدار را دارا بود. آبیاری روزانه و رقم هاشمی در اثر متقابل دو فاکتور دارای بیشترین CGR با ۱۴/۸۴ گرم بر مترمربع در روز بودند، همچنین آبیاری ۱۵ روزه و رقم خزر با ۴/۱۵ گرم بر مترمربع در روز کمترین مقدار را دارا بودند (جدول‌های ۲و ۳). آبیاری توان تولید مواد فتوسنتزی را در گیاه برنج افزایش می‌دهد که باعث افزایش وزن خشک برگ و ساقه و در نتیجه، سبب افزایش شاخص TDW می‌گردد. از آن‌جا که مقدار CGR ارتباط زیادی به مقدار TDW دارد در نتیجه، افزایش TDW باعث افزایش CGR می‌گردد. با کاهش آبیاری در نتیجه کاهش وزن خشک گیاه CGR نیز کاهش می‌یابد. جمالی (Jamali, 2013) با بررسی تأثیر سطوح کود نیتروژن و آبیاری (پس از ۳۰ و ۷۰ میلی‌متر تبخیر) روی سرعت رشد گشنیز (*Coriandrum sativum* L.)، بیشترین CGR مربوط به تیمار آبیاری پس از ۳۰ میلی‌متر تبخیر و کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (سرعت رشد ۲۸ گرم بر مترمربع بر روز) مشاهده شد. عبدزاد گوهری (Abdzad Gohari, 2012) در مطالعه‌ای روی تأثیر سطوح نیتروژن و تنش آبی (فاصله آبیاری ۶، ۱۲ و ۱۸ روز یک بار) بر بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.) گزارش نمودند که بیشترین سرعت رشد محصول در فاصله آبیاری شش روزه (هشت گرم بر مترمربع بر روز) به‌دست آمد. وی نتیجه گرفت که کاهش فاصله آبیاری با بهبود توسعه برگ‌ها و افزایش نفوذ نور به داخل کانوپی در نهایت، CGR را بهبود داده است. ریکاردوو همکاران (Ricardo et al., 2008) کاهش سرعت رشد گیاه بادام زمینی در شرایط اعمال تنش خشکی را تأیید کرد. به نظر می‌رسد در شرایط تنش به‌دلیل کاهش سطح برگ، فتوسنتز ارقام مختلف کم شده و برگ‌ها دچار پیری زودرس شده و سرعت رشد محصول کاهش یافته است. از طرف دیگر، در شرایط بدون تنش، نور بیشتری توسط گیاه دریافت شده و از آن‌جا که سرعت رشد محصول تابعی از سطح برگ است، میزان فتوسنتز و سرعت رشد محصول افزایش می‌یابد.

بیشترین سرعت رشد نسبی مربوط به ابتدای فصل رشد می‌باشد؛

به‌طوری‌که با گذشت زمان به‌دلیل سایه‌اندازی برگ‌های بالایی بر پایینی، کاهش پتانسیل فتوسنتزی این برگ‌ها، افزایش سهم بافت‌های ساختمانی و غیرفتوسنتزی و ایجاد رقابت بین اندام‌های مختلف گیاهی برای دریافت آب، آسیمیلات‌های فتوسنتزی و دریافت نور سرعت رشد نسبی کاهش می‌یابد. بالاترین RGR در آبیاری هشت روز با ۰/۰۲۷ مترمربع بر گرم به‌دست آمد. کمترین مقدار در آبیاری ۱۵ روزه با ۰/۰۲۴ مترمربع بر گرم مشاهده شد. در بین ارقام مختلف، گیلانه با ۰/۰۳۰ مترمربع بر گرم بیشترین و رقم خزر با ۰/۰۲۴ مترمربع بر گرم کمترین مقدار RGR را دارا بود. در اثر متقابل آبیاری و رقم، آبیاری هشت روز و رقم گیلانه با ۰/۰۳۵ مترمربع بر گرم بیشترین RGR و آبیاری ۱۰ روز و رقم خزر با ۰/۰۲۲ مترمربع بر گرم کمترین RGR را داشتند (جدول‌های ۲و ۳). همبستگی معنی‌دار بین RGR و SLA نشان می‌دهد که ارقام دارای برگ‌های نازک‌تر به‌دلیل توانایی در توزیع وزن خشک به سطح برگ بیشتر، دارای سطح فتوسنتزی بیشتر و در نتیجه، RGR بیشتری را نیز دارا می‌باشند (Ghorbanli et al., 2006). به نظر می‌رسد تأمین رطوبت کافی در طول فصل رشد باعث توسعه برگ‌ها در ارقام مختلف می‌شود که خود افزایش دریافت تشعشع خورشیدی و بیوماس نهایی را موجب می‌گردد.

بالاترین LDW در آبیاری روزانه با ۱۸۴/۹گرم بر مترمربع به‌دست آمد. کمترین مقدار در آبیاری ۱۵ روزه با ۸۴/۱۳ گرم بر مترمربع مشاهده شد. در بین ارقام مختلف، گیلانه با ۱۴۲/۴ گرم بر مترمربع بیشترین و رقم هاشمی با ۱۳۳/۵ گرم بر مترمربع کمترین مقدار LDW را دارا بود. در اثر متقابل آبیاری و رقم، آبیاری روزانه و رقم ۸۴۳۱ با ۱۹۶/۵ گرم بر مترمربع بیشترین LDW و آبیاری ۱۵ روزه و رقم هاشمی با ۷۶/۳۱ گرم بر مترمربع کمترین LDW را داشتند (جدول‌های ۲و ۳). شاخص LDW همبستگی زیادی با وزن خشک برگ دارد و از حاصل‌ضرب وزن خشک برگ در ضریب به‌دست می‌یابد. در نتیجه آبیاری، تولید مواد فتوسنتزی افزایش می‌یابد که باعث افزایش وزن خشک برگ می‌شود و افزایش این عامل باعث افزایش شاخص LDW می‌گردد. کاهش آبیاری باعث کاهش سطح برگ و جذب نور خورشید می‌گردد که این عامل باعث کاهش فتوسنتز و تولید مواد در گیاه می‌گردد و در نتیجه، وزن خشک برگ کاهش می‌یابد.



خزر Khazar	$y = -2.728x^2 - 63.86x + 590.7$ $R^2 = 0.992$	8431	$y = 6x^2 - 106.9x + 577.1$ $R^2 = 0.987$
گیلانه Guilaneh	$y = -7.85x^2 - 31.21x + 532.4$ $R^2 = 0.999$	هاشمی Hashemi	$y = 11.38x^2 - 150.0x + 670.7$ $R^2 = 0.999$

شکل ۲- اثر متقابل آبیاری تناوبی بر وزن خشک ارقام برنج

Fig. 2- Interaction of alternating irrigation on total dry weight of rice cultivars

I۱، I۲، I۳، I۴ و I۵: به‌ترتیب آبیاری روزانه، ۵ روز، ۸ روز، ۱۰ روز و ۱۵ روز یک بار

I_1, I_2, I_3, I_4 and I_5: are present irrigation at every day, every 5 days, 8 days, 10 days and 15 days, respectively.

محمدیان و همکاران (Mohammadian et al., 2005) اظهار داشتند که تحت شرایط خشکی رشد برگ‌ها کاهش می‌یابد و در نتیجه، کربوهیدرات‌های کمی به برگ‌ها اختصاص داده می‌شود (Zhang et al., 2012). تحت شرایط کم‌آبی برگ‌ها دارای هدایت روزنه‌ای پایینی هستند تا آب گیاه را حفظ کنند. در نتیجه، تثبیت دی-اکسید کربن و میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد و منجر به کاهش تولید آسیمیلات‌ها برای رشد و عملکرد گیاهان می‌گردد (Mafakheri et al., 2010). نوری‌اظهر و احسان‌زاده (Nouri Azhar & Ehsanzedeh, 2007) با بررسی تغییرات شاخص‌های رشد پنج هیبرید ذرت (*Zea mays* L.) در دو رژیم آبیاری گزارش کردند که کم‌آبیاری اثر معنی‌داری بر شاخص سطح برگ دارد. آن‌ها همبستگی مثبت و معنی‌داری بین شاخص سطح برگ و عملکرد ماده خشک گزارش کردند.

بالاترین TDW در آبیاری روزانه با ۵۱۰/۷گرم بر مترمربع به‌دست آمد. کمترین مقدار در آبیاری ۱۵ روزه با ۱۹۱/۵ گرم بر مترمربع مشاهده شد. در بین ارقام مختلف، هاشمی با ۳۶۹/۱ گرم بر مترمربع بیشترین و رقم گیلانه با ۳۲۲/۳ گرم بر مترمربع کمترین مقدار TDW را دارا بود. در اثر متقابل آبیاری و رقم، آبیاری روزانه و رقم ۸۴۳۱ با ۵۳۳/۹ گرم بر مترمربع بیشترین TDW و آبیاری ۱۵ روزه و رقم خزر با ۱۷۹/۷ گرم بر مترمربع کمترین TDW را داشتند (جدول‌های ۲و ۳). شاخص TDW همبستگی زیادی با وزن خشک کل گیاه دارد. در نتیجه آبیاری، تولید مواد فتوسنتزی افزایش می‌یابد که باعث افزایش وزن خشک کل گیاه می‌شود و افزایش این عامل باعث افزایش شاخص TDW می‌گردد. کاهش آبیاری باعث کاهش سطح برگ و جذب نور خورشید می‌گردد که این عامل باعث کاهش فتوسنتز و تولید مواد در گیاه می‌گردد و در نتیجه، وزن خشک کل کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد که تنش آبی در طی مرحله رشد رویشی و پایان دوره رشد گیاه، موجب سرعت بخشیدن در مراحل رشدی شده که در نتیجه، به‌دلیل کاهش طول دوره رشد، کاهش تولید ماده خشک را موجب شده است. اعمال کم‌آبیاری در مرحله رشد رویشی و زایشی (تشکیل خوشه و گل‌دهی) باعث می‌شود به‌دلیل کمبود رطوبت، دانه‌های گرده به تخمدان نفوذ نکرده و عمل تلقیح به‌خوبی انجام نشده که در نهایت، وزن اندام‌های رویشی و زایشی کاهش یابد. بونمان و تانگ (Bounman & Toung, 2001) گزارش نمودند که کمبود آب طی مرحله رشد رویشی تعداد پنجه را کاهش داد. سینک و میسرا (Singh & Misra, 1974) اظهار داشتند که تنش آبی طی مرحله استقرار گیاه (در اوایل دوره رشد رویشی) موجب کاهش تعداد پنجه شد، ولی چون پنجه‌های باقی‌مانده تعداد دانه و وزن هزار دانه بیشتری به‌ازای هر خوشه تولید می‌کنند، کاهش تعداد پنجه تأثیر زیادی بر عملکرد ندارد. بومان (Bouman, 2007) دریافتند که با اعمال مدیریت صحیح آب می‌توان مانع کاهش عملکرد شد و همچنین، از طریق صرفه‌جویی در مصرف آب، بهره-وری را افزایش داد. بر این اساس، هر عاملی که عملکرد را افزایش دهد، راندمان مصرف آب را نیز افزایش می‌دهد. از طرف دیگر، بروز هر گونه 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 در نتیجه آن بالا رفتن کارایی مصرف آب را موجب می‌شود (Amiri et al., 2011). جلیلیان و محسنیان (Jalilian & Mohsennia, 2013) دریافتند که با افزایش تنش خشکی از ۲۰ به ۸۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی تجمع ماده خشک جو کاهش یافت.

هوانگ و همکاران (Hwang et al., 1989) نشان دادند که تنش آبی طول خوشه را در برنج کاهش داد. کاهش وزن هزار دانه به‌دلیل تأثیر رطوبت و کاهش انتقال مواد غذایی در زمان پر شدن دانه در تیمارهای تحت تنش می‌باشد (Yoshida, 1981). جیانگ و همکاران (Jiang et al., 1991) اختلاف معنی‌داری را برای عملکرد، تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری در برنج گزارش نمودند. هوآنگ و همکاران (Hwang et al., 1989) اظهار داشتند که تحت شرایط محدودیت آب در مرحله گل‌دهی، کاهش عمدتاً ناشی از افزایش عقیمی سنبلچه‌ها است. خشکی، موجب عقیمی گلچه‌ها در مرحله پر شدن دانه‌ها می‌گردد، در نتیجه تعداد دانه‌های پوک افزایش یافته و اختلاف بین ارقام از لحاظ تعداد دانه پر شده مشاهده گردید. بنابر گزارش‌های سینک و میسرا (Singh & Misra, 1974)، یوشیدا (Yoshida, 1981) و کیم و همکاران (Kim et al., 1988) مشخص گردید که کاهش آب در هر مرحله رشدی سبب عدم پر شدن دانه‌ها می‌گردد که بسته به شدت و مرحله بروز تنش و رقم شدت افت عملکرد متفاوت می‌باشد. جراکونگمن و همکاران (Jerakongman et al., 1996) بیان داشتند که ارقام دارای عملکرد بالا، عموماً ارتفاع

کوتاه و شاخص برداشت بالایی داشته و همه آن‌ها کارایی دسترسی به آب بهتری نسبت به سایرین دارند. این محققان نشان دادند که پتانسیل عملکرد بالای واریته‌های متحمل، ناشی از شاخص برداشت بالا تحت شرایط مطلوب، زمان مناسب گل‌دهی برای فرار از تنش آبی و توانایی برای حفظ رشد در طی خشکی مربوط می‌باشد. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود انتخاب ارقام مناسب با شاخص برداشت بالا جهت دستیابی به عملکرد بالاتر به‌ویژه در شرایط کم‌آبی بهره‌گیری شود.

آبیاری روزانه با ۸/۶۶ گرم بر مترمربع در روز دارای بیشترین NAR و آبیاری ۱۵ روزه با ۴/۹۳ گرم بر مترمربع در روز کمترین مقدار را دارا بود. در بین ارقام مختلف کشت شده، رقم گیلانه با ۷/۴۶ گرم بر مترمربع در روز بیشترین و رقم ۸۴۳۱ با ۶/۳۲ گرم بر مترمربع در روز کمترین NAR را داشتند. در اثر متقابل آبیاری و رقم، آبیاری روزانه و رقم هاشمی با ۹/۴۸ گرم بر مترمربع در روز دارای بیشترین NAR و آبیاری ۱۵ روزه و رقم ۸۴۳۱ با ۴/۴۱ گرم بر مترمربع در روز دارای کمترین NAR بودند (جدول‌های ۲و ۳). با افزایش سرعت رشد محصول در همه تیمارها سرعت جذب خالص افزایش یافت که این امر می‌تواند به این علت باشد که ارتباط مستقیمی بین سرعت رشد محصول و سرعت جذب خالص وجود دارد. دادرسی و همکاران (Dadrasi et al., 2012) با بررسی اثر آبیاری (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر) بر شاخص‌های رشد دو رقم ذرت نشان دادند که بیشترین شاخص سطح برگ (۴/۷)، سرعت رشد محصول (۵۰/۲۳ گرم بر مترمربع بر روز)، وزن خشک کل (۱۹۲۰ گرم بر مترمربع) و سرعت جذب خالص (۱۱/۲۰ گرم بر مترمربع بر روز) در تیمار ۵۰ میلی متر تبخیر و کمترین این شاخص‌ها (به‌ترتیب با ۲/۸۴، ۲۷/۸ گرم بر مترمربع بر روز، ۱۰۶۴ گرم بر مترمربع و ۹/۶ گرم بر مترمربع بر روز) در تیمار ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر حاصل شد. به نظر می‌رسد که پیری زودرس، افزایش تنفس و همچنین رقابت بیشتر برای جذب آب در ارقام مختلف برنج موجب کاهش سرعت جذب خالص شده است.

بالاترین LWR در آبیاری روزانه با ۰/۴۴گرم در گرم به‌دست آمد. کمترین مقدار در آبیاری ۱۵ روزه با ۰/۳۶ گرم در گرم مشاهده شد. در بین ارقام مختلف، گیلانه با ۰/۴۴ گرم در گرم بیشترین و رقم هاشمی با ۰/۳۷ گرم در گرم کمترین مقدار LWR را دارا بود. در اثر متقابل آبیاری و رقم، آبیاری روزانه و رقم گیلانه با ۰/۵۰ گرم در گرم بیشترین LWR و آبیاری ۱۵ روز و رقم هاشمی با مدار ۰/۳۱ گرم در گرم کمترین LWR را داشتند. آلوری و همکاران (Alluri et al., 1978) اظهار داشتند که تنش رطوبتی سبب کاهش رشد و ارتفاع گیاه گردید. بروز تنش در طی پر شدن دانه صرف‌نظر از کاهش عملکرد ناشی از محدودیت آسیمیلات و کوتاه شدن دوره پر شدن دانه، باعث کاهش در کیفیت آن به‌صورت زوال کلی در ظاهر دانه، سفید کردن و کیفیت پخت، درصد بیشتر دانه‌های گچی، میزان بازیافت پایین‌تر برنج سالم، تغییر ساختمانی در آمیلوپکتین و انعطاف سخت‌تر شد (Zhu et al., 1997). مرحله شیری از پر شدن دانه حساس‌ترین فاز در برنج نسبت به تنش خشکی است (Zakaria et al., 2002).

LAR نسبت سطح بافت‌های فتوسنتزکننده به وزن خشک کل بافت‌های تنفس‌کننده را نشان می‌دهد. آبیاری روزانه با ۰/۰۰۵۰ مترمربع بر گرم دارای بیشترین LAR و آبیاری ۱۵ روزه با ۰/۰۰۳۰ مترمربع بر گرم کمترین مقدار را دارا بود. در بین ارقام مختلف کشت شده، رقم گیلانه با ۰/۰۰۴۲ مترمربع بر گرم بیشترین و رقم هاشمی با ۰/۰۰۳۵ مترمربع بر گرم کمترین LAR را داشتند. در اثر متقابل آبیاری و رقم، آبیاری روزانه و رقم گیلانه با ۰/۰۰۵۳ مترمربع بر گرم دارای بیشترین LAR و آبیاری ۱۵ روزه و رقم هاشمی با ۰/۰۰۲۹ مترمربع بر گرم دارای کمترین LAR بودند. برگ‌ها مهم‌ترین اندام فتوسنتزی گیاه بوده و شاخص سطح برگ مهم‌ترین فاکتور در تعیین رشد و تولید زیست‌توده می‌باشد (Hamzei & Soltani, 2012). محققین معتقدند رفع تنش آبی و افزایش آب مصرفی باعث افزایش جذب تشعشع فعال فتوسنتزی دریافت شده توسط تاج‌پوشش گیاهی در ارتفاع ۸۰-۴۰ سانتی‌متری سطح زمین شده و در نتیجه، باعث جلوگیری از پیری زودرس برگ‌ها شده و رشد و عملکرد را بهبود می‌بخشد (Zhong et al., 2015; Han et al., 2014; Li et al., 2008).

SLA عبارت است از نسبت سطح برگ به وزن خشک برگ و واحد آن مترمربع بر گرم می‌باشد. SLA نشان‌دهنده ضخامت برگ است و هر چه کوچک‌تر باشد، برگ ضخیم تر است و تعداد کلروپلاست و غلظت کلروفیل سلول‌های مزوفیل آن بیشتر است، لذا تلفات نوری کمتر و توان فتوسنتزی آن بیشتر است. آبیاری روزانه با ۰/۰۱۲ مترمربع بر گرم دارای بیشترین SLA و آبیاری ۱۵ روزه با ۰/۰۰۴ مترمربع بر گرم کمترین مقدار را دارا بود. در بین ارقام مختلف کشت شده، رقم گیلانه با ۰/۰۱۲ مترمربع بر گرم بیشترین و رقم خزر

با ۰/۰۰۴۶ مترمربع بر گرم کمترین SLA را داشتند. در اثر متقابل آبیاری و رقم، آبیاری روزانه و رقم گیلانه با ۰/۰۱۱ مترمربع بر گرم دارای بیشترین SLA و آبیاری ۱۵ روزه و رقم خزر با ۰/۰۰۳۳ مترمربع بر گرم دارای کمترین SLA بودند.

بررسی‌ها نشان داده است خشکی اثرات زیادی بر کاهش رشد و تجمع ماده خشک گیاهی دارد (Ucan et al., 2007). بنابراین، به نظر می‌رسد با افزایش تنش خشکی دریافت تشعشع خورشیدی و به تبع آن میزان تجمع ماده خشک گیاهی کاهش و وزن خشک آن‌ها نیز کاهش می یابد که این موضوع ناشی از پژمردگی برگ‌ها، محدودیت در رشد و توسعه برگ‌ها در شرایط کمبود آب و یا پیری زودرس برگ‌ها می‌باشد (Ngugi et al., 2013).

میزان آب مصرفی یکی از شاخص‌های مهم کاشت برنج می‌باشد. آبیاری روزانه با ۵۹۲۳ مترمکعب در هکتار بیشترین و آبیاری ۱۵ روزه با ۴۳۳۳ مترمکعب در هکتار کمترین میزان آب مصرفی را داشتند. در بین ارقام مختلف، رقم خزر بیشترین (۵۷۶۰ مترمکعب در هکتار) و رقم هاشمی کمترین میزان آب مصرفی (۴۹۴۵ مترمکعب در هکتار) را ایجاد نمود. در اثر متقابل دو فاکتور، آبیاری روزانه و رقم خزر با ۶۳۰۷ مترمکعب در هکتار بیشترین آب مصرفی و آبیاری ۱۵ روزه و رقم هاشمی (۴۰۲۷ مترمکعب در هکتار) کمترین را داشتند. میزان آب مصرفی برای کشت برنج در روش‌های سنتی، به‌دلیل تلفات آب در اثر نشت، فرونشست عمقی، تبخیر از سطح آزاد آب‌ها و آب مصرفی برای آماده‌سازی زمین بسیار زیاد است (Tuong & Bouman, 2003; Borell et al., 1997). غرقاب ماندن طولانی‌مدت زمین در کاشت برنج موجب بروز مشکلاتی در طول دوره رشد از جمله ایجاد شرایط احیا در اثر عدم تهویه، تجمع مواد سمی در محیط ریشه، حساسیت گیاه به آفات و بیماری‌ها و آلودگی آب و خاک می‌شود (Lin et al., 2003). یکی از راهکارهای افزایش بهره‌وری آب در مزرعه، کاهش مصارف تبخیر، نفوذ و نشت است (Tuong & Bhuiyan, 1999). کاشت نشای برنج به‌صورت جوی و پشته‌ای در مقایسه با روش سنتی، باعث ۱۵ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب، بدون کاهش عملکرد گردید (Nguyen et al., 2009; He, 2010). کاشت برنج به‌صورت جوی و پشته در سه مطالعه جداگانه به‌ترتیب باعث ۳۴/۸، ۳۱/۶ و ۴۲ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش به‌ترتیب ۳/۴، ۳/۷ و ۱۶ درصدی عملکرد دانه در مقایسه با روش سنتی شد (Dawe et al., 1998; Atta, 2008; Rezaei Estakhroeih et al., 2017).

رودریک و همکاران (Roderick et al., 2011) نتیجه گرفتند که روش کم‌آبیاری تناوب خشکی و رطوبت در حدود ۳۸ درصد مصرف آب آبیاری شالیزار را بدون کاهش عملکرد و سود کشاورزان کاهش داده است. تنش خشکی ناشی از آبیاری غیرغرقابی به‌رغم کاهش میزان آب مصرفی، موجب مختلف 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). غلظت زیاد مواد محلول باعث سمیت سلول شده و از این طریق بر عملکرد بسیاری از آنزیم‌های درگیر در سیستم فتوسنتزی مؤثر واقع می شود. کاهش وزن خشک به‌دلیل کاهش رشد گیاهی، بسته شدن روزنه‌ها و متعاقب آن کاهش فتوسنتز، پیری و ریزش برگ‌ها می‌باشد (Gisele et al., 2007). نحوی (Nahvi, 2000) دور آبیاری تناوبی پنج روزه با حفظ راندمان مصرف آب و بدون کاهش معنی‌دار عملکرد را به‌عنوان راهکاری برای مقابله با کم‌آبی در رقم خزر پیشنهاد نمود. یامبو و اینگرام (Yambo & Ingram, 1988) در بررسی دورهای مختلف آبیاری مشاهده نمودند که در تنش کم‌آبی، دور آبیاری پنج روزه در مرحله زایشی سبب کاهش ۴۰-۲۵ درصدی عملکرد شد. بنابراین، چنین به نظر می‌رسد در مناطقی که کمبود منابع آبی وجود دارد و یا در شرایط خشک‌سالی، به‌جای حالت غرقاب، از آبیاری‌های تناوبی می‌توان استفاده نمود، ولی پیشنهاد می‌شود که سعی شود کم‌آبیاری در مرحله رشد زایشی اعمال نشود. همچنین با انتخاب ارقام مناسب متحمل به کم‌آبیاری سعی شود از منابع در راستای تولید پایدار حداکثر بهره‌برداری انجام گیرد.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که در مقایسه مدیریت‌های مختلف آبیاری، حالت غرقابی برای تمام ارقام مورد مطالعه برنج به‌دلیل عدم وجود تنش مناسب‌ترین حالت به‌شمار می‌رود، زیرا گیاه با دریافت به‌موقع آب توانسته نیازهای خود را مرتفع و عملکرد قابل اقتصادی قبولی تولید نموده است. با افزایش فاصله بین روزهای آبیاری به‌دلیل افزایش شدت تنش خشکی، شاخص‌های رشدی برنج کاهش یافت. به‌طوری‌که آبیاری روزانه بهترین شرایط را برای رشد گیاه فراهم نمود. در شرایط بدون تنش (آبیاری روزانه) رقم ۸۴۳۱ دارای بیشترین رشد و رقم هاشمی کمترین رشد را دارا بود. در شرایط تنش متوسط

(آبیاری پنج و هشت روزه) رقم ۸۴۳۱ مقاومت بیشتری به تنش داشت و بهترین شرایط را داشت و رقم هاشمی ضعیف‌ترین بود. در شرایط تنش زیاد (آبیاری ۱۰ و ۱۵ روزه) رقم خزر بیشترین رشد را داشت و رقم گیلانه از این نظر ضعیف‌ترین رقم بود. مقایسه سرعت رشد محصول نشان می‌دهد که آبیاری روزانه و رقم هاشمی بیشترین سرعت رشد را دارا می‌باشند و کمترین سرعت رشد در آبیاری ۱۵ روزه و رقم خزر مشاهده شد. بر این اساس، به نظر می‌رسد اصلاح انتخاب ارقامی از برنج که در شرایط آبیاری تناوبی عملکرد دانه قابل قبولی تولید کنند، یکی از نیازهای اصلاحی در این زمینه بوده که بایستی مورد توجه قرار گیرد که این امر می‌تواند به‌طور ویژه‌ای عملکرد و میزان مصرف آب را تحت تأثیر قرار دهد. لذا پیشنهاد می‌شود انتخاب تراکم مناسب کاشت و مدیریت آبیاری را به‌عنوان راهکاری زراعی در راستای تأمین امنیت غذایی و پایداری تولید مد نظر قرار داد.

References

Abdi, P., 2003. Evaluation of economic yield of smallwater supplying structure in agriculture. Journal of Soil and Water 19: 301-302.

Abdzad Gohari, A., 2012. Effect of nitrogen fertilizer and various irrigation regimes on yield and physiological traits in peanut *(Arachis hypogaea* L.*)*. International Journal of Farm and Allied Science 1(1): 26-32.

Alluri, K., Vodouhe, R.S., Treharne, K.J., and Buddenhagen, I.W., 1978. Evaluation of rice varieties for drought avoidance and drought escape mechanisms. Rice in Africa 37-53.

Amiri, E., Razavipour, T., Farid, A., and 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.

Anjum, S.A., Xie, X., Wang, L., Saleem, M.F., Man, C., and Lei, W., 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. African Journal of Agricultural Research 6(9): 2026-2032.

Asadi, R., Shahin, P., and Ahmadi, R., 2003. Introducing new methods of rice irrigation in China. Journal of the Dryness and Agricultural Drought 13: 13-21.

Atta, Y.I., 2008. Innovative method for rice irrigation with high potential of water saving. Water Management Research Institute National Water Research Center, Egyptian, p. 17.

Boomsma, C.R., and Vyn, T.J., 2008. Maize drought tolerance: potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis? Field Crops Research 108: 14–31.

Borell, A.K., Garside, A., and Fukai, S., 1997. Improving efficiency of water use for irrigated rice in a semi -arid tropical environment. Field Crops Research 52: 231-248.

Bouman, B.A.M., 2001. Water-efficient management strategies in rice production. International Rice Research Notes 16(2): 17-22.

Bouman, B.A.M., 2007. A conceptual framework for the improvement of cropwater productivity at different spatial scales. Agricultural Systems 93: 43-60.

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

Carmelita, M., Alberto, R., Wassmann, R., Hirano, T., Miyata, A., Hatano, R., Kumar, A., Padre, A., and Amante, M., 2011. Comparisons of energy balance and evapotranspiration between flooded and aerobic rice fields in the Philippines. Agricultural Water Management 98: 1417-1430

Dadrasi, V.A., Aboutalebian, M.A., Ahmadvand, G., Mousavi, S.S., and Seyedi, M., 2012. Effect of on-farm seed priming and irrigation interval the on growth indices of two corn cultivars (*Zea mays* L.). Journal of Agronomy Sciences 3(7): 67-88. (In Persian with English Summary)

Dawe, D., Seckler, D., and Barker, R., 1998. Water supply and research for food security in Asia. Proceedings of the Workshop on Increasing Water Productivity and Efficiency in Rice Based Systems, International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, 5 July.

De-Datta, S.K., 1981. Principles and Practices of Rice Production. Los Banos, Philippines, IRRI, p. 540.

Efeoğlu, B., Ekmekçi, Y., and Çiçek, N., 2009. Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery. South African Journal of Botany 75: 34–42.

El Baroudy, A.A., Ibrahim, M.M., and Mahmoud, M.A., 2014. Effects of deficit irrigation and transplanting methods of

irrigated rice on soil physical properties and rice yield. Soil Use and Management 30: 88-98.

Fukai, S., 1999. Phonology in rainfed low land rice. Field Crops Research 64: 51-60.

Ghorbanli, M., Hashemi Moghaddam, S., and Fallah, A., 2006. Study of interaction effects of irrigation and nitrogen on some morphological and physiological characteristic of rice plant (*Oryza sativa* L.). Journal of Agricultural Sciences 12(2): 415-428. (In Persian with English Summary)

Ghorbanli, M., Hashemi Moghaddam, S., and Fallah, A., 2006. Study of interaction effects of irrigation and nitrogen on some morphological and physiological characteristic of rice plant (*Oryza sativa* L.). Journal of Agricultural Sciences 12(2): 415-428. (In Persian with English Summary)

Gisele, A., Torres, M., Gimenes, A., de Rosa, V.E., and Quecini, V., 2007. Identifying water stress-response mechanisms in citrus by in silico transcriptome analysis. Genetics and Molecular Biology 30: 888-905.

Goergen, E., Chambers, J.C., and Blank, R., 2009. Effects of water and nitrogen availability on nitrogen contribution by the legume, lupinus argenteus Pursh. Applied Soil Ecology 42: 200–208.

Hamzei, J., and Soltani, J., 2012. Deficit irrigation of rapeseed for water-saving: Effects on biomass accumulation, light interception and radiation use efficiency under different N rates. Agriculture, Ecosystems and Environment 155: 153-160.

Han, Y.Y., Wang, G.Y., Zhou, X.B., Chen, Y.H., and Liu, P., 2014. Radiation use efficiency and yield response of winter wheat to planting patterns and irrigation in northern China. Agronomy Journal 106: 168-174.

He, C., 2010. Effects of furrow irrigation on the growth, production and water use efficiency of direct sowing rice. The Scientific World Journal 10: 1483-1497.

Hu, Y., Burucs, Z., Tucher Von, S., and Schmidhalter, U., 2007. Short-term effects of drought and salinity on mineral nutrient distribution along growing leaves of maize seedlings. Environmental and Experimental Botany 60: 268–275.

Hwang, C.J., Kim, K.T., Oh, N.K., and Jeong, J.U., 1989. The effect of drought at the reproductive stage on degeneration, sterility, ripening and nutrient uptake of rice. Research Reports of the Rural Development of Administration Rice 31: 36-42.

Jalilian, J., and Mohsennia, O., 2013. Effects of superabsorbent and irrigation regime on seedling growth characteristics of barley. Cercetari Agronomice in Moldova 6(3): 12-20.

Jamali, M.M., 2013. Investigate the effect of drought stress and different amount of chemical fertilizers on some physiological characteristics of coriander (*Coriandrum sativum* L.). International Journal of Farm and Allied Science 2(20): 872-879.

Jerakongman, S., Rajatasereekul, S., Naklang, K., Romyen, P., Fukai, S., Skulkhu, E., Jumpaket, B., and Nathabutr, K., 1996. Growth and grain yield of contrasting rice cultivars grown under different conditions of water availability. Field Crops Research 44: 139-150.

Jiang, H., Jiang, G.L., Wang, G.L., Wu, J.L., He, Z.B., and Shen, J.L., 1991. Identification of drought resistance in rice germplasm resources. Jiangsu, Agricultural Science 1: 10-12

Kim, H., Lee, S.K., Chung, G.S., and Sohn, J.K., 1988. Screening of rice drought resistance in a sloping field. Research-Reports of the Rural Development Administration, Rice 30: 36-43.

Kobata, T., and Takami, S., 1989. Water status and grain production of several japonica rice's under grain–filling stage drought. Japanese Journal of Crop Science 58: 212-216.

Kumar, R., and Kumar, R., 2002. Effect of drought on growth, leaf rolling, plant water status and yield of rice (*Oryza sativa* L.). Indian Journal of Agronomy 47: 61-66.

Li, Q., Chen, Y.H., Liu, M.Y., Zhou, X.B., Yu, S.L., and Dong, B.D., 2008. Effects of irrigation and planting patterns on radiation use efficiency and yield of winter wheat in North China. Agricultural Water Management 95: 469-476.

Lin, S., Tao, H., Dittert, K., Xu, Y., Fan, X., Shen, Q., and Sattelmacher, B., 2003. Saving water with the ground cover rice production system in China. In: Technological and Institutional Innovations for Sustainable Rural Development. Conference on International Agricultural Research for Development, Göttingen Germany, 8-10 October.

Lukovic, J., Maksimovi, I., Zoric, L., Nagl, N., Percic, M., Polic, D., and Putnik-Delic, M., 2009. Histological characteristics of sugar beet leaves potentially linked to drought tolerance. Industrial Crops and Products 30: 281-286.

Mafakheri, A., Siosemardeh, B., Bahramnejad, P.C., Struik, E., and Sohrabi, A., 2010. Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. Australian Journal of Crop Science 4(8): 580-585.

Mao, Z., 1993. Environmental impact of water-saving irrigation for rice. Proceedings of Environmentally Sound Water Resource Utilization, AIT Bangkok, Thailand, 8-11 Nov. p. 143-148.

Mohammadian, R., Moghaddam, M., Rahimian, H., and Sadeghian, S.Y., 2005. Effect of early season drought stress on growth characteristics of sugar beet genotypes. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 29: 357-368.

Nahvi, M., 2000. Determination of best irrigation period based on growth analysis and gain yield (Khazar cultivar). Thesis of M.Sc., Azad Islamic University of Karaj, Karaj, Iran. (In Persian)

Nazarli, H., and Zardashti, M.R., 2010. The effect of drought stress and super absorbent polymer (a200) on agronomical traits of sunflower (*Helianthus annuus* L.) under field condition. Cercetări Agronomice în Moldova 3(12): 5-14.

Ngugi, K., Collins, J.O., and Muchira, S., 2013. Combining, earliness, short anthesis to silking interval and yield based selection indices under intermittent water stress to select for drought tolerant maize. Australian Journal of Crop Science 7: 2014–202.

Nguyen, H.T., Fischer, K.S., and Fukai, S., 2009. Physiological responses to various water saving systems in rice. Field Crops Research 112(2): 189-198.

Nouri Azhar, J., and Ehsanzedeh, P., 2007. Study of relationship of some growth indices and yield of five corn hybrids at two irrigation regimes in Esfahan region. Journal of Science and Technology 41: 261-272.

Nwadukwe, P.D., and Chude, V.O., 1998. Manipulation of the irrigation schedule of rice as a means of maximizing water use efficiency and irrigation efficiency in the semi-arid tropics. Journal of Arid Environments 40(3): 331-339.

Pan, J., Liu, Y., Zhong, X., Lampayan, R.M., Singleton, G.R., Huang, N., Liang, K., Peng, B., and Tian, K., 2017. Grain yield, water productivity and nitrogen use efficiency of rice under different water management and fertilizer-N inputs in South China. Agricultural Water Management 184: 191-200.

Rajala, A., Hakala, K.P., Makela, S., Murinen, D., and Peltone- Sainio, P., 2009. Spring wheat response to timing of water deficit through sink and grain filling capacity. Field Crops Research 114(2): 236-271.

Rezaei Estakhroeih, A., Sedaghat, M., Arabzadeh, B., and Sayyari, N., 2017. Effect of innovative irrigation methods on yield and yield components of rice (Shiroodi cultivar). Journal of Water and Irrigation Management 6(2): 193-204. (In Persian with English Summary)

Ricardo, J.H., Dardanelli, J.I., Maia, E., and Collino, D.J., 2008. Seed yield determination of peanut crops under water deficit, soil strength effects on pod set, the source-sink ratio and radiation use efficiency. Field Crops Research 109: 24-33.

Roderick, M., Florencia, G.R., Rodriguez, G.D.P., Lampayan, R.M., and Bouman, B.A.M., 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.

Sedaghat, N., Pirdashti, H., Asadi, R., and Mousavi-Taghani, Y., 2015. Effect of different irrigation methods on rice water productivity. Journal of Water Research in Agriculture 28(1): 1-9.

Singh, Y.P., and Misra, J.P., 1974. Evaluation of yield and yield component of rice (*Oryza sativa* L.) in deferent irrigation management. Indian Journal of Agronomy 19: 60-63.

Sorte, N.V., Deolate, R.D., Shastri, N.R., Kukade, N.N., and Bhute, M.G., 1992. Effect of short term water stress on yield and yield attributes in upland paddy cultivars. Journal of Soils and Crops 2: 11-16.

Tabbal, D.F., Bouman, B.A.M., Bhuiyan, S.I., Sibayan, E.B., and Sattar, M.A., 2002. On-Farm strategies for reducing water input in irrigated rice: Case studies in the Philippines. Agricultural Water Management 56(2): 93-112.

Tarahomi, G., Lahuti, M., and Abasi, F., 2010. Effects of drought stress on changes in soluble carbohydrates, chlorophyll and potassium in *Salvia leriifolia* Benth. Journal of Biological Sciences 3: 1-7.

Tuong, T.P., and Bhuiyan, S.I., 1999. Increasing water-use efficiency in rice production: Farm level perspectives. Agricultural Water Management 40(1): 117-122.

Tuong, T.P., and Bouman, B.A.M., 2003. Rice production in water-scarce environments. In: J.W. Kijne et al. (Eds.) Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement, Issue 1 of Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series. CABI Publishing. Cambridge, USA, p. 53-67.

Ucan, K., Killi, F., Gencoglan, C., and Merdun, H., 2007. Effect of irrigation frequency and amount on water use efficiency and yield of sesame (*Sesame indicum* L.) under field conditions. Field Crops Research 101: 249-258.

Yambo, E.B., and Ingram, K.T., 1988. Drought stress index for rice. Philippines, Journal of Crop Science 13: 150-111.

Yordanova, R., and Popova, L., 2007. Effect of exogenous treatment with salicylic acid on photosynthetic activity and antioxidant capacity of chilled wheat plants. General and Applied Plant Physiology 33 (3-4): 155-170.

Yoshida, S., 1981. Fundamentals of rice crop science. Los Banos, Philippine International Rice Research Institute Press.

Zakaria, S., Matsuda, T., Tajima, S., and Nitta, Y., 2002. Effect of high temperature at ripening stage reserve accumulation in seed in some rice cultivars. Plant Production Science 5: 160-168.

Zhang, P., Feng, B., Wang, P., Dai, H., Song, H., GAO, X., GAO, J., Chen, J., and Chai, Y., 2012. Leaf senescence and activities of antioxidant enzymes in different broomcorn millet (*Panicum miliaceum* L.) cultivars under simulated drought condition. Journal of Food, Agriculture and Environment 10(2): 438-444.

Zhong, W.W., Liu, J.Q., Zhou, X.B., Chen, Y.H., and Bi, J.J., 2015. Row spacing and irrigation effect on radiation use efficiency of winter wheat. Journal of Animal and Plant Science 25(2): 448-455.

Zhu, Q.S., Zhang, Z.J., Yang, J.C., and Cao, X.Z., 1997. Source–Sink characteristics related to the yield in inter subspecific hybrid rice. Scientia Agricultura Sinica 30: 52-59. (In Chinese with English Summary)

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.4, Winter 2021, p. 595-612

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، ص ۶۱۲-۵۹۵

Effect of Rotational Irrigation on Physiological Growth Indexes and Water Use of Four Rice (*Oryza sativa* L.) Cultivars in Gilan Province

H. Asghari Lalami[1], S.A. Valadabadi[2], M. Yazdani[3], H. Zakrin[2] and M.A. Gholipour[4]
Submitted: 03-10-2018
Accepted: 27-09-2020

Asghari Lalami, H., Valadabadi, S.A., Yazdani, M., Zakrin, H., and Gholipour, M.A., 2021. Effect of rotational irrigation on physiological indexes growth and water use of four rice (*Oryza sativa* L.) cultivars in Gilan province. Journal of Agroecology 12(4):595-612.

Introduction

Rice (*Oryza sativa* L.) as the second most important crop globally and provides 80% calorie and 5% protein requirement of people is Southeast Asia. After wheat, the rice is main food of the Iranian people. This plant is cultivated in 15 provinces of the country on an area of about 600,000 hectares. Up to 1961 rice production in Iran was able to answer the internal rice requirement but at present due to population increase and economic enhancement compared to previous decades, production is less than requirement amount so there are so much importing rice the moment. Water is most limiting factor for rice production in Iran. Among other crops, rice with consumption of 80% of Southeast Asia use the highest share of water. About 70% of share of 25% global regular water is consumed by agriculture and 25-30% of has been in use for rice production. Rice is a large water consumer and its yield quite depends on climate and thus deficit water as a consequence of it. The main tendency of the Iranian people is, to consume quality rice cultivars such as Hashemi, Sadri, Ali Kazemi, Sadri Domsiah. They have a long slender grain and a head rice recovery (HRR) of 60 to 63 percent, an intermediate amylose content (AC), aroma and elongation qualities. However water is the main limitation of rice cultivation in Iran and management of water supply, distribution and consumption along with proper yield, has a major role in the continuation of rice production in Iran. So selection of cultivars compatible with intermittent irrigation management and at the same time, relatively good quality and higher yield, increases Physical productivity of water and farmers incomes.

Materials and Methods

This experiment was conducted as split-plot based on complete block design with three replications in Rice Research Center in 2014 and 2015. The employed treatments consisted of five irrigation levels (permanent flood, and rotational by 5, 8, 10 and every 15 days) and four cultivars (Khazar, Gilane, Hashemi, and 8431) as main and sub-factors, respectively. After transplanting, for the first 15 days no irrigation was applied till fully established of plants. At raining situations, water level was determined before rainfall to prevent more water than was already determined as treatment. Main ground was two times ploughed. Transplanting was done on 15 April using transplants with 20-25 cm length and have 4 to 5 leaves. Before transferring the transplants, the transplanted ground was irrigated for easier pull out of transplants and no damage imposed to roots. Trains including leaf and stem dry weight, leaf area index (LAI), crop growth rate (CGR), net assimilation rate (NAR), leaf area ratio (LAR), relative growth rate (RGR) and specific leaf area (SLA) were measured at booting stage.

Results and Discussion

Study results showed that the interaction of irrigation and cultivar was significant ($p\leq0.01$) for leaf and stem dry weight, LDW, TDW, and NAR. In addition, LAI, LWR were also significant ($p\leq0.01$) for irrigation treatment. Daily irrigation resulted in highest yield and at no stress condition (daily irrigation) the cultivar 8431 and Hashemi showed the highest and lowest growth respectively. Under 5 and 8 days interval irrigation the cultivar 8431 showed that highest tolerance to water stress while Hashemi was the weakest ne. Under intensive

1 and 2- Ph.D. Student and Assistant Professor of Islamic Azad University, Takestan Branch, Iran, Respectively.
3 and 4- Associate Professor and Assistant Professor Rice Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Rasht, Iran, Respectively.
(*- Corresponding Author Email: valadabadi97@gmail.com)
Doi:10.22067/jag.v12i4.75721

stress (irrigation levels of 10 and 15 days) Khazar showed the highest tolerance but Gilane showed the least tolerance. Therefore, knowledge of various cultivars response is quite vital for any management to achieve the highest yield at water-limited conditions.

Conclusion

This study showed that permanent flood water is the ideal condition for rice to produce the highest yield. As time interval of irrigation increased rice plants yield decreased. Under optimum condition, Hashemi showed the poorest cultivar while 8431 cultivar showed superior across all cultivars. Similar results obtained at irrigation intervals of 5 and 8 days.

Keywords: Food security, Sustainable yield, Water limitation