تاثیر آبیاری قطره‌ای و غرقابی بر عملکرد و بهره‌وری آب در دو روش کشت برنج در مازندران

مهسا رحیمی پول، داود اکبری نودهی[1]، رضا اسدی، علی باقری و فضل شیردل شهمیری

دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، واحد قائم‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم‌شهر، ایران.

Mahsa.rahimi80@yahoo.com

استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد قائم‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم‌شهر، ایران.

dakbarin@yahoo.com

گروه علوم و مهندسی آب، واحد قائم‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم‌شهر، ایران، استادیار سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات برنج کشور- معاونت مازندران، آمل، ایران.

r_asadi1@yahoo.com

استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد قائم‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم‌شهر، ایران.

Ali523b@yahoo.com

استادیار گروه زراعت، واحد قائم‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم‌شهر، ایران.

fazlshirdel@yahoo.com

دریافت: آبان ۱۴۰۰ و پذیرش: اسفند ۱۴۰۰

چکیده

با توجه به اهمیت کشت برنج، به ویژه در استان مازندران، ضروری است که برنامه‌ریزی دقیقی برای استفاده بهینه از منابع آبی موجود در استان در بخش کشاورزی صورت گیرد تا تقاضای آب برای تولید برنج کاهش یابد. به این منظور، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار با چهار تیمار (روی رقم طارم هاشمی) طی سال زراعی ۱۳۹۹ در معاونت موسسه تحقیقات برنج کشور-در آمل اجرا شد. تیمارها شامل کشت رایج با آبیاری غرقابی (T1)، کشت رایج با آبیاری قطره ای (T2)، کشت نشایی در بستر گلخراب نشده با آبیاری قطره‌ای (T3) و کشت مستقیم بذر در بستر خشک با آبیاری قطره ای (T4) بود. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر روش‌های کشت و آبیاری بر ارتفاع بوته، عملکرد، آب مصرفی، آب آبیاری، بهره‌وری آب مصرفی و بهره‌وری آب آبیاری موثر بوده و از نظر آماری در سطح ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار بود. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار عملکرد به‌ترتیب متعلق به تیمارهای T1 و T4 با ۴۰۷۹ و ۲۸۷۶ کیلوگرم در هکتار بود. بیش‌ترین بهره‌وری آب مصرفی متعلق به تیمار T2 با ۰/۶۱ کیلوگرم در مترمکعب بود که با کشت رایج با آبیاری غرقابی (T1) اختلاف معنی‌داری نداشت. کم‌ترین مقدار بهره‌وری آب مصرفی نیز با ۰/۴۵ کیلوگرم در مترمکعب متعلق به تیمار T4 بود. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار بهره‌وری آب آبیاری به‌ترتیب متعلق به تیمارهای T2 و T1 با ۰/۶۷ و ۰/۵۲ کیلوگرم در مترمکعب بود. بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش، تیمار کشت رایج با آبیاری قطره‌ای کاهش عملکرد قابل توجه‌ای نسبت به تیمار کشت رایج با آبیاری غرقابی نداشت و با صرفه‌جویی در مصرف آب میزان بهره‌وری آب را افزایش داد؛ ازین رو تیمار کشت رایج با آبیاری قطره‌ای به‌عنوان بهترین تیمار در این پژوهش شناخته شد.

واژه‌های کلیدی: بستر گلخراب ،رقم طارم هاشمی، مدیریت آبیاری

---

[1]- آدرس نویسنده مسئول: گروه علوم و مهندسی آب، واحد قائم‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائم‌شهر، ایران.

مقدمه

کمبود آب در بسیاری از کشورها از جمله ایران یکی از چالش‌های اصلی دولت‌هاست. در چنین کشورهایی بیش از ۷۰ درصد منابع آب تجدیدپذیر در بخش کشاورزی استفاده می‌شود (پورغلام و همکاران، ۲۰۲۰). در ایران سهم بخش کشاورزی از آب تجدیدپذیر طی دوره‌های آماری ۷ و ۵۰ سال به‌ترتیب ۵۲ و ۷۱ درصد است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۴). رشد جمعیت، تغییر در سطح زندگی و کاهش بارندگی از جمله عواملی است که باعث بهم خوردن تعادل بین عرضه و تقاضای آب می‌شود (کوهزاد و همکاران، ۲۰۲۰)، از این رو افزایش بهره‌وری برای تغذیه جمعیت در حال رشد با استفاده از شیوه‌های کارآمد مدیریت آب و فن‌آوری‌های صرفه‌جویی در مصرف آب امری ضروری است (دووادا و همکاران، ۲۰۲۰). برنج بزرگترین مصرف‌کننده آب شیرین در سراسر جهان است و به امنیت غذایی بیش از نیمی از جمعیت جهان کمک می‌کند (کریجو و همکاران، ۲۰۱۷). ایران از نظر سطح زیر کشت برنج دارای رتبه ۲۳ و از نظر عملکرد رتبه نه جهان را دارا است (فائو[1]، ۲۰۱۴). استان مازندران با ۲۱۴ هزار و ۵۲ هکتار در رتبه دوم از نظر کشت برنج در ایران قرار دارد و ۲۶ درصد از تولید برنج کشور را به خود اختصاص داده است (احمدی و همکاران، ۲۰۱۹). در آسیا، کشت نشایی برنج در زمین گلخراب شده، روش معمول کشت است (ورما و همکاران، ۲۰۱۸). در این روش، گیاهچه‌های برنج پس از رشد اولیه در خزانه به زمین اصلی منتقل‌شده و در خاک گل‌آب شده نشاء می‌شوند (ساندهو و همکاران، ۲۰۱۷). گلخرابی شالیزارهای برنج برای ایجاد بستر نرم خاک برای نشاءکاری آسان گیاهچه برنج، کنترل علف‌های هرز و کاهش هدر رفت آب و شستشوی عناصر غذایی انجام می‌شود اما به‌دلیل تخریب ساختار فیزیکی خاک، ورودی‌های انرژی و نیاز به کارگر بیشتر، انگیزه کمتری برای انجام گلخرابی وجود دارد (فنگ و همکاران، ۲۰۱۹). در سیستم کشت معمول که مبتنی بر استفاده از ارقام برنج آبی با آبیاری غرقابی می‌باشد، بیش از ۸۰ درصد از طول دوره رشد به‌صورت غرقاب دائم است. غرقاب طولانی در روش کشت مرسوم، موجب بروز مشکلاتی در طول دوره رشد برنج ازجمله ایجاد شرایط احیاء خاک در اثر کاهش تهویه، حساسیت گیاه به آفات و بیماری‌ها و همچنین آلودگی آب‌وخاک می‌شود (ماوو، ۲۰۰۲). با توجه به مشکلات جدی کمبود آب در زمان کشت برنج، منابع محدود و افزایش تقاضای آب برای مصارف شهری و صنعتی، استفاده از روش سنتی غرقابی دائمی برای آبیاری شالیزارها، از نظر مدیریت آب قابل توجیه به نظر نمی‌آید (یی و همکاران، ۲۰۱۳). بررسی روش‌های جایگزین تولید برنج با استفاده از آب کمتر برای امنیت غذایی از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است، از این رو در تحقیقات جدید کشاورزی یکی از رویکردهای مهم، صرفه‌جویی در مصرف آب در سامانه‌های تولید برنج است. روش‌های آبیاری برای کاهش آب مصرفی در شالیزار وجود دارد که از آن جمله می‌توان به مدیریت‌های آبیاری غیرغرقاب در دوره‌هایی از رشد برنج اشاره نمود (بومن و تانگ، ۲۰۰۱). صداقت و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقی به مقایسه و بررسی امکان کاربرد روش‌های مختلف آبیاری در مقایسه با روش سنتی و ارزیابی روش‌های مختلف آبیاری پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که ارقام گیاهی مورد استفاده و همچنین روش‌های مختلف آبیاری از نظر مصرف آب تفاوت معنی‌داری داشتند. اسدی (۱۳۹۷) براساس مطالعه‌اش در خصوص کشت برنج در اراضی شالیزاری بدون انجام عملیات گلخرابی گزارش کرد، در روش کشت نشایی بدون عملیات گلخرابی به‌طور متوسط ۲۵ درصد آب مصرفی در مقایسه با کشت به روش سنتی صرفه‌جویی می‌شود، از طرفی مقدار بهره‌وری آب در روش کشت نشایی بدون عملیات گلخرابی در مقایسه با روش کشت سنتی به طور متوسط معادل ۲۲ درصد افزایش می‌یابد. پن و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که کاشت مستقیم برنج می‌تواند یک روش جانشین مناسب‌تر برای برنج غرقابی (با نشاءکاری) با هزینه

[1] -FAO:Food and Agriculture Organization of the United Nations

تولید و کارگر کمتر و تلاش اضافی برای پرورش نشاء در خزانه باشد. حوسن و همکاران (۲۰۱۸) بیان کردند حذف عملیات گلخرابی می‌تواند هزینه‌های کار، سوخت و ورودی آب آبیاری را برای آماده‌سازی زمین برای استقرار برنج کاهش دهد. ژو و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند عملکرد در کشت مستقیم در حدود ۱۲ درصد کمتر از کشت نشایی بود. پورامیر و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه‌ای نتیجه گرفتند روش کاشت مستقیم برنج از طریق حذف مرحله خزانه و مراقبت از نشاءها، حذف عملیات نشاءکاری و همچنین حذف وجین دستی منجر به کاهش نیروی کار مورد نیاز برای کشت برنج می‌شود و تفاوت معنی‌داری از نظر عملکرد شلتوک با کشت نشایی ندارد. دوکوتا و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند کشت مستقیم برنج می‌تواند باعث بهبود بهره‌وری خاک، به حداقل رساندن هزینه‌ها، افزایش درآمد خانوار، افزایش عملکرد و کاهش هزینه کود و آماده‌سازی زمین شود. باستلا (۲۰۲۰) نیز بیان کرد که گلخرابی موجب شکسته شدن ساختمان خاک می‌شود؛ از این رو آب بیشتری برای آماده‌سازی زمین نیاز است. او در تحقیقش کشت مستقیم را به‌جای کشت در بستر گلخراب به کشاورزان توصیه کرده است. کروژیلان و همکارانش (۲۰۱۵) آزمایشی را در موسسه تحقیقات آبیاری کشاورزی ولگوگراد[1] روسیه به مدت دو سال (۲۰۱۳، ۲۰۱۴) برای بررسی اثر رژیم‌های مختلف آب در ترکیب با سه سطح کود معدنی تحت سیستم آبیاری قطره‌ای بر رشد و عملکرد برنج هوازی و ظرفیت صرفه‌جویی در مصرف آب انجام دادند که نتایج به دست آمده نشان داد عملکرد دانه برنج شش تن در هکتار بود، در حالی که حجم آب آبیاری مورد نیاز در دامنه ۵۳۸–۴۹۹ میلی‌متر در هکتار متغیر بود که در مقایسه با آب مصرف شده در کشت غرقابی ۸۰–۶۰ درصد کمتر بود و از این رو نتیجه گرفتند که آبیاری قطره‌ای موجب صرفه‌جویی در مصرف آب همراه با افزایش بهره‌وری در انواع برنج هوازی می‌شود. راوو و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که آبیاری قطره‌ای نقش مهمی در صرفه‌جویی در مصرف آب، کود، نیروی کار و افزایش راندمان مصرف آب و کود دارد. سینگ و همکاران (۲۰۱۹) طی تحقیقی روی مدیریت آب برنج تحت آبیاری قطره‌ای در هند نتیجه گرفتند که نیاز آب آبیاری برنج در روش قطره‌ای در دامنه ۱۸۳۸–۹۳۸ لیتر در کیلوگرم است، در حالی که این مقدار در آبیاری غرقابی برنج ۴۲۵۰–۵۵۰۸ لیتر در کیلوگرم بود. اهمیت مدیریت آبیاری در افزایش عملکرد محصولات زراعی، مؤید این موضوع می‌باشد که هرگونه تلاش برای بهینه‌سازی کشت برنج بدون توجه ویژه به بخش مدیریت آب موفقیت‌آمیز نخواهد بود. بررسی‌های انجام‌شده توسط محققین فوق نشان داد که تغییر روش کشت و آبیاری برنج تأثیر زیادی در مصرف آب، عملکرد و بهره‌وری آب در تولید این گیاه دارد. بر اساس نتایج این تحقیقات روش کشت سنتی بالاترین مصرف آب را داشت و با تغییر روش کشت برنج از کشت رایج به کشت مستقیم یا کشت در بستر گلخراب نشده و استفاده از روش آبیاری قطره‌ای به‌جای آبیاری غرقاب دائم فرض بر این است که در مصرف آب صرفه‌جویی شود. در برخی از گزارشات در زمینه استفاده از روش کشت مستقیم برنج به کاهش عملکرد و عده‌ای هم عدم کاهش عملکرد را در این روش کشت گزارش کردند (ژو و همکاران، ۲۰۱۹؛ پور امیر و همکاران، ۱۳۹۹) و در خصوص آماده‌سازی بستر کشت در روش کشت سنتی برای کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری آب، کشت در بستر غیر گلخراب را به‌عنوان روشی مناسب معرفی کردند (اسدی، ۱۳۹۷؛ حوسن و همکاران، ۲۰۱۸). با توجه به اهمیت کشت برنج به‌ویژه در استان مازندران، ضروری است که برنامه‌ریزی دقیقی برای استفاده بهینه از منابع آبی موجود در استان در بخش کشاورزی به‌ویژه برنج صورت گیرد تا تقاضای آب برای تولید برنج کاهش یابد و ضمن حفظ عملکرد مطلوب، با کاهش آب مصرفی اراضی شالیزاری موجب افزایش بهره‌وری آب شود. با توجه به مشکلات کم‌آبی که مهم‌ترین عامل تهدیدکننده در تولید محصولات کشاورزی به‌ویژه برنج است (اسدی و

[1] -Volgograd

همکاران، ۱۳۹۵) و اهمیت بازنگری در شیوه‌های سنتی مصرف آب در اراضی شالیزاری و ارائه راهکارهای مناسب، این تحقیق با هدف تعیین اثر روش‌های مختلف کشت و آبیاری بر عملکرد، آب مصرفی و بهره‌وری آب برنج انجام شد.

روش تحقیق

استان مازندران در شمال ایران با حدود ۲۳۳۲۲ کیلومتر مربع مساحت بین مختصات جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و دو دقیقه عرض شمالی و ۲۱ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۲۲ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی از نصف النهارگرینویچ واقع شده‌است. آزمایش در مزرعه تحقیقات معاونت موسسه تحقیقات برنج کشور (آمل) به وسعت ۵۰۰ متر مربع در سال زراعی ۱۳۹۹ اجرا شد. عملیات کشت مزرعه‌ای در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار با چهار تیمار شامل: کشت نشایی در زمین گلخراب شده با آبیاری غرقابی (غرقاب دائم) (T1) کشت نشایی در زمین گلخراب شده با آبیاری قطره‌ای (T2)، کشت نشایی در زمین گلخراب نشده با آبیاری قطره-ای (T3) و کشت مستقیم با آبیاری قطره‌ای (T4) انجام شد. در این آزمایش ۱۲ کرت آزمایشی به مساحت ۳۰ متر مربع تهیه شد. رقم برنج مطالعه شده، هاشمی از ارقام محلی است. نمونه‌برداری از خاک مزرعه در دو نوبت پیش از کشت و برداشت محصول از هر کرت در دو عمق ۲۵-۰ و ۵۰-۲۵ سانتی‌متر انجام شد (جدول ۱). کلاس بافت خاک مزرعه از نوع سیلتی لوم و هدایت الکتریکی ۰/۶۰۶ دسی-زیمنس بر متر بود (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج تجزیه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه معاونت موسسه برنج- آمل

هدایت الکتریکی	واکنش خاک	فسفر قابل دسترس	پتاسیم قابل دسترس	مواد خنثی شونده	کربن آلی	رس	سیلت	شن	کلاس بافت خاک
ds /m	pH	mg/kg	mg/kg	%	%	%	%	%	
۰/۶۰۶	۷/۶۸	۱۰	۱۸۰	۵	۱/۳۶	۲۸	۵۱	۲۱	Si-L

در تیمار کشت نشایی در بستر گلخراب شده، برای آماده‌سازی زمین ابتدا سه هفته پیش از نشاءکاری زمین را شخم زده و سپس آبیاری انجام شد. شخم دوم را با استفاده از تراکتور سبک دو هفته قبل از نشاءکاری و شخم سوم همراه با عملیات گلخرابی و تسطیح زمین انجام گرفت. بعد از آماده‌سازی زمین نقشه طرح در زمین اجراء و سپس کرت‌ها از طریق مرزهای به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر و به پهنای ۳۰ سانتی‌متر از همدیگر جدا شدند. به‌منظور جلوگیری از تلفات ناشی از نشت جانبی، مرز کرت‌ها با پوشش نایلونی (به عمق ۳۰ سانتی‌متر) کاملاً پوشیده شد تا از تراوش جانبی جلوگیری شود. بذور را در فضای کوچکتری (خزانه) کشت نموده و ۳۰ تا ۳۵ روز پس از کاشت (نشاءها بعد از ۴-۳ برگی شدن و ارتفاع ۲۵-۲۰ سانتی‌متر) به زمین اصلی منتقل شدند و بعد از کودپاشی با فاصله ۲۵×۲۵ سانتی‌متر در کرت‌ها به‌روش دستی و به-صورت تک بوته و یکنواخت نشاءکاری انجام شد. تاریخ کاشت و برداشت در تیمار کشت رایج با آبیاری غرقابی به ترتیب ۱۳۹۹/۰۳/۸ در و ۱۳۹۹/۰۶/۵ بود. در این تیمار آب در سطح خاک جاری و تمامی سطح زمین با لایه‌ای از آب به ارتفاع پنج سانتی‌متر غرقاب (با دور آبیاری پنج روز) بود. ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل در مرحله آماده‌سازی زمین (پیش از نشاءکاری) در یک مرحله به صورت پایه، ۱۰۰ کیلوگرم کود پتاسیم از منبع کلرید پتاسیم و ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن از منبع اوره مصرف شد. کود نیتروژن و پتاسیم در سه مرحله ۴۰ درصد در مرحله آماده‌سازی زمین، ۳۰ درصد در مرحله پنجه‌زنی (۲۰ روز بعد نشاءکاری) و ۳۰ درصد در مرحله ظهور خوشه (۴۰ روز بعد از نشاءکاری) استفاده شد. برای کنترل علف‌های هرز ضمن سم‌پاشی با سم ماچیتی با نام تجاری

بوتاکلر به‌میزان ۳-۲/۵ لیتر در هکتار، یک مرتبه وجین دستی نیز انجام شد. مبارزه با آفات و بیماری‌های برنج در طول مرحله داشت بر اساس دستورالعمل فنی موسسه تحقیقات برنج کشور (دو مرحله سم دیازینون گرانول ۱۰ درصد به میزان ۲۰-۱۵ کیلوگرم در هکتار برای مبارزه با کرم ساقه‌خوار نواری و یک مرحله سم وین به میزان ۴۰۰ میلی‌لیتر در هکتار برای مبارزه با بیماری بلاست) انجام شد. در تیمار کشت نشایی در بستر گلخراب شده با آبیاری قطره‌ای تاریخ کاشت و برداشت و تمامی مراحل دیگر مانند کشت سنتی با آبیاری غرقابی بود، اما در این روش نوارهای آبیاری تیپ که با لوله‌های فرعی و قطره‌چکان‌ها (فاصله قطره‌چکان ۳۰ سانتی‌متر و دور آبیاری دو روز) تعبیه‌شده بودند آب را در محل رشد ریشه توزیع می‌کردند. تیمار کشت مستقیم با آبیاری قطره‌ای به‌صورت کشت بذر (بذر جوانه‌دار) در بستر خشک بود و در این روش کلیه مراحل تهیه خزانه و نشاءکاری حذف شد. در آماده‌سازی زمین برای بذرپاشی ابتدا سه هفته پیش از نشاءکاری زمین را به‌صورت خشک، شخم و روتاری زده و برای مدیریت مناسب آبیاری، با عملیات ماله‌کشی، سطح کرت به‌طور کامل صاف و سپس کرت‌بندی، مرزبندی و نصب نایلون روی مرزها مانند کشت سنتی انجام شد. تاریخ کاشت و برداشت ۱۳۹۹/۰۲/۲۸ و ۱۳۹۹/۰۶/۱۲ بود. مقدار بذر در کشت مستقیم ۸۰ کیلوگرم در هکتار و فاصله بین ردیف ۲۰-۲۳ سانتی‌متر و عمق کشت ۲-۱/۵ سانتی‌متر بود. ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل، ۱۰۰ کیلوگرم کود پتاس و ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن از منبع اوره مصرف شد. ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل و ۴۰ درصد از کود اوره و پتاسیم پیش از بذرپاشی با خاک مخلوط، ۳۰ درصد در مرحله پنجه‌زنی گیاه و ۳۰ درصد در مرحله ظهور خوشه استفاده شد. مبارزه با آفات و بیماری‌ها مانند تیمار کشت رایج و برای مبارزه با علف‌های هرز و از بین بردن بذر علف هرز از سم‌پاشی با سم تریفلورالین ۴۸ درصد امولسیون با نام تجاری ترفلان (۳/۵-۳ لیتر در هکتار) و سم ماچیتی با نام تجاری بوتاکلر (۴-۳ لیتر در هکتار) استفاده شد. در این سیستم به‌دلیل استفاده از آبیاری قطره‌ای، آب به‌وسیله لوله‌هایی که دارای قطره‌چکان بودند (دور آبیاری دو روز به مقدار چهار لیتر در ساعت) به آرامی و قطره قطره پای گیاه ریخته شد. در تیمار کشت نشایی در بستر گلخراب نشده با آبیاری قطره‌ای برای آماده‌سازی زمین و کنترل علف هرز مشابه کشت بذر در بستر خشک (تیمار T4) عمل شد. رطوبت اولیه خاک نیز به بالاتر از حد ظرفیت زراعی رسانده شد تا هنگام نشاءکاری ریشه گیاه آسیب نبیند. مراحل اجرای طرح در مزرعه شامل کرت‌بندی، مرزبندی، نصب نایلون روی مرزها، کودپاشی، نشاءکاری، مبارزه با آفات و بیماری‌ها و تاریخ کاشت و برداشت محصول مانند روش کشت سنتی انجام شد. در همه تیمارها آب آبیاری با چاه تأمین و حجم آب آبیاری در هر کرت از کشت نشایی به‌طور مجزا با استفاده از کنتور حجمی اندازه‌گیری شد، اما در تیمارهای آبیاری قطره‌ای، آبیاری به مقدار ۱۳۰ درصد تبخیر از تشتک کلاس A انجام شد. در تیمارهای آبیاری قطره‌ای، پنج روز پیش از برداشت محصول و در تیمار آبیاری غرقابی، ۱۰ روز پیش از برداشت، آبیاری قطع شد. برای به دست آوردن ارتفاع گیاه با استفاده از خط‌کش ارتفاع از نوک بوته تا پایین‌ترین گره اندازه‌گیری شد. حجم آب مصرفی در کرت‌های گلخراب شده، حجم آب مصرفی در کرت‌های گلخراب نشده، بهره‌وری آب مصرفی و بهره‌وری آب آبیاری به‌ترتیب از روابط (۱) (اسدی، ۱۳۹۵)، (۲) (رامولا و همکاران، ۲۰۱۶)، (۵) و (۶) (تانگ و بومن، ۲۰۰۳) محاسبه شدند.

$$WU_{sp}\ WU_{sp} = Vi + Pe + Vip \qquad (۱)$$

حجم آب مصرفی در کرت‌های گلخراب شده (مترمکعب در هکتار)، Vi حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار)، Pe بارش مؤثر (میلی‌متر) و Vip حجم آب مورد نیاز برای عملیات گلخرابی (مترمکعب در هکتار) بود که ۲۰۰۰ مترمکعب در هکتار (اسدی، ۱۳۹۵) در نظر گرفته‌شد.

$$WU_A\ WU_A = Vi + Pe \qquad (۲)$$

حجم آب مصرفی در کرت‌های گلخراب نشده (مترمکعب در هکتار) است. بارش مؤثر براساس روش سرویس حفاظت خاک امریکا و از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$Pe = F_d\,[۱/۲۵۳\,(p)^{۰/۸۲۴} - ۲/۹۳۵]\times ۱۰^{[۰/۰۰۰۹۵۵(ETC)]} \qquad (۳)$$

Pe بارش مؤثر ماهانه (میلی‌متر)، P مجموع بارش هر ماه (میلی‌متر)، ETC مجموع تبخیر-تعرق هر ماه (میلی‌متر) و Fd ضریب وابسته به عمق آبیاری (Di) است (جدول ۱).

اگر عمق آبیاری در هر مرحله برابر با ۷۵ میلی‌متر در نظر گرفته شود، F_d برابر با یک است و اگر عمق آبیاری کمتر از ۷۵ میلی‌متر باشد Fd برابر است با رابطه (۴) (خالقی، ۱۳۹۴):

$$F_d = ۰/۱۳۳ + ۰/۲۰۱\ Ln\ Di \qquad (۴)$$

و اگر عمق آبیاری بیشتر از ۷۵ میلی‌متر باشد Fd برابر است با رابطه (۵) (خالقی، ۱۳۹۴):

$$F_d = ۰/۹۴۶ + ۷/۳\times ۱۰^{-۴}\ Di \qquad (۵)$$

جدول ۲- ضریب F در عمق‌های مختلف آبیاری (خالقی، ۱۳۹۴)

عمق آبیاری (mm)	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۷۵	۱۰۰	۱۲۵
ضریب F	۰/۵۹۶	۰/۷۳۵	۰/۸۱۶	۰/۸۷۴	۰/۹۱۹	۰/۹۵۶	۰/۹۸۷	۱	۱/۰۱۹	۱/۰۳۷

$$\text{بهره‌وری آب مصرفی (کیلوگرم در مترمکعب)} = \frac{\text{عملکرد (کیلوگرم در هکتار)}}{\text{آب مصرفی (مترمکعب در هکتار)}} \qquad (۶)$$

$$\text{بهره‌وری آب آبیاری (کیلوگرم در مترمکعب)} = \frac{\text{عملکرد (کیلوگرم در هکتار)}}{\text{آب آبیاری (مترمکعب در هکتار)}} \qquad (۷)$$

منظور از عملکرد در رابطه (۶) مقدار عملکرد تولید شده به ازای هر واحد آب مصرفی است.

منظور از عملکرد در رابطه (۷) مقدار عملکرد تولید شده به ازای هر واحد آب آبیاری است. سرانجام تجزیه واریانس داده‌های بدست آمده با استفاده از نرم افزار SAS و میانگین تیمارها نیز از طریق آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح پنج و یک درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۳) سیستم‌های مختلف کشت و آبیاری برنج بر ارتفاع بوته مؤثر و از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد بودند ($pf \leqslant ۰/۰۱$). با توجه به مقایسه میانگین-ها (جدول ۴) تیمارهای T2 و T1 به‌ترتیب با ارتفاع ۱۲۸/۱۳ و ۱۲۴/۷۳ سانتی‌متر در گروه a و تیمارهای T3 و T4 به‌ترتیب با ارتفاع ۱۰۷/۳۳ و ۱۰۶/۵۷ سانتی‌متر در گروه b قرار گرفتند.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر تیمارها صفت‌های اندازه‌گیری برنج و مولفه‌های آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع	عملکرد	آب آبیاری	آب مصرفی	بهره‌وری آب مصرفی	بهره‌وری آب آبیاری
		(cm)	(kg/ha)	(m^3/ha)	(m^3/ha)	(kg/m^3)	(kg/m^3)
بلوک	۲	۵/۵۴^{ns}	۳۷۴۴۶۰/۳۳*	۲۴۰/۳۳^{ns}	۲۴۰/۳۳^{ns}	۸۶/۰۷^{ns}	۱۰۵/۴۶^{ns}
تیمار	۳	۳۸۵/۶۸**	۱۱۰۴۹۲۴/۸۹**	۴۲۰۳۹۴۰/۶۷**	۳۴۳۳۲۶۳/۷۵**	۱۵۵/۸۰*	۱۳۳/۹۸*
خطای a	۶	۴/۷۶	۵۳۱۷۴/۸۹	۲۴۰/۳۳	۲۴۰/۳۳	۱۸/۵۴	۲۱/۹۶
%CV		۱/۸۷	۶/۸۱	۰/۲۶	۰/۲۳	۸/۳	۸/۰۶

تجزیه واریانس مربوط به صفات اندازه‌گیری شده * و ** اختلاف معنی‌دار در سطوح پنج و یک درصد، ns عدم معنی‌دار بودن اختلاف

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر تیمارها برای صفات مورد مطالعه

تیمار	ارتفاع	عملکرد	آب مصرفی	آب آبیاری	بهره‌وری آب مصرفی	بهره‌وری آب آبیاری
T1	۱۲۴/۷۳a	۴۰۷۹/۳۰a	۸۴۳۱/۳۳a	۷۸۶۶/۳۳a	۰/۴۸ab	۰/۵۲b
T2	۱۲۸/۱۳a	۴۰۶۲/۷۰a	۶۶۲۲/۰۰b	۶۰۵۷/۰۰b	۰/۶۱a	۰/۶۷a
T3	۱۰۷/۳۳b	۳۲۲۰/۰۰ab	۶۰۰۹/۰۰d	۵۴۴۴/۰۰c	۰/۵۴ab	۰/۵۹ab
T4	۱۰۶/۵۷b	۲۸۷۶/۷۰b	۶۴۳۱/۰۰c	۵۲۸۳/۰۰d	۰/۴۵b	۰/۵۴ab

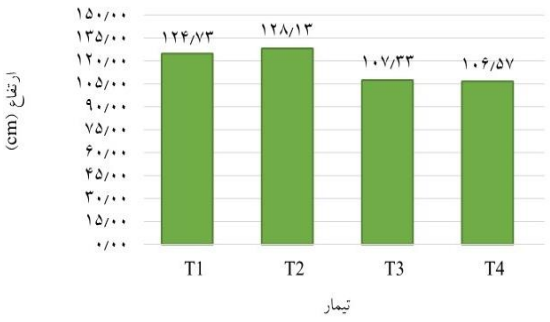
حروف مشابه نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد آزمون دانکن می‌باشند

دو تیمار کشت نشایی در بستر گلخراب شده (T1 و T2) ارتفاع بیش‌تری نسبت به تیمارهای کشت نشایی در بستر گلخراب نشده و کشت مستقیم (T3 و T4) داشتند که شرایط بهتر استقرار، تهیه مناسب‌تر زمین و فراهمی سایر شرایط مطلوب را می‌توان دلیل بالا بودن ارتفاع بوته در تیمارهای کشت نشایی در بستر گلخراب شده نسبت به تیمارهای کشت مستقیم و کشت نشایی در بستر گلخراب نشده دانست. حسنی و همکاران (۱۳۹۰) آزمایشی را در مزرعه‌ای در شهر بابل به‌منظور بررسی تأثیر روش‌های مختلف کشت و تیمارهای مختلف آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج هاشمی انجام دادند که نتایج نشان داد ارتفاع در روش‌های مختلف آبیاری متفاوت بود که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد. رجبی (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای درباره چگونگی عملکرد گیاه برنج در روش‌های مختلف آبیاری در شهرستان سپیدان نتیجه گرفت که ارتفاع بوته برنج در روش‌های مختلف آبیاری برنج دارای اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد بود که مشابه نتایج این تحقیق است. نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۳) صفات موردمطالعه نشان داد که سیستم‌های کشت و آبیاری بر میزان عملکرد در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بودند (pf ⩽۰/۰۱). با توجه به نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴)، عملکرد در دو تیمار T1 و T2 به‌ترتیب با ۴۰۷۹/۳۰ و ۴۰۶۲/۷۰ کیلوگرم در هکتار در یک گروه آماری یعنی a قرار گرفتند. تیمار T4 با ۲۸۷۶/۷۰ کیلوگرم در هکتار در گروه b و تیمار T3 با ۳۲۲۰/۰۰ کیلوگرم در هکتار در گروه ab قرار گرفت، به‌عبارت دیگر در این آزمایش اعمال تیمارهای T3 و T4 نقش مؤثری بر میزان عملکرد دانه داشتند. یوسفیان (۱۳۸۹) گزارش کرد مقدار عملکرد برنج تحت تأثیر روش آبیاری است که در راستای نتایج این آزمایش می‌باشد. تحقیقات اسدی (۱۳۹۵) نشان داده است که بیش‌ترین محصول زمانی به دست خواهد آمد که خاک شالیزار در شرایط غرقاب باشد که در این تحقیق نیز تیمار کشت رایج با آبیاری غرقابی دارای بالاترین عملکرد بود و تیمار T2 به‌مقدار ناچیز و تیمارهای T3 و T4 هرکدام ۲۱ و ۲۹ درصد نسبت به تیمار کشت رایج با آبیاری غرقابی کاهش عملکرد داشتند. رمضانی (۱۴۰۰) در آزمایشی بر روی آبیاری قطره‌ای نواری در خشکه‌کاری برنج در لنجان اصفهان، دلیل عملکرد بیش‌تر در تیمار غرقاب دائم را به نبود تنش رطوبتی در دوره رشد گیاه نسبت داد. شاردا و همکاران (۲۰۱۷) طی تحقیقی که در هند انجام دادند نتیجه گرفتند عملکرد در آبیاری قطره‌ای (۸-۷/۳ تن در هکتار) بود که در مقایسه با غرقاب دائم (۷/۶-۶/۶ تن در هکتار) افزایش داشت که مخالف نتایج این تحقیق است. قابل ذکر است که کاهش عملکرد موجب پایین آمدن بهره‌وری نیز می‌شود. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد اثر روش‌های مختلف کشت و آبیاری برنج بر میزان آب مصرفی (بارندگی + آبیاری) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (pf ⩽۰/۰۱). مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) نشان داد تیمار T1 با حجم آب مصرفی معادل ۸۴۳۱/۳۳ مترمکعب در هکتار بیش‌ترین حجم آب مصرفی را به خود اختصاص داده و در گروه a قرار گرفته است. تیمار T2 با حجم آب مصرفی معادل ۶۶۲۲/۰۰ مترمکعب در هکتار در گروه b و T4با حجم آب مصرفی معادل ۶۴۳۱/۰۰ مترمکعب در هکتار در گروه c جای گرفت. تیمار T3 نیز با ۶۰۰۹/۰۰ مترمکعب در هکتار کم‌ترین مقدار حجم آب مصرفی را به خود اختصاص داده و در گروه d قرار گرفته است. میزان کاهش حجم آب مصرفی در تیمارهای T2، T3 و T4

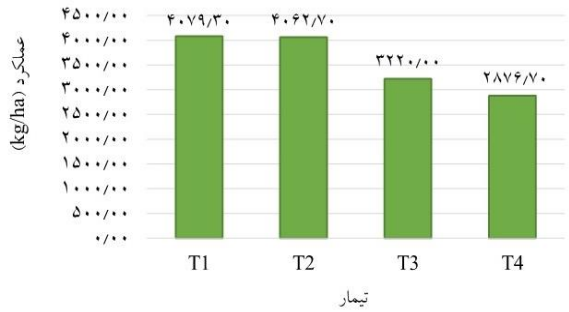
نسبت به تیمار T1 به‌ترتیب ۲۱، ۲۹ و ۲۴ درصد بود که علت اصلی کاهش مصرف آب در دو تیمار T3 و T4 با توجه به مدیریت یکسان آبیاری در هر دو تیمار، حذف مرحله آماده‌سازی زمین و عدم انجام عملیات گلخرابی است زیرا گلخرابی موجب شکسته شدن ساختمان خاک می‌شود (باستلا، ۲۰۲۰) و میزان مصرف آب در مرحله آماده‌سازی زمین را بالا می‌برد. در تیمار T4 مدت زمانی که گیاه در زمین اصلی قرار داشت بیشتر از تیمار T3 بود، به‌همین دلیل میزان مصرف آب در تیمار T4 بیشتر از T3 است. اسدی (۱۳۹۷) و بومن و همکاران (۲۰۰۷) نیز کاهش مصرف آب در کشت برنج در بستر غیرگلخراب را تایید کردند. تفاوت حجم آب مصرفی در تیمار کشت رایج با آبیاری غرقابی در مقایسه با کشت رایج با آبیاری قطره‌ای از نظر آماری در سطح یک درصد معنی‌دار است، اما از نظر عملکرد و بهره‌وری آب مصرفی این دو تیمار اختلاف معنی‌داری باهم نداشتند. با توجه به مدیریت یکسان کشت در هر دو روش آبیاری، علت اصلی کاهش مصرف آب در کشت رایج با آبیاری قطره‌ای به حداقل رساندن تلفات آب و کاهش تبخیر بود و غرقاب دائم در پای بوته‌ها انجام نشد و آبیاری قطره‌ای گیاه براساس تبخیر از تشتک کلاس A بود. دهقانیان (۱۳۹۴) طی تحقیقی بر آبیاری قطره‌ای نواری در زراعت برنج در شیراز گزارش کرد، روش آبیاری قطره-ای نواری، مصرف آب آبیاری برنج را ۶۴ درصد نسبت به روش آبیاری غرقابی کاهش می‌دهد که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد. کابانگون و همکاران (۲۰۰۲) طی تحقیقی در کشور مالزی گزارش کردند کشت بذر در بستر خشک دارای مصرف آب کمتر نسبت به روش کشت نشایی است که مطابق با نتایج این آزمایش است. نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که بین روش‌های کشت و آبیاری از نظر میزان آب آبیاری در سطح یک درصد تفاوت معنی‌داری وجود داشت (pf ⩽۰/۰۱). با توجه به مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) تیمار T1 با حجم آب آبیاری ۷۸۶۶/۳۳ مترمکعب در هکتار در گروه a و تیمار T2 با ۶۰۵۷/۰۰ مترمکعب در هکتار در گروه b قرار گرفتند. تیمار T3 با حجم آب آبیاری ۵۴۴۴/۰۰ مترمکعب در هکتار در گروه c و تیمار T4 با ۵۲۸۳/۰۰ مترمکعب در هکتار در کم‌ترین گروه یعنی d جای گرفت. تغییر روش کشت و آبیاری بر میزان حجم آب آبیاری موثر بوده و با توجه به مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) صفت حجم آب آبیاری در تیمارها در چهار کلاس مختلف قرار دارد. تیمار کشت رایج با آبیاری غرقابی بیش‌ترین و تیمار کشت مستقیم با آبیاری قطره‌ای کم‌ترین میزان آب آبیاری را داشتند. در روش کشت مستقیم بذر در بستر خشک (T4) به‌سبب استفاده از آب ناشی از بارندگی در ابتدای فصل و عدم انجام عملیات گلخرابی، مصرف کل آب آبیاری (۳۳ درصد) و همچنین مدت آماده‌سازی زمین به‌طور قابل توجهی نسبت به روش کشت رایج با آبیاری غرقابی کشت کاهش یافت. صفت بهره‌وری آب مصرفی در سیستم‌های مختلف کشت در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار بودند (pf⩽۰/۰۵ ⩾۰/۰۱) (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها (جدول ۴) نشان داد تیمار T2 با مقدار بهره‌وری آب مصرفی معادل ۰/۶۱ کیلوگرم در مترمکعب در گروه a، تیمار T1 و T3 با ۰/۴۸ و ۰/۵۴ کیلوگرم در مترمکعب در گروه ab و تیمار T4 با ۰/۴۵ کیلوگرم در مترمکعب در گروه b قرار گرفتند. بهره-وری آب مصرفی در تیمار کشت رایج با آبیاری قطره‌ای بیشتر از تیمار کشت رایج با آبیاری غرقابی بود و از طرفی در این تیمار ۲۷ درصد افزایش عملکرد نسبت به تیمار T1 مشاهده شد. علیزاده (۱۳۸۰) بیان کرد در آبیاری قطره‌ای بین تبخیر–تعرق و مقدار آبی که باید به زمین داده شود، در یک دوره زمانی محدود توازن برقرار می‌شود و این امر باعث می‌شود با توجه به محدود بودن میزان آب در دسترس، بهره‌وری بیشتری از آب انجام شود. رجبی (۱۳۹۱) طی آزمایشی در خصوص اثر روش‌های مختلف آبیاری در سپیدان گزارش کرد اثر روش‌های آبیاری بر راندمان مصرف آب برنج در سطح یک درصد دارای اختلاف معنی‌داری بود که مشابه نتایج این تحقیق است. نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات (جدول ۳) نشان داد که اثر روش کشت بر صفت بهره‌وری آب آبیاری در چهار

تیمار دارای اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد بودند (۰/۰۱≤ pf≤۰/۰۵). براساس مقایسه میانگین (جدول ۴) تیمار T2 با ۰/۶۷ کیلوگرم در مترمکعب در گروه a و تیمار T1 با ۰/۵۲ کیلوگرم در مترمکعب در گروه b و تیمار T3 و T4 به‌ترتیب با مقادیر ۰/۵۹ و ۰/۵۴ کیلوگرم در مترمکعب در گروه ab قرار گرفتند. امیری (۱۳۸۵) با بررسی نتایج تحقیق‌های انجام شده در زمینه مدیریت آبیاری برنج در استان گیلان، برای رقم هاشمی، مقدار بهره‌وری آب آبیاری را در دامنه ۰/۹۲-۰/۲۹ کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه کرد که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد. صداقت و همکاران (۱۳۹۳) طی تحقیقاتشان بر روی اثر روش‌های آبیاری بر بهره‌وری آب برنج در آمل نتیجه گرفتند بین ارقام گیاهی استفاده شده و نیز روش‌های مختلف آبیاری از نظر میزان بهره‌وری آب آبیاری تفاوت معنی‌داری وجود دارد که مشابه نتایج این تحقیق است.

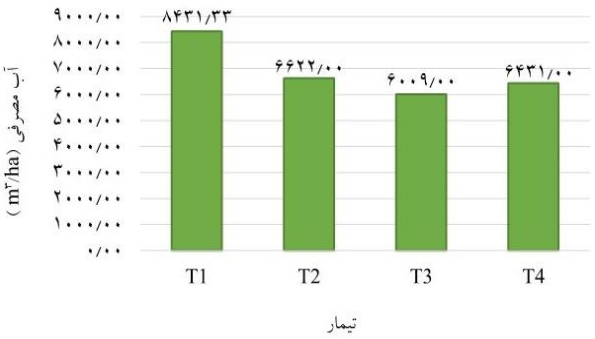
فرشی و همکاران (۱۳۸۲) یکی از راهکارهای افزایش بهره‌وری آب را کاهش آب مصرفی در طول دوره رشد گزارش کردند، به‌نحوی که عملکرد در واحد سطح کاهش نیابد و یا میزان کاهش عملکرد کمتر از میزان کاهش آب مصرفی باشد که برای رسیدن به‌این منظور در ابتدا باید تا حد ممکن از هدر رفت آب پیش از اینکه در اختیار گیاه قرار بگیرد، جلوگیری شود یا به عبارت دیگر با اجرای تمهیداتی راندمان مصرف آب را افزایش داد. بر اساس شکل (۱) مقایسه میانگین اثر تیمارها بر ارتفاع نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع متعلق به تیمار T2 بود که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد با تیمار کشت رایج با آبیاری غرقابی نداشت و کم‌ترین ارتفاع متعلق به تیمار T4 بود. استفاده از روش کشت مستقیم با آبیاری قطره‌ای موجب کاهش ارتفاع به میزان ۱۸/۱۶ سانتی‌متر نسبت به روش کشت رایج با آبیاری غرقابی شد.



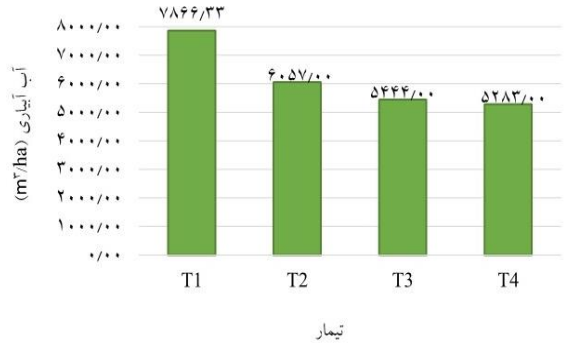
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر ارتفاع



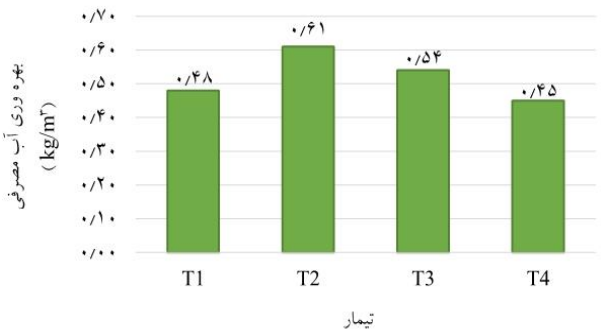
شکل ۲- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر عملکرد



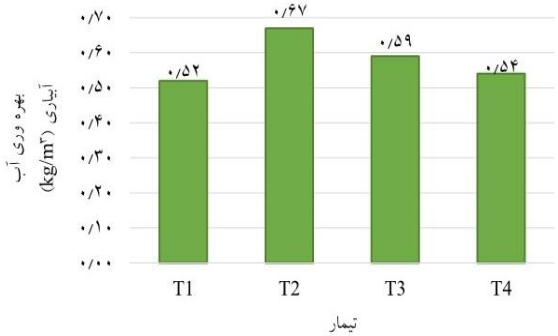
شکل ۳- مقایسه اثر تیمارها بر آب مصرفی



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر آب آبیاری



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر بهره‌وری آب مصرفی



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر تیمارها بر بهره‌وری آب آبیاری

با توجه به شکل (۲) بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین عملکرد دانه متعلق به تیمارهای T1 و T4 به‌ترتیب با ۴۰۷۹/۳۰ و ۲۸۷۶/۷۰ کیلوگرم در هکتار بود، یعنی بیش‌ترین محصول زمانی به دست آمد که خاک شالیزار در شرایط غرقاب بود. در این تحقیق با وجود اختلاف معنی‌دار (در سطح یک درصد) در حجم آب مصرفی در تیمارهای مختلف، تفاوت آب قابل جذب برای ریشه گیاه در بعضی از تیمارها کم بوده و در نتیجه کاهش عملکرد در تیمار T2 نسبت به T1 و T3 نسبت به T1 در سطح یک درصد معنی‌دار نیست (شکل ۲)، یعنی کاهش حجم آب آبیاری از T1 به T2 و همچنین از T1 به T3 با اطمینان ۹۹ درصد منجر به کاهش عملکرد نشده است. باتوجه به شکل‌های (۳) و (۴) بیش‌ترین آب مصرفی و آب آبیاری به‌ترتیب با ۸۴۳۱/۳۳ و ۷۸۶۶/۳۳ مترمکعب در هکتار در تیمار کشت رایج با آبیاری غرقابی مشاهده شد، درحالی که با وجود مصرف آب بیش‌تر بهره‌وری پایینی داشت (شکل ۵ و ۶) و با تغییر روش کشت و آبیاری مصرف آب کاهش و بهره‌وری افزایش یافت. با توجه به نمودارهای مربوط به بهره‌وری (شکل ۵ و ۶) مشاهده می‌شود که میزان آب مصرفی در روش کشت رایج با آبیاری قطره‌ای ۶۶۲۲/۰۰ مترمکعب در هکتار بود که سبب صرفه‌جویی در حجم آب مصرفی (آبیاری + بارندگی) و حجم آب آبیاری به مقدار ۱۸۰۹/۳۳ مترمکعب در هکتار در مقایسه با کشت رایج با آبیاری غرقابی شده بود، درحالی که این تیمار بدون کاهش معنی‌دار عملکرد (شکل ۲) حداکثر بهره‌وری آب مصرفی و بهره‌وری آب آبیاری را در بین تیمارها داشت (شکل ۵ و ۶). نتایج روند مصرف و بهره‌وری آب آبیاری برنج نشان داد تغییر روش آبیاری غرقابی به قطره‌ای و تغییر روش کشت رایج به کشت نشایی در بستر غیرگلخراب و کشت مستقیم نقش بسیار مهمی در صرفه‌جویی مصرف آب و همچنین بهره‌وری آب داشتند. در این آزمایش آماربرداری از آفات انجام نشد و از نظر علف هرز، در کشت رایج به دلیل شرایط غرقابی تعداد و تنوع علف‌های هرز کمتر از روش کشت مستقیم بود و برخی گونه‌های باریک‌برگ و پهن‌برگ که با شرایط غرقاب سازگار نیستند در خشکه‌کاری برنج ظاهر شدند. دلیل بالا بودن جمعیت علف هرز در کشت مستقیم، نبود فشار آب بر علف هرز در ابتدای رشد و همزمانی ظهور علف هرز با برنج بود (کیانی و همکاران، ۱۳۹۹) اما در این آزمایش علف‌های هرز با مبارزه مکانیکی و شیمیایی به‌خوبی کنترل شدند. سینگ و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند چنانچه علف‌های هرز کنترل شوند بین دو سیستم کشت مستقیم و نشایی اختلاف معنی‌داری در عملکرد دانه وجود ندارد که مشابه با نتایج این تحقیق است. از نظر هزینه، در سه تیمار T2 و T3 و T4 استفاده از روش آبیاری قطره‌ای هزینه‌هایی برای تهیه تجهیزات آبیاری قطره‌ای به‌همراه داشت، درحالی که هزینه مربوط به آماده‌سازی زمین به‌دلیل عدم انجام عملیات گلخرابی در این تیمارها نسبت روش آبیاری غرقابی کمتر بود. باتوجه به مطالب یاد شده می‌توان بیان کرد در تیمار T2، استفاده از روش آبیاری قطره‌ای به‌جای غرقاب دائم موجب صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در مصرف آب شد و بالاترین میزان بهره‌وری از آب موجود را در بین تیمارها

داشت، در حالی که موجب کاهش عملکرد ناچیزی نسبت به روش کشت رایج با آبیاری غرقابی شد، از این رو با توجه به کمبود آب در سال‌های اخیر در بخش کشاورزی و تولید برنج، استفاده از این روش جایگزین مناسبی برای روش کشت رایج با آبیاری غرقابی خواهد بود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر آبیاری قطره‌ای و غرقابی بر عملکرد و بهره‌وری آب در دو روش کشت نشایی و مستقیم برنج در یک مزرعه شالیزاری بررسی شد. سیستم‌های کشت با آبیاری غرقابی و قطره‌ای اثر معنی‌داری بر ارتفاع، آب مصرفی، آب آبیاری، بهره‌وری آب مصرفی و بهره‌وری آب آبیاری در سطح یک و پنج درصد داشتند که مقدار کاهش یا افزایش این صفات بسته به نوع کشت و روش آبیاری متفاوت بود. تغییر روش آبیاری از آبیاری غرقابی به قطره‌ای در سیستم‌های کشت نشایی در بستر گلخراب نشده و کشت مستقیم، عملکرد دانه را نسبت به تیمار کشت نشایی در بستر گلخراب با آبیاری غرقابی کاهش داد. اگرچه استفاده از روش سنتی کشت با غرقاب دائم نسبت به تیمارهای دیگر دارای عملکرد بیشتری بود و اجرای آسان‌تری داشت اما نتایج این تحقیق نشان داد که غرقاب دائم برنج ضروری نیست و فقط در شرایط وجود منابع مطمئن آب در طول دوره رشد قابل اجرا است و در صورت کمبود آب باید از روش‌های جایگزین استفاده کرد. اگر ملاک فقط حجم آب آبیاری بود تیمار کشت مستقیم با آبیاری قطره‌ای حداقل حجم آب آبیاری (۵۲۸۳/۰۰ مترمکعب در هکتار) را داشت اما با در نظر گرفتن جوانب دیگر تیمار کشت مستقیم با آبیاری قطره‌ای گزینه برتر نیست، زیرا با اینکه از نظر حجم آب آبیاری نسبت به تیمار کشت رایج با آبیاری غرقابی کاهش قابل‌توجهی داشت، راندمان مصرف آب و عملکرد دانه در این روش پایین بود، از نظر اقتصادی نیز همانطور که اشاره شده بود استفاده از سامانه آبیاری تحت فشار هزینه‌ای را برای آماده‌سازی تجهیزات شبکه آبیاری قطره‌ای نیاز دارد، همچنین تغییر همزمان روش کشت (کشت مستقیم بذر در بستر خشک) و روش آبیاری (آبیاری قطره‌ای) برای کشاورزان مشکل است و در نتیجه این تیمار جایگزین مناسبی برای روش کشت رایج با آبیاری غرقابی نبود. تیمار کشت نشاء در بستر گلخراب نشده با آبیاری قطره‌ای با وجود حذف عملیات گلخرابی که یکی ازعملیات‌های سخت در کشت برنج است، کم‌ترین مصرف آب (۶۰۰۹/۰۰ مترمکعب در هکتار) در بین تیمارهای دیگر و همچنین کاهش معنی‌دار حجم آب آبیاری نسبت به تیمار کشت رایج با آبیاری غرقابی، به‌دلیل کاهش زیاد عملکرد نسبت به روش کشت رایج با آبیاری غرقابی، بالا نبودن میزان بهره‌وری آب مصرفی و آب آبیاری و همچنین اضافه شدن هزینه کارگری به‌منظور نشاءکاری در بستر غیرگلخراب علاوه بر هزینه‌های مربوط به تجهیزات آبیاری تحت فشار گزینه مناسبی نبود. اگرچه هزینه مربوط به تجهیزات آبیاری قطره‌ای در تیمار کشت نشایی در بستر گلخراب نشده هم وجود داشت، مقدار مطلوب عملکرد دانه و افزایش بهره‌وری آب مصرفی و بهره‌وری آب آبیاری به‌دست آمده در این تیمار نشان داد که در بین تیمارها با در نظر گرفتن شرایط منطقه و در صورت داشتن آب مطمئن، کشت رایج با آبیاری قطره‌ای جایگزین مناسبی برای کشت رایج با آبیاری غرقابی برنج است؛ به‌گونه‌ای که انتظار می‌رود با صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش بهره‌وری به تولید مطلوبی می‌توان دست یافت.

فهرست منابع

۱. اسدی ر.، ۱۳۹۵. مطالعه بهره‌وری مصرف آب و کود ازته در تنش‌های مختلف رطوبتی و سیستم‌های متفاوت کشت در برنج رقم کشوری در استان مازندران. رساله دکتری تخصصی رشته آبیاری و زهکشی. دانشکده کشاورزی. گروه مهندسی آب. دانشگاه فردوسی مشهد.

۲. اسدی ر.، علیزاده ا.، انصاری ح، .کاوسی م .و امیری ا، ۱۳۹۵. تاثیر مقادیر آب و نیتروژن مصرفی بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب در دو روش کشت برنج. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۳۰. شماره ۲. صفحه‌های ۱۴۵ تا ۱۵۷.

۳. اسدی ر، ۱۳۹۷. کشت برنج در اراضی شالیزاری بدون انجام عملیات گلخرابی، انتشارات موسسه تحقیقات برنج کشور. رشت.

۴. امیری ا، ۱۳۸۵. بررسی بیلان آب و عملکرد برنج در مدیریت‌های آبیاری در شالیزار با استفاده از مدل. رساله دکتری. رشته آبیاری و زهکشی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.

۵. پورامیر ف.، یعقوبی ب. و شهبازی ح، ۱۳۹۹. مقایسه عملکرد و اجزای عملکرد ارقام بومی و اصلاح‌شده برنج در دو روش کشت نشایی و مستقیم. مجله تولید گیاهان زراعی، جلد ۱۳، شماره ۲، صفحه‌های ۱۳۱ تا ۱۴۵.

۶. حسنی ا.، تشکری ع.، قاسمپور علمداری م.، بهادری م و بریمانی ز، ۱۳۹۰. بررسی روش‌های مختلف آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد رقم طارم محلی برنج. اولین کنگره ملی علوم و فناوری‌های نوین کشاورزی. ۱۹ تا ۲۱ شهریور ماه. دانشگاه زنجان.

۷. خالقی ن. ۱۳۹۴. روش‌های برآورد بارش مؤثر در کشاورزی. نشریه آب وتوسعه پایدار، سال دوم، شماره ۲، صفحه‌های ۵۱-۵۸.

۸. صداقت ن.، پیردشتی ه.، اسدی ر. و موسی طغانی س ی، ۱۳۹۳. اثر روش‌های آبیاری بر بهره‌وری آب در برنج، نشریه پژوهش آب در کشاورزی. جلد ۲۸. شماره ۱، صفحه‌های ۱ تا ۹.

۹. دهقانیان ا، ۱۳۹۴. آبیاری قطره‌ای نواری در زراعت برنج. نشریهٔ فنی. شورای انتشارات مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس شماره ۱۹، صفحه‌های ۱ تا ۸.

۱۰. رجبی ف، ۱۳۹۱. اثر روش های مختلف آبیاری بر راندمان مصرف آب، عملکرد، اجزاء عملکرد و جذب عناصر در ارقام مختلف برنج. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد ارسنجان.

۱۱. رمضانی ا.، دهقانی م.، ۱۴۰۰. کاربرد آبیاری قطرهای نواری در خشکه‌کاری برنج (مطالعهٔ موردی :لنجان اصفهان). مجله پژوهش آب ایران. جلد ۱۵، شماره ۲، صفحه‌های ۱۱۹ تا ۱۲۷.

۱۲. عباسی ف.، ناصری ا.، سهراب ف.، باغانی ج.، عباسی ن. و اکبری، م.۱۳۹۴. ارتقای بهره‌وری مصرف آب. سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی. ۶۸ صفحه.

۱۳. علیزاده، ا.، ۱۳۸۰. بهره برداری آب در کشاورزی مجموعه مقالات کارگاه بهره‌وری آب. مشهد.

۱۴. فرشی، ع. ا. و دربندی، ص. ۱۳۸۲. مدیریت آب آبیاری در مزرعه. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. تهران.

۱۵. کیانی ع.، یونس آبادی م.، فرجی ا.، حسینی چالشتری م.، یزدانی م ر.، فیض‌بخش م ت.، مبشری م ت.، اله‌قلی‌پور م، .شاملی س، .شریفی م.، پهلوان راد م ر، .عبداللهی ک، .صلاحی فراهی م.، ارزانش م ح.، عبادی ع ا. و

سوخته‌سرایی م، ۱۳۹۹. دستورالعمل تولید برنج به روش کشت مستقیم در بستر خشک (استان گلستان)، موسسه تحقیقات برنج کشور. رشت.

۱۶. یوسفیان م، ۱۳۸۹. مطالعه بهره‌وری آب در کشت نشایی برنج (ارقام طارم و شیرودی). پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی. دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان.

17. Ahmadi K, Ebadzadeh H, Hatami Abdolshah H and Kazemian A, 2019. Agriculture Statistics Crop Year 2017-2018: Ministry Agriculture. Program and Budget Deluty. Dorectorate General of Statistics and information. Crop Production. Tehran.
18. Bastola A, 2020. A Review on Effect of Establishment Methods on Growth, Yield and Yield Attributes of Rice and on Succeeding Crops after Rice. International Journal for Research in Applied Sciences and Biotechnology, 7(6): 134-139.
19. Bouman B A M, Lampayan R M and Tuong T P. 2007. Water Management in Irrigated Rice: Coping with Water Scarcity. International Rice Research Institute (IRRI) Los Banos. Philippines.
20. Bouman B A M and Tuong T P, 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated rice. Agric. Water Manage, (49):11-30
21. Cabangon RJ and Abdullah NB, 2002. Comparing water input and water productivity of transplanted and direct-seeded rice production systems. Journal of Agricultural Water Management, (57): 11–31.
22. Carrijo DR, Lundy ME and Linquist BA, 2017. Rice yields and water use under alternate wetting and drying irrigation: A meta-analysis. Field Crops Research, (203): 173-180.
23. Devkota K P, Khanda C M, Beebout S J, Mohapatra B K, Singleton G R and Puskur R. 2020. Assessing alternative crop establishment methods with a sustainability lens in rice production systems of Eastern India. Journal of cleaner production, 244: 118835.
24. Duvvada., S K. Mishra., G C. Maitra., S and Patra., C. 2020. Influence of irrigation regimes and date of transplanting on yield and economics of summer rice (Oryza sativa). Crop Research, 55: 0970-4884.
25. FAO: Food and Agriculture Organization. 2014. FAOSTAT agriculture database. Rome.
26. Fang H, Rong H, Hallett PD, Mooney SJ, Zhang W, Zhou H and Peng X, 2019. Impact of soil puddling intensity on the root system architecture of rice (Oryza sativa L.) seedlings. Soil and Tillage Research, (193): 1-7.
27. Hossen MA, Hossain MM, Haque ME and Bell RW, 2018. Transplanting into non-puddled soils with a small-scale mechanical transplanter reduced fuel. Labour and irrigation water requirements for rice (Oryza sativa L.) establishment and increased yield. Journal of Field Crops Research, (225): 141–151.
28. Kohzad S, Moosavi SN and Haghighi SMHM, 2020. Estimation the Economic Value of Irrigation Water for Rice Farms in Iran. Montenegrin Journal of Economics, 16(4): 109-121.
29. Kruzhilin IP, Doubenok NN, Ganiev MA, Abdou NM, Melikhov VV, Bolotin AG and Rodin KA, 2015. Water-saving technology of drip irrigated aerobic rice cultivation Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии, (3): 47-56.
30. Mao Z, 2002. Water efficient irrigation and environmentally sustainable irrigated rice production in China. International Commission on Irrigation and Drainage. Research Gate GmbH.
31. Pan J, Liu Y, Zhong X, Lampayan RM, Singleton GR, 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.
32. Pourgholam-Amijia., M. Abdolmajid Liaghata., A. Ghameshloua., A Khoshraveshb., M. Mohsin Waqasc., M. 2020.INVESTIGATION OF THE YIELD AND YIELD COMPONENTS OF RICE IN AREAS WITH SHALLOW WATER TABLE AND SALINE. Big data in agriculture (BDA). 2(1) :36-40.

33. Ramulu V, Rao V P, Devi M U, Kumar K A and Radhika K, 2016. Evaluation of drip irrigation and fertigation levels in aerobic rice for higher water productivity. 6-8 November. In Anais do World Irrigation Forum. Chiang Mai, Thailand, pp. 1-10.
34. Rao K V R, Gangwar S, Keshri R, Chourasia L, Bajpai A and Soni K, 2017. Effects of drip irrigation system for enhancing rice (*Oryza sativa* L.) yield under system of rice intensification management. Applied Ecology and Environmental Research, 15: 487-495.
35. Sandhu., N. Subedi., S R. Yadaw., R B. Chaudhary., B. Prasai., H. Iftekharuddaula., K. Thanak., T. Thun., V. Battan., K R. Ram., M and Venkateshwarlu., C., 2017. Root traits enhancing rice grain yield under alternate wetting and drying condition. Frontiers in plant science 8:1879.
36. Sharda R, Mahajan G, Siag M, Singh A and Chauhan B S, 2017. Performance of dripirrigated dry-seeded rice (*Oryza sativa* L.) in South Asia. Paddy and Water environment, 15(1): 93-100.
37. Sharda R, Mahajan G, Siag M, Singh A and Chauhan B S, 2017. Performance of dripirrigated dry-seeded rice (*Oryza sativa* L.) in South Asia. Paddy and Water environment, 15(1): 93-100.
38. Singh, S., Ladha, J.K., Gupta, R.K., Bhushan, L.a.v., and Rao, A.N. 2007. Weed management in aerobic rice systems under varying establishment methods. Elsevier. *Crop Protection*, 27: 660–671.
39. Singh, S., J. K. Ladhab, R. K. Guptaa, L. Bhushana, and A. N. Raob. 2008. Weed management in aerobic rice systems under varying establishment methods.Crop Protection, (27) : 660–671
40. Singh P K, Srivastava P C, Sangavi R, Gunjan P and Sharma V, 2019. Rice water management under drip irrigation: an effective option for high water productivity and efficient zinc applicability. Pantnagar Journal of Research, 17(1): 19-26.
41. Tuong T P & Bouman B A M. 2003. Rice production in waterscarce environments. Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement, (1):13–42.
42. Verma GS, Verma V, Verma DK and Singh RK, 2018. Integrated Weed Management Practices in Zero-Till Direct-Seeded Rice. Pp. 255-276. in: Verma DK, Srivastav P and Nadaf AB. Agronomic Rice Practices and Postharvest Processing: Production and Quality Improvement of Rice. Publisher Apple Academic Press.
43. Xu L, Li X, Wang X, Xiong X and Wang, F. 2019. Comparing the grain yields of direct-seeded and transplanted rice: A meta-analysis. Journal of Agronomy. 9(11): 767.
44. Ye Y, Liang X, Chen Y, Liu J, Gu J, Guo R and Li L. 2013. Alternate wetting and drying irrigation and controlled-release nitrogen fertilizer in late-season rice. Effects on dry matter accumulation, yield, Water and nitrogen use. Field Crops Research, (144): 212–224.

Effect of Drip and Flood Irrigation on Water Productivity and Yield in Two Methods of Rice Cultivation

M. Rahimi Pool, D. Akbari Nodehi[1], R. Asadi, A. Bagheri, and F. Shirdel-Shahmiri

Ph.D. Student, Dept. of Water Science and Engineering, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran. **mahsa.rahimi80@yahoo.com**

Assistant Professor, Dept. of Water Science and Engineering, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran. **dakbarin@yahoo.com**

Dept. of Water Science and Engineering, Ghaemshahr Branch, Islamic Azad University, Ghaemshahr, Iran,

Assistant Professor, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Rice Research Institute, Mazandaran, Amol, Iran**. r_asadi1@yahoo.com**

Assistant Professor, Dept. of Water Science and Engineering, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran**. ali523b@yahoo.com**

Assistant Professor, Dept. Of Agronomy, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran. **fazlshirdel@yahoo.com**

Received: November 2021, and Accepted: March 2022

Abstract

Due to the importance of rice cultivation, especially in Mazandaran Province, it is necessary to plan carefully for the optimal use of water resources in the province in the agricultural sector, especially rice, to reduce water demand for rice production. For this purpose, an experiment was conducted in the form of a complete block-design with three replications and four treatments using Tarom Hashemi cultivar, during the 2021 crop year in the Rice Research Institute of Iran-Amol. Treatments included conventional planting with flood irrigation (T1) and drip irrigation (T2), transplanting in un-puddled bed with drip irrigation (T3) and direct seed cultivation in dry bed with drip irrigation (T4). The results showed that the cultivation method was effective on yield, plant height, water consumption and irrigation water, water productivity and water use efficiency and was statistically significant at 1% and 5% level of probablity. The highest and lowest yields belonged to T1 and T4 treatments with 4079 and 2876 kg/ha, respectively, and T2 had the highest water productivity with 0.61 kg/$m^{3,}$ which had no significant difference with T1. The lowest water productivity belonged to T4 with 0.45 kg/m^3. The highest and lowest irrigation water productivity belonged to T2 and T1 with 0.67 and 0.52 kg/m^3, respectively Based on the results, conventional planting with drip irrigation did not have a significant reduction in yield compared to conventional planting with flood irrigation and increased water productivity by saving water consumption Therefore, the conventional planting method with drip irrigation was recognized as the best treatment in this study.

Keywords: Puddling bed, Tarom Hashemi cultivar, Irrigation management

[1]- Corresponding author: Dept. of Water Science and Engineering, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran.