مدیریت آب و آبیاری
دوره ۱۲ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۴۰۱
صفحه‌های ۴۸۱-۴۶۷
DOI: 10.22059/jwim.2022.333209.936

مقاله پژوهشی:

بررسی تأثیر روش‌های کم‌آبیاری بر عملکرد، آب آبیاری و اجزای عملکرد برنج (رقم بینام)

رضا فیروزپور بندپی[۱]، علی شاهنظری[۲*]، مصطفی یوسفیان[۳]، علی اکبرزاده[۴]
۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
۲. استاد، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
۳. کارشناس، معاونت مؤسسه تحقیقات برنج کشور، آمل، ایران.
۴. دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۸/۰۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۱۹

چکیده
با توجه به ارزش آب در کشاورزی و کمبود فزاینده منابع آب، طی سال‌های اخیر، پژوهشی در سال ۱۳۹۹ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با نُه تیمار و سه تکرار برای بررسی اثر اعمال تیمارهای کم‌آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه برنج (رقم بینام) در شهرستان بابلسر استان مازندران انجام شد. تیمارهای این پژوهش، کم‌آبیاری تنظیم‌شده (RDI) و کم‌آبیاری بخشی ریشه (PRD) در سه تنش خشکی خاک ۱۰، ۳۰ و ۶۰ کیلوپاسکال (RDI_{10}، RDI_{30}، RDI_{60}، PRD_{10}، PRD_{30} و PRD_{60})، تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه برنج (FID) و آبیاری غرقابی (FI_1) و (FI_2) به‌ترتیب به‌عنوان تیمار شاهد آبیاری و شاهد علف هرز بودند. سامانه آبیاری این طرح، نوار تیپ بود. برای اندازه‌گیری مقدار تنش خشکی در تیمارهای کم‌آبیاری، از تانسیومتر و برای محاسبه حجم آب آبیاری، از کنتور حجمی استفاده شد. بر اساس نتایج طرح، تیمار آبیاری غرقابی، بیش‌ترین عملکرد شلتوک و مصرف آب (به‌ترتیب ۶۴۴۲ کیلوگرم در هکتار و ۱۰۸۸۶ مترمکعب در هکتار) را داشت. کم‌ترین عملکرد شلتوک در تیمار RDI_{60} به مقدار ۲۹۹۸ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. کم‌ترین مصرف آب آبیاری مربوط به تیمار PRD_{60} با ۲۱۱۱ مترمکعب در هکتار بود. طبق نتایج، تیمار PRD_{30} باوجود ۳۸ درصد کاهش در عملکرد شلتوک، باعث کاهش ۶۷/۵ درصدی در مصرف آب شد. در مجموع، روش کم‌آبیاری بخشی ریشه علاوه بر عملکرد شلتوک بالاتر نسبت به کم‌آبیاری تنظیم‌شده، موجب صرفه‌جویی بیش‌تر در مصرف آب شد.

کلیدواژه‌ها: آبیاری نوار تیپ، تنش کم‌آبی، ذخیره آب، علف هرز، کم‌آبیاری ناقص ریشه.

Investigation of the effect of deficit irrigation methods on yield, water consumption and yield components of rice (Binam variety)

Reza Firozpour[1], Ali Shahnazari[2*], Mostafa Yousefian[3], Ali Akbarzadeh[4]
1. M.Sc. Student of Irrigation and Drainage Engineering, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
2. Professor, Water Engineering Department, Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
3. Deputy Expert of the National Rice Research Institute, Amol, Iran.
4. Ph.D. Student of Irrigation and Drainage Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
Received: October 30, 2021 Accepted: July 10, 2022

Abstract
It is expected that due to the value of water in the agricultural sector and the reduction of water resources in recent years, methods of adaptation to the conditions ahead will be investigated. A study was carried out to investigate the effects of deficit irrigation on yield components of rice (Binam variety). The experiment was run in the form of a randomized complete block design with nine treatments and three replications in the Babolsar city of Mazandaran province in year 2020. The treatments were regulated deficit irrigation (RDI) and partial root zone drying (PRD) in three drought stresses of 10, 30 and 60 kPa (RDI_{10}, RDI_{30}, RDI_{60}, PRD_{10}, PRD_{30} and PRD_{60}) and full irrigation (FID). Drip tape irrigation system was used as irrigation method. Flood irrigation system was used as an irrigation (FI_1) and weed (FI_2) control treatment. Soil water deficit was measured by a tensiometer and Volumetric meter was used to calculate water consumption. Flood irrigation treatment had the highest yield of rough rice and water consumption (6442 kg / ha and 10886 m^3 / ha). The lowest rice yield was for RDI_{60} treatment with 2998 kg / ha and the lowest water consumption was corresponded to PRD_{60} treatment with 2111 m^3 / ha. According to the results, the applying of PRD method in addition to higher yield than RDI, saved 76.33% in water consumption. The PRD method could be recommended for the region.

Keywords: Partial root zone drying, Tape irrigation, Water deficit stress, Water storage, Weed.

* نویسنده مسئول Email: aliponh@yahoo.com

مقدمه

سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد (فائو)[1]، در سال ۲۰۱۷ تخمین زده است که حدود ۷۰ درصد از آب شیرین موجود در جهان برای آبیاری محصولات کشاورزی استفاده می‌شود (Carracelas *et al*., 2019). کمبود منابع آب شیرین در جهان و افزایش جمعیت، موجب الزام به استفاده بهینه از آب برای دستیابی به کشاورزی پایدار و افزایش عملکرد شده است. کشور ایران از لحاظ موقعیت اقلیمی، در ناحیه خشک و نیمه‌خشک کره زمین واقع شده است. به‌دلیل کمبود نزولات آسمانی و توزیع نامناسب بارش در سطح کشور، آب موردنیاز برای آبیاری گیاهان به‌طور عمده به‌واسطه عملیات آبیاری تأمین می‌شود. محدودیت در منابع آبی کشور، موجب شده که آب، مهم‌ترین نهاده در فرایند تولید، محسوب شود (Karimi Kakhki *et al*., 2010).

برنج به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان تحت آبیاری در جهان، همواره با تقاضای زیاد آب در مقایسه با سایر محصولات زراعی مواجه بوده است. طبق پژوهش‌هایی که توسط سازمان فائو در سال ۲۰۱۸ انجام شد، برنج عمده‌ترین محصول غذایی با مصرف سالانه ٥٤ کیلوگرم برای هر شخص است. سرانه مصرف برنج در ایران، ۳۷ کیلوگرم می‌باشد (Mehrana *et al*., 2020). افزایش عملکرد و کاهش مصرف آب با حفظ کیفیت دانه برنج، یک چالش بزرگ برای پژوهش‌گران در سطح جهان است. با توجه به پژوهش‌های انجام‌شده در کشور، متوسط آب آبیاری در کشت برنج، تقریباً هشت تا ۱۱ هزار مترمکعب در هکتار بوده و برای تولید یک کیلوگرم ماده خشک، حدود ۷۰۰ لیتر آب موردنیاز می‌باشد (Sabokro Fomani *et al*., 2020). روش مرسوم کشت برنج، آبیاری غرقابی با نگه‌داشتن ارتفاع دو تا پنج سانتی‌متری آب روی زمین در طول دوره رشد است (Sabokro Fomani *et al*., 2020). در بعضی کشورها مانند استرالیا نیز در طول دوره رشد، آبی به ارتفاع ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متر روی سطح خاک باقی می‌ماند (Carracelas el at., 2019).

میزان عملکرد محصول که جزو مهم‌ترین اهداف کشاورزی آبی می‌باشد، تابعی از حجم آب مصرفی است. لذا باید به‌دنبال به‌کارگیری روش‌هایی برای کاهش آثار کم‌آبی بود. یکی از راه‌حل‌های مؤثر در این زمینه، استفاده از روش‌های مدیریت آبیاری از جمله کم‌آبیاری می‌باشد (Aghayari *et al*., 2016). از روش‌های کم‌آبیاری می‌توان به کم‌آبیاری تنظیم‌شده (RDI)[2] و کم‌آبیاری بخشی ریشه (PRD)[3] اشاره نمود. هدف اصلی کم‌آبیاری، بهبود کارایی مصرف آب، ضمن کنترل رشد رویشی گیاه می‌باشد (Elhani *et al*., 2019). در کم‌آبیاری تنظیم‌شده، میزان آب آبیاری کم‌تر از نیاز گیاه است. این تنش کم‌آبی در مراحلی اعمال می‌شود که گیاه، حساسیت کم‌تری به وجود آب برای رشد و نمو دارد. در کم‌آبیاری بخشی ریشه، منطقه ریشه به چند ناحیه تقسیم شده و در هر دور آبیاری، یک یا چند ناحیه آبیاری می‌شود و سایر نواحی خشک باقی می‌مانند (Shahnazari & Rezaiyan, 2015). مرطوب و خشک‌شدن ریشه در کم‌آبیاری بخشی ریشه می‌تواند تغییراتی در ارسال سیگنال‌های شیمیایی ریشه به اندام‌های هوایی گیاه، از طریق ترشح هورمون‌هایی مانند آبسزیک‌اسید[4] ایجاد کند. ترشح این هورمون، نقش مهمی در سازگاری گیاهان با شرایط تنش کم‌آبی و تنظیم تخصیص منابع در گیاه دارد (Lipiec *et al*., 2013).

در سامانه‌های آبیاری تحت فشار از جمله آبیاری نوار تیپ، استفاده از روش‌های کم‌آبیاری با تغییر در مدت آبیاری و کاهش عمق آب در هر دور آبیاری امکان‌پذیر می‌باشد. در صورتی‌که اعمال این تغییرات در روش آبیاری سطحی، به‌سادگی امکان‌پذیر نمی‌باشد (Tavakoli, 2013).

پژوهشی توسط Rezaei *et al.* (2013) به‌منظور بررسی تأثیر پنج سطح آبیاری شامل غرقاب دائم، آبیاری تناوبی و آبیاری در نقاط رطوبتی ۱۰۰، ۹۰ و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی بر گیاه برنج انجام شد. بیش‌ترین تعداد پنجه در آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (۲۹/۷ عدد) و کم‌ترین تعداد پنجه در آبیاری۸۰ درصد ظرفیت زراعی (۲۸/۲ عدد)، مشاهده شد.

در پژوهشی که برای بررسی تأثیر آبیاری غرقابی و آبیاری با دوره‌های پنج، ۱۰ و ۱۵ روز بر اجزای عملکرد گیاه برنج توسط Aalaee Bazkiaei *et al.* (2019) انجام شد، بیش‌ترین عملکرد محصول برای تیمار غرقاب (٤٢٧١ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد. هم‌چنین، کم‌ترین عملکرد محصول برای تیمار دور آبیاری ۱۰ روز (۳۱۹٦ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد.

پژوهشی توسط Yosefian *et al.* (2018) در معاونت مؤسسه تحقیقات برنج کشور در مازندران، برای بررسی تأثیر کم‌آبیاری تنظیم‌شده (RDI) و کم‌آبیاری بخشی ریشه (PRD) در سه سطح تنش خشکی ۱۰، ۳۰ و ٦۰ کیلوپاسکال بر اجزای عملکرد گیاه برنج انجام شد. بیش‌ترین طول خوشه، برای تیمار آبیاری کامل (شاهد) به‌دست آمد که غیر از تیمارهای PRD_{10} و RDI_{10}، تفاوت معنی‌دار با سایر تیمارها داشت و مقدار آن برای دو سال، به‌ترتیب ۲۸/۱ و ۲۸/۲ سانتی‌متر بود. کم‌ترین طول خوشه، در تیمار RDI_{60} (۲٤/٥ و ۲۳/٥ سانتی‌متر) اندازه‌گیری شد. بیش‌ترین ارتفاع گیاه برای تیمار آبیاری غرقابی (۱۳۳/۹ و ۱۳٤/۷ سانتی‌متر) ثبت شد و کم‌ترین ارتفاع، برای تیمار RDI_{60} (۱۰٦/۳ و ۱۰۷/۱ سانتی‌متر) به‌دست آمد.

رشد علف‌های هرز و رقابت آن با گیاهان زراعی به‌خصوص در مزارع شالیزاری از دیگر مشکلاتی است که در بخش کشاورزی وجود دارد، اما در شرایط تنش خشکی خاک، رشد علف‌های هرز کاهش می‌یابد. کریمی آرپناهی و همکاران در سال ۱۳۹۲ در دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، تأثیر تنش خشکی بر علف هرز اویارسلام (از جمله علف‌های هرز مزارع برنج) را موردبررسی قرار دادند. تیمارهای این پژوهش، شامل شش دور آبیاری (۳، ٦، ۹، ۱۲، ۱۵ و ۱۸ روز) بوده است. طبق نتایج پژوهش، بیش‌ترین ارتفاع علف هرز در تیمار با دوره آبیاری سه روز (۷٦ سانتی‌متر) گزارش شده است. تیمار آبیاری با دوره ۱۸ روز باعث کاهش ٦۲/٤۳ درصدی در ارتفاع علف هرز نسبت به دوره سه روز شد و کم‌ترین ارتفاع علف هرز را داشت (Karimi Arpanahi *et al.*, 2017).

به‌منظور تعیین واکنش گیاه برنج به کم‌آبیاری، بایستی پژوهش‌هایی در سطح مزرعه انجام شود و اثر آن در مقایسه با روش‌های مرسوم آبیاری تعیین شود. برای رسیدن به این هدف، باید داده‌های مزرعه‌ای مانند میزان عملکرد، مقادیر متفاوت مصرف آب و انواع مدیریت‌های آبیاری در دسترس باشد. در رابطه با اثرات استفاده از کم‌آبیاری تنظیم‌شده و کم‌آبیاری بخشی ریشه بر گیاهان مختلف زراعی، پژوهش‌هایی انجام شد. اما در خصوص برنج به‌عنوان یک محصول استراتژیک، پژوهش‌های اندکی منتشر شده است. هم‌چنین در کم‌تر پژوهشی آثار روش‌های کم‌آبیاری بر رشد علف‌های هرز در اراضی شالیزار موردبررسی قرار گرفته است. لذا هدف از این پژوهش، بررسی اثرات روش‌های کم‌آبیاری تنظیم‌شده و کم‌آبیاری بخشی ریشه با استفاده از سامانه آبیاری نوار تیپ بر عملکرد، حجم آب آبیاری و اجزای عملکرد گیاه برنج (رقم بینام) و هم‌چنین مقایسه رشد علف‌های هرز بین تیمارهای مختلف و در نهایت، انتخاب روش برتر برای سازگای بهتر با گیاه برنج می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش، در سال زراعی ۱۳۹۹ در شهرستان بابلسر استان

مازندران انجام شد. این طرح، در قالب بلوک‌های کامل تصادفی و شامل نُه تیمار و سه تکرار بود. برنج موردمطالعه در این پژوهش، رقم بینام بوده است. تیمارها شامل:

RDI_{10}: آبیاری همه نوار تیپ‌ها در زمان رسیدن عدد تانسیومتر به ۱۰ کیلوپاسکال (اشباع دائم خاک در ناحیه ریشه)

RDI_{30}: آبیاری همه نوار تیپ‌ها در زمان رسیدن عدد تانسیومتر به ۳۰ کیلوپاسکال (ظرفیت زراعی)

RDI_{60}: آبیاری همه نوار تیپ‌ها در زمان رسیدن عدد تانسیومتر به ٦٠ کیلوپاسکال (تنش خشکی شدید خاک)

PRD_{10}: آبیاری یک درمیان نوار تیپ‌ها در زمان رسیدن عدد تانسیومتر به ۱۰ کیلوپاسکال (اشباع دائم خاک در ناحیه ریشه)

PRD_{30}: آبیاری یک درمیان نوار تیپ‌ها در زمان رسیدن عدد تانسیومتر به ۳۰ کیلوپاسکال (ظرفیت زراعی)

PRD_{60}: آبیاری یک درمیان نوار تیپ‌ها در زمان رسیدن عدد تانسیومتر به ٦٠ کیلوپاسکال (تنش خشکی شدید خاک)

FID^{5}: آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی برنج با سیستم آبیاری نوار تیپ

FI_1^{6}: آبیاری غرقابی برنج به‌عنوان تیمار شاهد که در واقع روش مرسوم منطقه برای کشت برنج می‌باشد.

FI_2: آبیاری غرقابی برنج به‌عنوان تیمار شاهد رشد علف‌های هرز که عملیات مرسوم وجین در آن انجام نشده است.

ابعاد مزرعه پژوهش، ۱۷×۳۰ متر بود. سامانه آبیاری این پژوهش به‌جز تیمارهای غرقابی، آبیاری نوار تیپ بود. منبع تأمین آب، چاهی با شوری ۱/۹ دسی‌زیمنس بر متر و اسیدیته (pH) ۷/۲ بوده است. بر اساس آزمایش آب و خاک در مزرعه پژوهش، محدودیتی برای کشت برنج ندارد (جدول ۱).

برای اجرای طرح، در ابتدا زمینی با ابعاد ٦×۳ متر برای خزانه نشای برنج، شخم و آماده شد (اواسط فروردین‌ماه ۱۳۹۹). پس از ضدعفونی بذور توسط محلول ویتاواکس و خیساندن آن‌ها برای ظهور جوانه، در اول اردیبهشت‌ماه سال ۱۳۹۹، بذرپاشی انجام شد. در مدت نگهداری نشای برنج در خزانه، آبیاری به روش غرقابی انجام می‌شد. زمین اصلی با استفاده از دستگاه کولتیواتور، شخم زده شد و خاک مزرعه برای انجام کشت‌وکار آماده شد. سپس به‌دلیل ناهمواری‌های مزرعه، در بیست و پنجم فروردین‌ماه سال ۱۳۹۹، تسطیح زمین به‌صورت دستی (با چنگک و کج بیل) انجام گرفت. پس از تسطیح، مزرعه به کرت‌هایی به ابعاد ٤×۳ متر تقسیم‌بندی شد. برای طراحی سامانه آبیاری این طرح، نوار تیپ‌ها، با فاصله ۳۰ سانتی‌متر از یکدیگر، در وسط ردیف‌های کاشت برنج، قرار داده شدند. برای کنترل بهتر تیمارهای کم‌آبیاری بخشی ریشه (آبیاری یک در میان)، در ابتدای همه نوار تیپ‌ها، شیر نصب شد.

پس از گذشت سی روز، گیاهچه‌های برنج به مرحله چهار برگی رسیدند و در اول خردادماه، عملیات نشاکاری با فواصل کاشت ۳۰×۱۵ سانتی‌متر به‌صورت دستی در زمین اصلی انجام شد. داده‌های هواشناسی مربوط به محل پژوهش، در جدول (۲) آمده است (اداره کل هواشناسی استان مازندران).

Table 1. Soil physical and chemical properties

EC (ds/m)	pH	Organic Carbon (%)	Organic matter (%)	Total Neutralizing Value (%)	Total Nitrogen (%)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Clay	Loam	Sand	Soil texture
1.66	7.48	3.01	5.19	13.5	0.3	42.7	351	55	28	17	Clay

Table 2. Meteorological parameters for 2020 growth season

Month	Mean Temp (℃)	Rainfall (mm)	Mean humidity (%)	Evaporation (mm)
May	21.7	4.2	72.7	120.8
June	26	11.8	69.9	178.9
July	28	20	74	161.7
August	25.9	81.6	75.7	123.2

برای اندازه‌گیری حجم آب آبیاری تیمارها، از کنتور حجمی با سایز یک اینچ استفاده شد. برای تعیین دور آبیاری، تعداد ۲۱ تانسیومتر که از قبل کالیبره شدند در عمق ۲۰ سانتی‌متری سطح زمین نصب شدند. آبیاری تیمارهای مختلف، پس از رسیدن عدد تانسیومتر به ۱۰، ۳۰ و ٦۰ کیلوپاسکال انجام می‌شد. برای محاسبه حجم آب آبیاری تیمارها در هر دور آبیاری، رطوبت حجمی خاک در سه تنش ۱۰، ۳۰ و ٦۰ کیلوپاسکال، با استفاده از آون و ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد که به‌ترتیب ٤۱/۵، ۳۹/۰۳ و ۲۵/۱۷ درصد بوده است. آبیاری هر تیمار، پس از رسیدن به حالت اشباع خاک یا به‌عبارتی، تنش صفر کیلوپاسکال به اتمام می‌رسید. با اندازه‌گیری رطوبت حجمی خاک اشباع که ٤۹ درصد بوده، حجم آب موردنیاز برای آبیاری با استفاده از رابطه (۱) و ضرب عدد حاصل از آن در مساحت هر بلوک برای تیمارهای مختلف، محاسبه شد. بر اساس گزارش FAO-56، ضریب MAD[۷] (ضریب تخلیه مجاز رطوبتی) برابر ۰/۲ و عمق توسعه ریشه برنج (D)، ۰/۵ متر و θ درصد رطوبت حجمی خاک می‌باشد.

$$\text{Irrigation water depth} = (\text{MAD})(D_{rz})(\theta_{\text{Zero stress}} - \theta_{\text{Different stresses}})/100 \quad (۱)$$

با توجه به حساسیت برنج به تنش خشکی در دوره استقرار کامل (۲۵ روز اول پس از نشا)، هیچ‌گونه تنشی به گیاه وارد نشد و همه تیمارها به‌صورت روزانه آبیاری شدند. از طرفی در دوره استقرار، برای تیمار FID در روزهایی که دمای هوا بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد بود، برای جلوگیری از تنش خشکی، دو آبیاری در یک روز انجام شد. در زمان اعمال کم‌آبیاری، با توجه به رابطه (۱)، در تیمار تنش ۱۰ کیلوپاسکال، حجم آب آبیاری در هر دور برابر ۷۷ مترمکعب در هکتار بوده است. در تیمارهای تنش ۳۰ کیلوپاسکال، حجم آب آبیاری در هر دور، ۱۰۲ مترمکعب در هکتار بود و دور آبیاری با توجه به قرائت تانسیومترها، تقریباً سه روز بود. در تیمارهای تنش ٦۰ کیلوپاسکال، به‌دلیل بافت سنگین خاک، با توجه به قرائت تانسیومترها، خاک تقریباً هر ۱۰ روز به این مقدار از تنش می‌رسید و حجم آب آبیاری برای هر دور طبق محاسبات، ۲٤۰ مترمکعب در هکتار بوده است. با توجه به حساسیت گیاه به تنش در دوره گلدهی، به تیمارهای تنش ۱۰ و ۳۰ کیلوپاسکال در این بازه زمانی، هر روز ۷۰ مترمکعب آب در هکتار و به تیمارهای تنش ٦۰ کیلوپاسکال، هر سه روز مقدار ۷۰ مترمکعب آب در هکتار داده شد. لازم به ذکر است که در همه تیمارهای کم‌آبیاری بخشی ریشه به دلیل این‌که در هر دور، مساحت کم‌تری از زمین، آبیاری می‌شد، بنابراین حجم آب آبیاری این تیمارها همواره کم‌تر از میزان حجم آب محاسبه شده بود.

پارامترهای ارتفاع گیاه، شاخص سطح برگ، کلروفیل و تعداد پنجه، به‌صورت هفتگی، از زمان شروع اعمال کم‌آبیاری (بیست و پنجم خردادماه) اندازه‌گیری شدند. تعداد، تنوع، وزن خشک و تر علف هرز، در مرحله گلدهی (بیست و چهارم تیرماه) تعیین شدند. طول خوشه، عملکرد شلتوک، وزن هزاردانه و شاخص برداشت، در زمان برداشت محصول (۲٦ مردادماه) اندازه‌گیری شدند.

به‌منظور تعیین ارتفاع گیاه، فاصله عمودی سطح خاک تا بالاترین قسمت بوته گیاه برنج توسط متر اندازه‌گیری شد. طول خوشه، از محل قرارگیری آخرین گره خوشه تا انتهای

آن، با خط‌کش مدرج به‌دست آمد. میزان کلروفیل گیاه، با دستگاه اسپد (SPAD)، برای برگ‌های جوان بوته گیاه اندازه‌گیری شد. تعداد پنجه کل، با شمارش به‌دست آمد. برای محاسبه شاخص سطح برگ (LAI)[۸]، در ابتدا به‌وسیله متر، طول و عرض همه برگ‌های بوته اندازه‌گیری‌شده و سپس با استفاده از رابطه (۲)، مساحت برگ محاسبه شد:

$$LA\ (cm^2) = K \times Leaf\ Length\ (cm) \times Leaf\ Width(cm) \quad (۲)$$

که در این رابطه، K ضریب تصحیح رقم برنج که برابر با ۰/۷۵ می‌باشد، Leaf Length طول برگ‌های یک بوته و Leaf Width عرض قسمت وسط برگ‌های یک بوته می‌باشد. سپس با استفاده از رابطه (۳)، شاخص سطح برگ به‌دست آمد:

$$LAI = \frac{\text{sum of the leaf area of all leaves } (cm^2)}{\text{ground area of field where the leaves have been collected } (cm^2)} \quad (۳)$$

در صورت کسر رابطه فوق، عدد به‌دست‌آمده از رابطه (۲) و در مخرج، سطح سایه‌انداز مربوط به هر بوته برابر ٤٥٠ سانتی‌مترمربع، جایگذاری شد (Yoshida, 1981). برای تعیین عملکرد شلتوک، در ابتدا از هر بلوک، پنج مترمربع برنج برداشت شد. به‌طوری‌که از دو ردیف گیاه در نزدیکی مرز بلوک‌ها، نمونه گرفته نشد. سپس دانه‌های برنج با استفاده از خرمن‌کوب، از ساقه‌ها جدا شده و توسط ترازو دیجیتال، توزین شدند. رطوبت شلتوک هر تیمار، با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج اندازه‌گیری شد. سپس با اعمال ضریب تصحیح رطوبت شلتوک در رطوبت استاندارد ١٤ درصد، عملکرد شلتوک محاسبه شد. برای محاسبه شاخص برداشت، ابتدا از هر بلوک، پنج بوته از سطح زمین قطع شد. سپس به‌مدت ٤٨ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از خشک‌شدن گیاه، وزن هر بوته و شلتوک آن، به‌وسیله ترازو دیجیتال اندازه‌گیری شد. در ادامه دانه‌های پر از اندام هوایی گیاه جدا شد و وزن شلتوک جداگانه به‌دست آمد. شاخص برداشت، با تقسیم وزن شلتوک در یک بوته بر مجموع وزن خشک اندام هوایی و شلتوک در آن بوته، محاسبه شد. اندازه‌گیری وزن هزاردانه توسط ترازو دیجیتال انجام شد. پارامترهای تعداد و تنوع علف هرز، با نمونه‌برداری از پنج مترمربع در هر کرت و شمارش آن‌ها تعیین شد. وزن تر علف‌هرز، توسط ترازوی دیجیتال، اندازه‌گیری شد. سپس، نمونه‌ها در آون به‌مدت ٤٨ ساعت و دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و با توزین توسط ترازوی دیجیتال، وزن خشک علف‌هرز اندازه‌گیری شد. بررسی آماری داده‌های پژوهش با استفاده از نرم‌افزار SPSS و مقایسه میانگین داده‌ها بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد شلتوک

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳)، حاکی از آن است که تیمارهای کم‌آبیاری در سطح احتمال یک درصد، اختلاف معنی‌داری در عملکرد شلتوک ایجاد کردند. با توجه به جدول (٤)، بیش‌ترین عملکرد شلتوک، برای تیمار آبیاری غرقابی (٦٤٤٢ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد و در کلاسی متفاوت نسبت به سایر تیمارها قرار گرفت. بعد از آبیاری غرقابی، تیمار FID (۵۱۸۳ کیلوگرم در هکتار) بیش‌ترین عملکرد را داشت که با تیمارهای PRD_{10} و RDI_{10} از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت. تیمار RDI_{60} (۲۹۹۸ کیلوگرم در هکتار)، کم‌ترین میزان عملکرد شلتوک را به‌خود اختصاص داد که باعث کاهش ۵۳/٤٦ درصدی نسبت به آبیاری غرقابی شد و تفاوت معنی‌داری با بقیه تیمارها داشت. بنابراین، با افزایش شدت تنش خشکی، عملکرد شلتوک هم کاهش بیش‌تری یافت که با نتایج پژوهش Aalaee Bazkiaei *et al.* (2019) تطابق

دارد. عملکرد شلتوک در تیمارهای کم‌آبیاری بخشی ریشه بیش‌تر از کم‌آبیاری تنظیم‌شده در تنش‌های مشابه بود که از دلایل آن می‌توان به تفاوت در رشد سیستم ریشه و تولید هورمون آبسیزیک‌اسید (ABA) اشاره نمود (Yosefian *et al*., 2018).

از جمله نکات مدیریتی مهم در این پژوهش، عدم اعمال کم‌آبیاری در مرحله گلدهی بوده است، زیرا در این مرحله ایجاد تنش کم‌آبی موجب کاهش در عملکرد شلتوک از طریق کاهش فتوسنتز می‌شود (Limouchi *et al*., 2016).

حجم آب آبیاری

براساس جدول (۳)، حجم آب آبیاری گیاه برای تیمارهای مختلف در سطح یک درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین حجم آب آبیاری، مربوط به تیمار آبیاری غرقابی (۱۰۸۸۶ مترمکعب در هکتار) بود که در محدوده مرسوم مصرف آب شالیزار در منطقه مورد آزمایش، بوده است و در کلاس متفاوتی نسبت به تیمارهای دیگر قرار گرفت. پس از آبیاری غرقابی، تیمار FID با مقدار ۷۱۲۲ مترمکعب در هکتار، بیش‌ترین حجم آب آبیاری را داشته است که با تیمارهای کم‌آبیاری اختلاف معنی‌داری داشت. کم‌ترین حجم آب آبیاری در تیمار PRD_{60} (۲۵۵۶ مترمکعب در هکتار) رخ داده است. بنابراین بیش‌ترین صرفه‌جویی آب به میزان ۷۶/۵ درصد نسبت روش مرسوم آبیاری (غرقابی)، مربوط به این تیمار بوده است که اختلاف معنی‌داری با RDI_{60} نداشت. بر اساس گزارش Pandey & Shukla (2015)، کم‌آبیاری، سازوکاری برای کاهش مصرف آب در گیاهان می‌باشد اما پیامدهایی مانند کاهش عملکرد دانه را در پی دارد. تیمارهای کم‌آبیاری بخشی ریشه به‌علت آبیاری یک طرف ریشه در هر نوبت آبیاری، از لحاظ مصرف آب، صرفه‌جویی بیش‌تری نسبت به تیمارهای کم‌آبیاری تنظیم‌شده داشتند. بر اساس نتایج پژوهش، روش کم‌آبیاری بخشی ریشه نسبت به کم‌آبیاری تنظیم‌شده دارای برتری می‌باشد چون از یک‌سو موجب صرفه‌جویی بیش‌تر در مصرف آب شده و از سوی دیگر، کاهش عملکرد کم‌تری در اثر اعمال تنش خشکی، داشته است.

Table 3. Analysis of variance of the effect of different deficit irrigation treatments on rice traits

Sources of variation	df	Mean Square						
		Yield	Total water use	Plant height	1000 grains weight	Cluster Length	Total tillers	Harvest Index
Block	2	29039.3	97001.6	1.29	6.39	0.052	0.914	2.26
Treatment	7	3700127.8**	25504070.25**	106.05**	0.173^{ns}	14.96**	30.3**	55.87**
Error	14	52471.5	142238	3.22	3.26	5.19	3.2	7.29
C.V (%)	---	5.13	6.53	1.56	5.6	9.31	1.56	6.4

**, *, ns: Significant different at 1% and 5% probability levels and non-significant difference, respectively.

Table 4. Effects of deficit irrigation treatments on different rice traits

Treatment	Yield (kg/ha)	Total water use (m^3/ha)	Plant height (cm)	1000 grains weight (gr)	Cluster Length (cm)	Total tillers	Harvest Index (%)	Leaf Area Index	Chlorophyll
FI_1	6442a	10886a	125.53a	32.58a	27.94a	26.25a	46.44a	5.14a	45.93a
FID	5183b	7122b	121.24b	32.57a	26.61ab	23.74ab	46a	4.43b	44.41a
RDI_{10}	4896b	6212c	114.56cd	32.39a	24.66abc	22.06bc	45.04a	3.5cd	43.18a
PRD_{10}	4945b	5857c	117.25c	32.41a	25.18abc	21.8bcd	45.18a	3.86bc	44.36a
RDI_{30}	3712cd	3992d	113.36d	32.06a	23.82abc	18.81cde	36.35c	3.06de	42.9a
PRD_{30}	3988c	3531d	114.46cd	32.32a	24.24	19.55cde	39.97bc	2.85de	43.95a
RDI_{60}	2998e	2738e	103.86e	31.92a	20.85c	16.41e	35.76c	2.41e	36.1b
PRD_{60}	3543d	2557e	105.31e	32.11a	22.43bc	18.56de	42.69ab	2.69e	40.2b

For a given variable, mean values not sharing common letters are significantly different (P≤0.05), Duncan test.

ارتفاع گیاه

طبق نتایج به‌دست‌آمده، بلندترین ارتفاع گیاه برنج برای تیمار آبیاری غرقابی (۱۲۵/۵۳ سانتی‌متر) به‌دست آمد که در کلاسی متفاوت با سایر تیمارها قرار گرفت. تفاوت تیمارها از لحاظ آماری در سطح یک درصد معنی‌دار بود. کوتاه‌ترین ارتفاع گیاه، مربوط به تیمار RDI_{60} (۱۰۳/۸۶ سانتی‌متر) بود که ۱۷/۲۶ درصد کاهش در ارتفاع ایجاد کرد و با نتایج پژوهش Katuzi *et al.* (2016) مطابقت داشت. تیمارهای RDI_{10}، RDI_{30} و PRD_{30} با هم اختلاف معنی‌داری نداشتند. شکل (۱)، نشان‌دهنده روند تغییرات ارتفاع گیاه برنج به‌صورت هفتگی، برای تیمارهای مختلف کم‌آبیاری می‌باشد. این شکل، نمایانگر سرعت رشد کم‌تر ارتفاع برنج در تیمارها با تنش آبی شدید نسبت به آبیاری غرقابی (FI_1) و آبیاری کامل (FID) می‌باشد. با توجه به روند تغییرات ارتفاع، تقریباً تا ۶۰ روز بعد از نشا، شیب افزایش ارتفاع برای تیمارهای مختلف (به‌ویژه تیمارها با تنش خشکی کم‌تر) زیاد بوده و پس از این زمان، شیب به‌تدریج کاهش یافته است. لذا می‌توان تنش‌های خشکی شدید خاک را ۶۰ روز بعد از نشا اعمال نمود و کم‌آبیاری را به‌صورت پویا انجام داد. زیرا با توجه به شکل (۲)، ارتفاع گیاه رابطه مستقیمی با میزان عملکرد شلتوک دارد و این روش مدیریتی موجب بهبود عملکرد گیاه می‌شود. هم‌چنین، نرخ افزایش ارتفاع در تیمار آبیاری غرقابی و تیمارها با تنش خشکی کم، تقریباً تا ۶۰ روز بعد از نشا، بیش‌تر از تیمارهای تنش خشکی شدید بوده است.

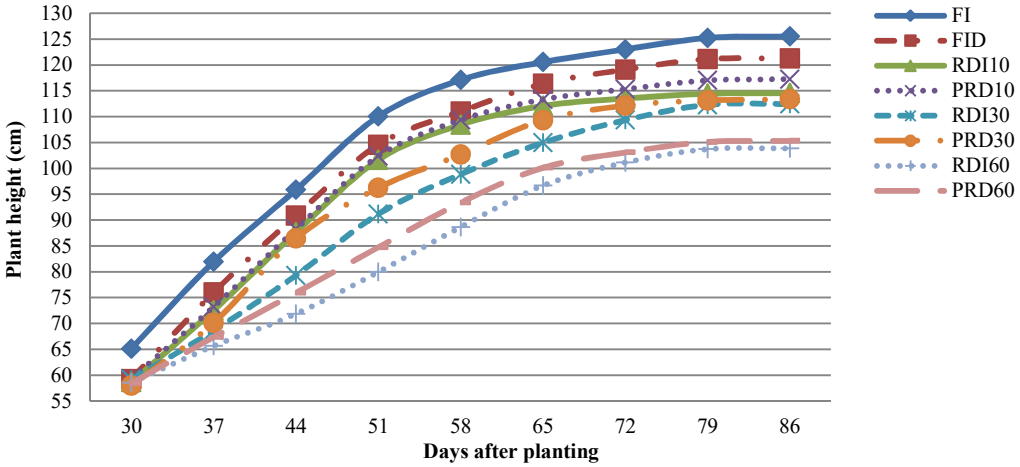

Figure 1. The trend of plant height during growing season in the different deficit irrigation treatments

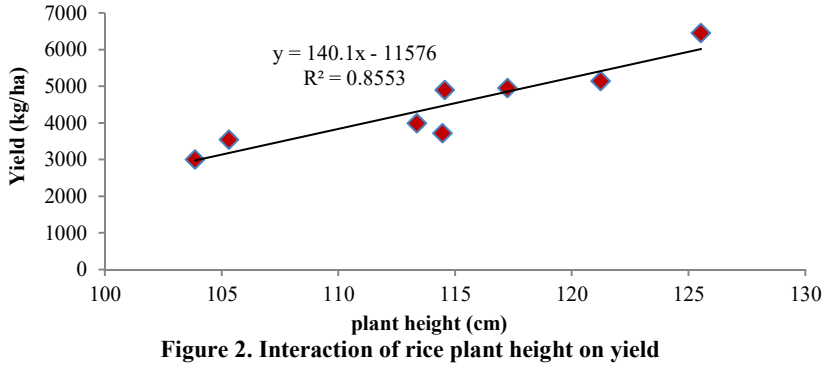

Figure 2. Interaction of rice plant height on yield

تعداد پنجه کل

همان‌طورکه در جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) مشاهده می‌شود، تأثیر تیمارهای کم‌آبیاری روی این پارامتر در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است. بیش‌ترین تعداد پنجه کل، مربوط به تیمار FI_1 (۲۶/۲۵ عدد) بود که با تیمار FID تفاوت معنی‌داری نداشت. کم‌ترین تعداد پنجه کل، برای تیمار RDI_{60} (۱۶/۴۱ عدد) به‌دست آمد که با تیمارهای RDI_{30}، PRD_{30} و PRD_{60} در یک کلاس مشترک قرار گرفتند. طبق نتایج، با افزایش تنش خشکی، تعداد پنجه کل کاهش می‌یابد. براساس گزارش Aalaee Bazkiaei *et al.* (2019) اعمال کم‌آبیاری، با کاهش شاخص سطح برگ و افزایش رقابت در درون بوته‌ها، موجب کاهش تعداد پنجه کل می‌شود. پژوهشی توسط Baghitabar Firuzjaii *et al.* (2019) در شهرستان محمودآباد بر روی سه شیوه مدیریت آبیاری (غرقاب دائم با نگه‌داشتن پنج سانتی‌متر آب روی سطح زمین، اشباع دائم خاک با ارتفاع آب صفر و کم‌آبیاری تنظیم‌شده با ارتفاع آب منفی پنج سانتی‌متر) روی گیاه برنج (رقم طارم هاشمی) انجام شد. بیش‌ترین تعداد پنجه کل، متعلق به تیمار آبیاری غرقابی (۲۱/۹۳ عدد) بود. تیمار کم‌آبیاری تنظیم‌شده با تنش ۶۰ کیلوپاسکال، کم‌ترین تعداد پنجه کل (۲۰/۱۸ عدد) را به خود اختصاص داد و با این نتایج پژوهش مطابقت داشت. براساس شکل (۳) که روند پنجه‌زنی برنج را به‌صورت هفتگی در طی دوران اعمال کم‌آبیاری نشان می‌دهد، با افزایش تنش خشکی، گیاه برنج، تعداد پنجه کل کم‌تری می‌زند. بر اساس تجزیه واریانس داده‌های هفتگی، تنش خشکی موجب ایجاد تفاوت معنی‌دار در تعداد پنجه کل برنج در طی دوران کم‌آبیاری شد. از طرفی، تا حدود ۴۰ روز بعد از نشا، نرخ افزایش تعداد پنجه کل، زیاد بوده و پس از این زمان، تحت تأثیر تنش خشکی خاک، قرار گرفته است. به‌طوری‌که تیمارهای تنش ۶۰ کیلوپاسکال به‌ویژه تیمار RDI_{60} باعث کاهش شدید در نرخ افزایش تعداد پنجه کل شد.

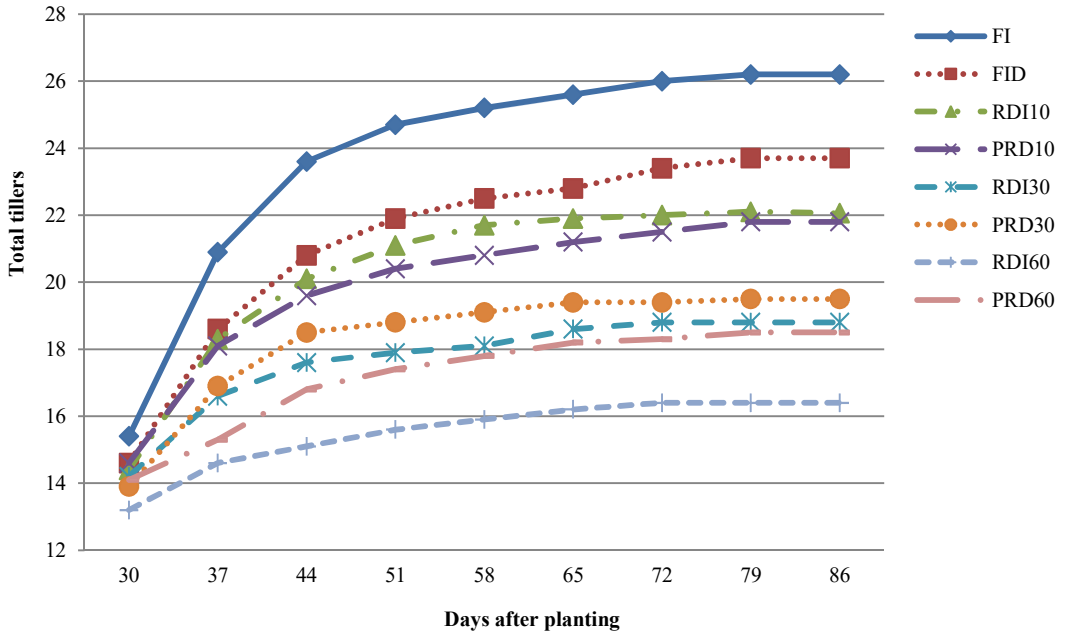

Figure 3. The trend of total tillers during growing season in the different deficit irrigation treatments

شاخص سطح برگ (LAI)

با توجه به جدول (۵)، تأثیر تیمارهای کم‌آبیاری در سطح یک درصد بر شاخص سطح برگ، معنی‌دار بوده است. جدول مقایسه میانگین (جدول ٤) نشان می‌دهد که بیش‌ترین شاخص سطح برگ، برای تیمار آبیاری غرقابی (۵/۱٤) بود و تفاوت معنی‌داری با بقیه تیمارها داشت. تیمارهای FID و PRD_{10} از لحاظ آماری در یک کلاس مشترک قرار گرفتند. کم‌ترین شاخص سطح برگ، برای تیمار RDI_{60} (۲/٤۱) به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای RDI_{30}، PRD_{30} و PRD_{60} نداشت و کاهشی ۵۳/۱ درصدی در این پارامتر نسبت به آبیاری غرقابی ایجاد نمود. طبق پژوهش Bouman *et al.* (2005) روش‌های آبیاری غیرغرقاب نسبت به آبیاری غرقاب دائم باعث کاهش شاخص سطح برگ می‌شود. بر اساس شکل (٤)، شاخص سطح برگ تقریباً تا ٦۰ روز پس از نشا، روندی افزایشی داشت و بعد از آن، تا زمان برداشت محصول، روند به‌صورت کاهشی بوده است و حداکثر شاخص سطح برگ در مرحله گلدهی رخ داد. Sabokro Fomani *et al.* (2020) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که تغییرات شاخص سطح برگ گیاه برنج، در ابتدای فصل رشد، کند بوده اما با اضافه‌شدن برگ‌های بیش‌تر گیاه قبل از شروع گلدهی یعنی حدود ۳۵ روز پس از کاشت گیاه، با سرعت زیادی افزایش یافت. پس از تکمیل دوره گلدهی، از روند افزایشی کاسته شد. در همه تیمارها با شروع رسیدگی فیزیولوژیک، شاخص سطح برگ به حداکثر رسید و بعد از آن کاهش یافت. در این پژوهش، بالاترین شاخص سطح برگ برای تیمار آبیاری هر روزه (۲/۰۳۹) و کم‌ترین آن برای تیمار آبیاری با دوره ۱۵ روز (۱/۲۲۵) به‌دست آمد.

Table 5. Analysis of variance of the effect of different deficit irrigation treatments on rice traits

Sources of variation	df	Mean Square					
		Leaf Area Index	Chlorophyll	Fresh weight of weeds	Dry weight of weeds	Number of weeds	Weed diversity
Block	2	0.37	4.46	2.09	2.34	2.79	0.292
Treatment	7	2.64**	29.02*	3765**	128.5**	349.3**	1.95^{ns}
Error	14	0.16	8.65	16.44	7.19	8.88	0.72
C.V (%)	---	11.42	6.9	3.52	16.11	0.12	0.24

****, *, ns: Significant different at 1% and 5% probability levels and non-significant difference, respectively.**

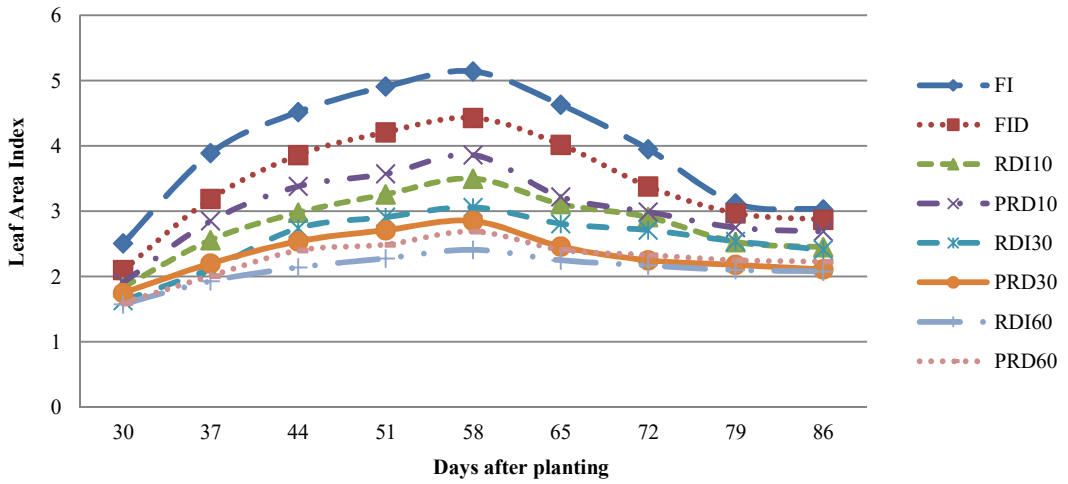

Figure 4. The trend of leaf area index during growing season in the different deficit irrigation treatments

کلروفیل

طبق نتایج تجزیه واریانس، کم‌آبیاری اثرات معنی‌داری در سطح پنج درصد بر کلروفیل برنج ایجاد کرد. بیش‌ترین میزان کلروفیل، در تیمار آبیاری غرقابی (۴۵/۹۳) رخ داده است. نکته قابل‌توجه برای کلروفیل، عدم تفاوت معنی‌دار در تیمارهای FI_1، FID، RDI_{10}، PRD_{10}، RDI_{30} و PRD_{30} بود. کم‌ترین کلروفیل، متعلق به تیمار RDI_{60} (۳۶/۱) بوده است که با تیمار PRD_{60} در یک کلاس مشترک قرار داشت. با توجه به شکل (۵)، در دوره گلدهی، گیاه برنج دارای بالاترین میزان کلروفیل بوده است. از طرفی، با افزایش تنش خشکی، میزان سبزینگی یا کلروفیل، کاهش می‌یابد که با نتایج پژوهش Pirdashti *et al.* (2009) مطابقت دارد.

طول خوشه

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثر تیمارهای مختلف کم‌آبیاری بر طول خوشه برنج در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است. در مدیریت‌های مختلف آبیاری، بیش‌ترین طول خوشه برای تیمار آبیاری غرقابی (۲۷/۹۴ سانتی‌متر) به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای FID، RDI_{10}، PRD_{10}، RDI_{30} و PRD_{30} نداشت. کوتاه‌ترین خوشه هم مربوط به تیمار RDI_{60} (۲۰/۸۵ سانتی‌متر) بود که موجب کاهش ۲۵/۳۷ درصدی نسبت به آبیاری غرقابی شد و با تیمارهای RDI_{10}، PRD_{10}، RDI_{30}، PRD_{30} و PRD_{60} از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشت. طبق نتایج، با افزایش تنش خشکی، خوشه‌ها کوتاه‌تر شدند. از طرفی، طول خوشه با میزان عملکرد شلتوک رابطه‌ای مستقیم داشت و با کوتاه‌شدن خوشه‌ها در اثر تنش خشکی خاک در تیمارهای مختلف، عملکرد شلتوک کاهش یافت. در پژوهشی که توسط Katuzi *et al.* (2016) انجام شد، طبق نتایج با افزایش دور آبیاری و اعمال تنش خشکی شدیدتر در رقم‌های متفاوت برنج، طول خوشه کاهش می‌یابد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

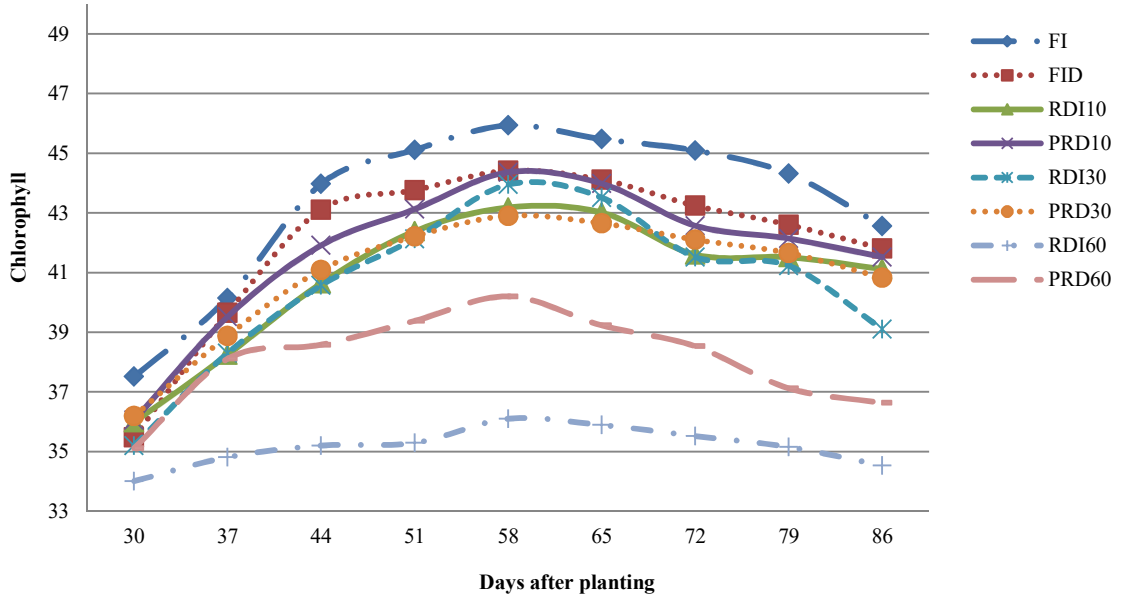

Figure 5. The trend of Chlorophyll during growing season in the different deficit irrigation treatments

وزن هزاردانه

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن بود که اعمال تیمارهای مختلف کم‌آبیاری، تفاوت معنی‌داری در وزن هزاردانه ایجاد نکردند. بیش‌ترین و کم‌ترین وزن هزاردانه به‌ترتیب در تیمارهای FI_1 و RDI_{60} (۳۲/۵۸ و ۳۱/۹۲ گرم) به‌دست آمد و همه تیمارها از لحاظ آماری در یک کلاس مشترک قرار گرفتند و با نتایج پژوهش Aalaee Bazkiaei *et al.* (2019) مبنی بر معنی‌دارنشدن وزن دانه در اثر اعمال تیمارهای آبیاری غرقابی و آبیاری با دوره‌های پنج، ۱۰ و ۱۵ روز مطابقت دارد. با توجه به علم فیزیولوژی گیاه و توصیه پژوهش‌گران، مبنی بر این که تنش کم‌آبی در دوره گلدهی و گرده‌افشانی برنج موجب کاهش شدید عملکرد محصول به‌علت رشد غیرعادی کیسه جنینی، عقیم‌شدن دانه‌های گرده و در نهایت کاهش تعداد و وزن دانه‌های بارور می‌شود (Limouchi *et al*., 2016). لذا در این پژوهش در مرحله گلدهی برنج، تنش خشکی شدیدی به گیاه وارد نشد و بر اساس نتایج تجزیه واریانس، این امر موجب شد که دانه‌های برنج در تیمارهای مختلف، از لحاظ وزن هزاردانه تفاوت معنی‌داری با هم نداشته باشند.

شاخص برداشت

طبق نتایج، تیمارهای آبیاری باعث ایجاد تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد بر شاخص برداشت شدند. بیش‌ترین شاخص برداشت، مربوط به تیمار آبیاری غرقابی (٤٦/٤٤ درصد) بود. کم‌ترین شاخص برداشت به تیمار RDI_{60} (۳۵/۷٦ درصد) اختصاص یافت و با تیمارهای RDI_{30} و PRD_{30} در یک کلاس قرار گرفت. نکته قابل‌توجه در این پارامتر، عدم تفاوت معنی‌دار در تیمار PRD_{60} با تیمارهای FI_1، FID، RDI_{10} و PRD_{10} می‌باشد. تیمارهای کم‌آبیاری بخشی ریشه نسبت به کم‌آبیاری تنظیم‌شده در تنش‌های مشابه، شاخص برداشت بیش‌تری داشتند. نتایج حاکی از آن است که با کاهش حجم آب آبیاری، شاخص برداشت کاهش می‌یابد که کاهش در عملکرد شلتوک را در پی دارد. هم‌چنین، میان انتقال مواد فتوسنتزی به سمت دانه گیاه و مقدار آب آبیاری ارتباط مستقیمی وجود دارد و تنش خشکی موجب کاهش سهم دانه از ماده خشک می‌گردد.

وزن تر علف هرز

طبق جدول (۵)، اثر تیمارهای کم‌آبیاری بر وزن تر علف هرز، در سطح یک درصد معنی‌دار بود. با توجه به نتایج مقایسه میانگین (جدول ٦)، بیش‌ترین وزن تر علف هرز متعلق به تیمار FID (١٤٤/١٨ گرم) بوده است و اختلاف معنی‌داری با تیمارهای RDI_{10}، PRD_{10} و RDI_{30} نداشت. کم‌ترین وزن تر علف هرز برای تیمار FI_1 (۵۸/٦١ گرم) به‌دست آمد و در کلاسی جداگانه با سایر تیمارها قرار گرفت و در مقایسه با تیمار FID، ۵۹/۳۵ درصد کاهش در وزن تر علف هرز ایجاد شد. لذا وزن تر علف هرز از یک‌سو با روش آبیاری در ارتباط است، به‌طوری‌که در آبیاری غرقابی، علف هرز کم‌تری در مقایسه با روش آبیاری تحت فشار (نوار تیپ)، رشد می‌کند. از سوی دیگر، وزن تر علف هرز با حجم آب آبیاری مرتبط است و با کاهش حجم آب آبیاری، وزن تر علف هرز کاهش می‌یابد.

Table 6. Effects of deficit irrigation treatments on weed different traits

Treatment	Fresh weight of weeds (gr)	Dry weight of weeds (gr)	Number of weeds	Weed diversity
FI_2	58.61e	6.51c	8.67f	2.33a
FID	144.18a	22.83a	39.67a	4.67a
RDI10	143.67a	22.12a	33.67b	4a
PRD10	141.5a	21.93a	32.33bc	3.67a
RDI30	136.63ab	18.61a	28cd	3.67a
PRD30	132.43b	20.34a	26.67d	3a
RDI60	93.7c	12.23b	17e	3a
PRD60	70.23d	8.64bc	13.67ef	3a

For a given variable, mean values not sharing common letters are significantly different ($P \leq 0.05$), Duncan test.

وزن خشک علف هرز

طبق نتایجی که از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۵) به‌دست آمد، تأثیر اعمال کم‌آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر وزن خشک علف هرز تیمارهای مختلف، اختلاف معنی‌داری ایجاد کرد. بیش‌ترین وزن خشک علف هرز، مربوط به تیمار FID (۲۲/۸۳ گرم) بود که با تیمارهای RDI_{10}، PRD_{10}، RDI_{30} و PRD_{30} از جنبه آماری در یک کلاس مشترک قرار گرفت. کم‌ترین وزن خشک علف هرز برای تیمار FI_2 (۶/۵۱ گرم) به‌دست آمد و تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها داشته و ۷۱/۵ درصد کاهش در وزن خشک نسبت به تیمار FID به‌وجود آمده است و با نتایج Karimi Arpanahi *et al.* (2017) مبنی بر کاهش وزن خشک علف هرز در اثر افزایش تنش خشکی خاک، مطابقت دارد. هم‌چنین در آبیاری غرقابی، وزن خشک علف هرز در مقایسه با آبیاری نوار تیپ، کم‌تر شده است.

تعداد علف هرز

بیش‌ترین تعداد علف هرز، برای تیمار FID (۳۹/۶۷ عدد) بوده است و با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت. کم‌ترین تعداد علف هرز مربوط به تیمار FI_2 (۸/۶۷ عدد) بود که ۷۸/۱۴ درصد کاهش در مقایسه با تیمار FID ایجاد کرد و با تیمار PRD_{60} در کلاسی مشترک قرار گرفت. تیمارهای PRD_{10} و RDI_{30}، تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. طبق نتایج، با کاهش حجم آب آبیاری، تعداد علف هرز کاهش می‌یابد. هم‌چنین، در آبیاری غرقابی نسبت به آبیاری نوار تیپ، به‌دلیل تفاوت در نحوه آماده‌سازی زمین، تعداد علف هرز کم‌تر است که این امر، یکی از دلایلی است که کشاورزان برای کشت برنج، از روش آبیاری غرقابی استفاده می‌کنند.

تنوع علف هرز

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۵)، تأثیر تیمارهای مختلف کم‌آبیاری بر تنوع علف‌های هرز معنی‌دار نبود. بیش‌ترین تنوع علف هرز، برای تیمار FID (٤/٦٧ نوع) به‌دست آمد. کم‌ترین تنوع، در تیمار FI_2 (۲/۳۳ نوع) به‌وجود آمد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، اثرات روش‌های مختلف کم‌آبیاری در سطوح مختلف تنش خشکی خاک بر عملکرد شلتوک، حجم آب آبیاری، تعدادی از صفات زراعی گیاه برنج و رشد علف‌های هرز بررسی شد. نتایج پژوهش نشان داد که با افزایش تنش خشکی خاک، عملکرد شلتوک کاهش یافت. این کاهش در عملکرد، تحت تأثیر کاهش در برخی از صفات موردبررسی برنج از قبیل تعداد پنجه، طول خوشه و شاخص سطح برگ بوده است. در سطح‌های تنش خشکی خاک ۱۰، ۳۰ و ٦۰ کیلوپاسکال، روش کم‌آبیاری تنظیم شده به‌ترتیب موجب کاهش ٢٤، ٤٢/٤ و ۵۳/۵ درصدی در عملکرد شلتوک و باعث ٤٢/٩، ٦٣/٣ و ٧٤/٨ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب شده است. از طرفی، کم‌آبیاری بخشی ریشه به‌ترتیب با ۲۳/۲، ۳۸/۱ و ٤٥ درصد کاهش در عملکرد شلتوک، موجب صرفه‌جویی ٤٦/٢، ٦٧/٥ و ٧٦/٥ درصدی در حجم آب آبیاری گیاه شده است. لذا تیمارهای کم‌آبیاری بخشی ریشه به‌دلیل آبیاری یک طرف ریشه در هر دور آبیاری و مصرف کم‌تر آب آبیاری، وضعیت مطلوبی در عملکرد شلتوک و اکثر پارامترهای موردبررسی، در مقایسه با تیمارهای کم‌آبیاری تنظیم‌شده داشتند. لذا کم‌آبیاری بخشی ریشه، روشی مناسب در شرایط بحرانی و خشکسالی کشور برای استفاده بهینه از منابع آبی می‌باشد. به همین سبب، شایسته است که طرح‌های پژوهشی بیش‌تری در این زمینه انجام شود. هم‌چنین، با توجه به نتایج، توصیه می‌شود، در

مناطقی که با مشکل کم‌آبی مواجه هستند، با اعمال تنش خشکی پویا با توجه به خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه، تنش‌های شدیدتر خشکی خاک برای گیاه برنج، بعد از دوره گلدهی یا به‌عبارتی بعد از ٦٠ روز بعد از نشا اعمال شود تا بتوان محصول بیش‌تری از مزرعه به‌دست آورد.

تشکر و قدردانی

از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و معاونت مؤسسه تحقیقات برنج کشور در مازندران برای همکاری در انجام برخی آزمایش‌ها و همه عزیزانی که ما را در به‌ثمررساندن این پژوهش یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

پی‌نوشت‌ها

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)
2. Regulated Deficit Irrigation
3. Partial Root zone Drying
4. Abscisic Acid
5. Full Irrigation Drip
6. Flood Irrigation
7. Management Allowed Depletion
8. Leaf Area Index

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

منابع

1. Aalaee Bazkiaei, P., Kamkar, B., Amiri, E., Kazemi, H., & Rezaei, M. (2019). Effect of planting date and irrigation intervals on yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L.) in rasht region. Journal of Water Research in Agriculture, 33(2), 283-297. (In Persian).
2. Aghayari, F., Khalili, F., & Ardakani, M. R. (2016). Effect of deficit irrigation, partial irrigation and superabsorbent polymer on yield and yield components of corn (cv. KSC703). Journal of Water and Soil Resources Conservation, 6(1), 1-14. (In Persian).
3. Baghitabar Firuzjaii, S., Abbasi, R., & Mousavi Toghani, S. Y. (2019). Comparison of irrigation regimes and seedling age effects on yield components of rice (*Oryza sativa* L. var. tarom hashemi). Journal Agricultural Science and Sustainable Production, 29(2), 67-78. (In Persian).
4. Bouman, B. A. M., Peng, S., Castaneda, A. R., & Visperas, R. M. (2005). Yield and water use of irrigated tropical aerobic rice systems. Agricultural Water Management, 74(2), 87- 105.
5. Carracelas, G., Hornbuckle, J., Rosas, J., & Roel, A. (2019). Irrigation management strategies to increase water productivity in *Oryza sativa* (rice) in uruguay. Agricultural Water Management, 222, 161-172
6. Elhani, S., Haddadi, M., Csákvárib, E., Zantara, S., Hamima, A., Villányib, V., Douaikc, A., & Bánfalvib, Z. (2019). Effects of partial root-zone drying and deficit irrigation on yield, irrigation water-use efficiency and some potato (*Solanum tuberosum* L.) quality traits under glasshouse conditions. Agricultural Water Management, 224, 105745.
7. Karimi Arpanahi, N., Eslami, S. V., & Dehghan Khalili, R. (2017). Investigating the effect of drought stress on growth and distribution of nutsedge (*Cyperus rotundus* L.). Journal of Plant Protection (Agricultural Science and Technology), 31(1), 29-39. (In Persian).
8. Karimi Kakhki, M., Sepehri, A., & Aboultalebian, M. A. (2010). Effect of deficit irrigation at reproductive growth stages on growth and yield of four new sunflower cultivars. Iranian Journal of Crop Science, 41(3), 599-612. (In Persian).
9. Katuzi, M., Rahimzadeh, F., Rezaei, M., Yarnia, M., & Sabori, H. (2016). Determination of best rice cultivar under stress caused by different irrigation managements. Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology, 3(1), 31-44. (In Persian).
10. Limouchi, K., Yarnia, M., Siyaddat, A., Rashidi, V., & Guilani, A. (2016). Assessing performance of some aerobic rice genotypes for grain yield and yield components under water deficit conditions in the north of khuzestan. Applied Field Crops Research, 29(4), 60-71. (In Persian).
11. Lipiec, J., Doussan, C., Nosalewicsz, A., & Kondracka. K., (2013). Effect of drought and heat stress on plant growth and yield: a review. International Agrophysics, 27, 463-477.
12. Liu, F., Song, R., Zhang, X., Shahnazari, A., Andersen, M. N., Plauborg, F., Jacobsen, S. E., & Jensen, C.R. (2008). Measurement and modeling of ABA signaling in potato (*Solanum tuberosum* L.) during partial root-zone drying. Environ and Experimental Botany, 63, 385- 391.

13. Mehrana, M., Yavari, Gh., & Yaseri, H. (2020). The impact of rice imports on domestic consumer welfare using the inverse demand system. Journal of economic modeling research kharazmi university, 11(41), 51-89. (In Persian).
14. Mirabolghasemi, S. M., Ghobadi Nia, M., Ghasemi, A. R., & Nouri Emamzadeie, M. R. (2017). The Effect of controlled drainage and irrigation management on growth characteristics and rice in the arid and semi-arid. Journal of Water and Soil (Agricultural Science and Tecnology), 31(2), 411-421. (In Persian).
15. Pandey, V., & Shukla, A. (2015). Acclimation and tolerance strategies of rice under drought stress. Rice Science, 22(4), 147-161.
16. Pirdashti, H., Tahmasebi Sarvestani, Z., & Bahmanyar, M. A. (2009). Comparison of physiological responses among four contrast rice cultivars under drought stress conditions. Academy of Science, Engineering and Technology, 49, 52-53
17. Rezaei, M., Davatgar, N., Khaledian, M. R., Ashrafzadeh, A., Kavoosi, M., & Zavareh, M. (2013). Study of the effect of saline water on rice yield under water stress conditions. Journal of Irrigation Sciences and Engineering (JISE), 36(1), 81-88. (In Persian).
18. Sabokro Fomani, K., Valadabadi, S. A. R., Kavoosi, M., Zakerian, H. R., & Yazdani, M. R. (2020). Effect of irrigation interval and nitrogen amount on water requirement, and growth of rice (*Oryza sativa* L.) hashemi cultivar under gilan climate conditions. Journal of Agroecology (Quarterly), 12(2), 281-298. (In Persian).
19. Shahnazari, A., & Rezaiyan, M. (2015). Effect of regulated deficit irrigation (RDI) and partial root zone dring (PRD) on quantitative and qualitative traits. Journal of Water and Soil (Agricultural Science and Technology, 29(4), 820-827. (In Persian).
20. Tavakoli, A. R. (2013). Deficit irrigation and supplementary irrigation management of irrigated and rainfed wheat in selseleh city. Journal of Water Research in Agriculture, 27(4), 589-600. (In Persian).
21. Yosefian, M., Shahnazari, A., Ziyatabar Ahmadi, M., Raeini, M., & Arabzadeh, B. (2018). Effects of regulated deficit irrigation and partial root drying on yield components and water productivity of rice in furrow and basin methods. Journal of Water Research in Agriculture, 32(3), 341-351. (In Persian).
22. Yoshida, S. (1981). Fundamentals of rice crop science. The International Rice Research Institute, Philippines.