نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۲ شماره۱ / سال ۱۴۰۱ صفحات ۱۷۴-۱۴۹

Effect of Rice-Duck Co-Cultivation on the Trend of Changes in Growth Indices, Photosynthesis and Irrigation and Precipitation Water Productivity in Different Cultivation Systems

Kamran Mansour Ghanaei-Pashaki[1], Gholamreza Mohsen-abadi[2*], Mohammad Hassan Biglouei[3], Mohammad Baqer Farhangi[4] , Ali Mokhtassi-Bidgoli[5]

Received: 03 March 2021 Accepted: 21 September 2021
1- Ph.D. Candidate of Agronomy, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, Guilan University, Rasht, Iran.
2-Assist. Prof., Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, Guilan University, Rasht, Iran.
3-Assoc. Prof., Dept. of Water Engineering, Faculty of Agricultural Sciences, Guilan University, Rasht, Iran.
4-Assist. Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, Guilan University, Rasht, Iran.
5-Assist. Prof., Dept. of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
*Corresponding Author Email: mohsenabadi@guilan.ac.ir

Abstract

Background and Objective: This study was conducted to investigate the combined use of duck in different rice cultivation systems and effects on growth indices, photosynthesis and water productivity of fields.

Materials and Methods: The experiment was carried out as a split plot factorial experiment based on randomized complete block design with three replications in Research Farm, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, in 2017 and 2018 years. Treatments included of three levels of cultivation system; Conventional Cultivation (CC), Improved Cultivation (IC) and SRI (System of Rice Intensification) as the main factor and combined of two levels of duck (control and 750 duck per hectare) and three levels of weed control (control, once and twice weeding) as factorials in sub-factor.

Results: The results showed that the beginning of the growing period, all experiment treatments showed a significant difference in terms of leaf area index and with increasing the length of the growing period; the increase in leaf area index was greater in terms of combine treatments of 750 ducks per hectare and SRI. At the beginning of growth, CGR in SRI system was slower than the others and in the middle to late growth period, CGR rate values were in SRI>IC>CC. In un-use duck conditions, the rate of plant photosynthesis in all growth stages between once and twice weed control was almost not significantly different and the lowest values were assigned to the control, However, with the application of 750 ducks per hectare, no significant difference was observed between all levels of weed control in all terms of plant growth. In terms of application of 750 ducks per hectare, the highest yield of paddy was in SRI>IC>CC. In the conditions of application of 750 ducks per hectare, no significant difference in terms of irrigation water efficiency and rainfall was observed between different levels of weed control and the highest value were seen in the SRI.

Conclusion: The experimental results showed the improvement of LAI and photosynthesis rate and increased of rice paddy yield and irrigation and precipitation water productivity due to the combined application of rice-duck in different cultivation systems. In general, the combined application of rice-duck in different cultivation systems can be considered suitable for improving the quantitative yield and growth and physiological indicators of rice to achieve sustainable agricultural goals and increase farmers' income per unit area in the plain areas of Guilan.

Keyword: Hashemi Cultivar, Photosynthesis, SRI, Water, Weeding.

تأثیر زراعت برنج (*Oryza sativa* L.) توأم با اردک بر روند تغییرات شاخص‌های رشدی، فتوسنتز و بهره‌وری آب آبیاری و باران در سیستم‌های مختلف کشت

کامران منصورقناعی پاشاکی[۱]، غلامرضا محسن‌آبادی[۲*]، محمدحسن بیگلویی[۳]، محمد باقر فرهنگی[۴]، علی مختصی بیدگلی[۵]

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۲/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۳۰

۱-دانشجوی دکترای زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۲- استادیار گروه زراعت واصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۳-دانشیار گروه آبیاری، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۴- استادیار گروه خاکشناسی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۵- استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
*آدرس ایمیل نویسنده مسئول: Email: mohsenabadi@guilan.ac.ir

چکیده

اهداف: این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد توأم اردک در سیستم‌های مختلف کشت برنج بر شاخص‌های رشدی، فتوسنتز و بهره‌وری آب مزارع شالیزاری مورد آزمایش قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه پژوهشی دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان اجرا شد. تیمارها شامل سه سیستم مختلف کشت (متداول، بهبودیافته و SRI[۱]) به‌عنوان عامل اصلی، و ترکیب دو سطح اردک (شاهد و ۷۵۰ قطعه در هکتار) و سه سطح کنترل علف‌هرز (شاهد، یک و دو بار وجین) به‌صورت فاکتوریل به‌عنوان عامل فرعی بودند.

یافته‌ها: نتایج این تحقیق نشان داد که، در ابتدای دوره رشد، کلیه تیمارهای آزمایشی از نظر شاخص سطح برگ تفاوت معنی‌داری را از خود نشان داده و با افزایش طول دوره رشد افزایش شاخص سطح برگ در شرایط ترکیب تیماری ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار و سیستم کشت SRI بیشتر بود. در ابتدای رشد، سرعت رشد گیاه در سیستم کشت SRI کمتر از بقیه بود و در اواسط تا اواخر دوره رشد مقادیر سرعت رشد گیاه در<SRI بهبود یافته>متداول بود. در شرایط بدون کاربرد اردک، سرعت فتوسنتز گیاه در کلیه مراحل رشد بین یک‌بار و دوبار کنترل علف‌هرز تقریباً دارای تفاوت معنی‌داری نبوده و کم‌ترین مقادیر آن به شاهد اختصاص داشت، این در حالی است که با اعمال ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار تفاوت معنی‌داری بین کلیه سطوح کنترل علف‌های هرز در تمام مراحل رشدی گیاه دیده نشد. در شرایط اعمال ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار بیشترین عملکرد شلتوک در<SRI بهبود یافته>متداول بود. در شرایط اعمال ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار تفاوت معنی‌داری از نظر بهره‌وری آب آبیاری و بارش بین سطوح کنترل علف‌هرز دیده نشد و بالاترین مقدار آن در سیستم کشت SRI دیده شد.

[۱] System of Rice Intensification

نتیجه‌گیری: نتایج آزمایش نشان‌دهنده بهبود شاخص سطح برگ، سرعت فتوسنتز و افزایش عملکرد شلتوک و بهره‌وری آب آبیاری و بارش گیاه برنج ناشی از کاربرد توأم برنج- اردک در سیستم‌های مختلف کشت بود. به‌طور کلی، کاربرد توأم برنج- اردک در سیستم‌های مختلف کشت می‌تواند برای بهبود عملکرد کمی و شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیک برنج جهت حصول اهداف کشاورزی پایدار و افزایش درآمد کشاورزان در واحد سطح در مناطق جلگه‌ای گیلان مناسب به‌نظر رسد.

واژه‌های کلیدی: آب، رقم هاشمی، سیستم کشت SRI، فتوسنتز، وجین

مقدمه

برنج یکی از مهم‌ترین محصولاتی است که غذای بیش از نیمی از مردم دنیا را تشکیل داده و در حال حاضر، با دو چالش اساسی روبروست؛ از یک سو، تولید پایدار برای یک جمعیت در حال رشد و از سویی دیگر، این افزایش باید در شرایط کمبود منابع آب حاصل شود (عبداللطیف و عبدالله ۲۰۱۸). یکی از راهکارهای اصلی در کشاورزی پایدار، استفاده از سیستم‌های کشت بهینه در اکوسیستم‌های زراعی با هدف افزایش دامنه سازگاری برنج با عمق غرقابی و درجه کنترل رطوبت (ورگارا و همکاران ۱۹۶۵) و کاربرد اردک به‌همراه کنترل علف‌های هرز به‌منظور کاهش آلودگی¬های زیست‌محیطی ناشی از علف¬کش¬ها و توسعهٔ کشاورزی سازگار با محیط‌زیست در جهت افزایش درآمد کشاورز در واحد سطح است (لو و همکاران ۲۰۰۵).

سطح زیر کشت برنج در ایران، ۵۸۰۰۰۰ هکتار و عملکرد آن ۳۴۳۱/۰ کیلوگرم شلتوک در هکتار گزارش شده، در حالی که متوسط عملکرد برنج در دنیا ۴۶۷۸/۹ کیلوگرم شلتوک در هکتار بوده است (فائو ۲۰۱۸). قطب تولید برنج ایران استان-های گیلان، مازندران، گلستان، خوزستان و فارس است. سطح زیر کشت برنج در استان گیلان ۱۹۷۰۷۸ هکتار و عملکرد آن ۴۶۲۸ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (وزارت جهاد کشاورزی ۲۰۱۸).

با توجه به این‌که سیستم‌های کشت سنتی و متداول از یک سو با مشکلاتی نظیر غرقاب نگه داشتن دائم شالیزار، افزایش فرسایش خاک، افزایش مقاومت آفات و عوامل بیماری‌زا و علف‌های هرز به سموم شیمیایی، افزایش آلودگی محیط‌زیست با مصرف بی‌رویه سموم و کودهای شیمیایی، کاهش تنوع زیستی و به خطر افتادن سلامت انسان مواجه بوده (فاروق و همکاران ۲۰۰۹)، و از سویی دیگر نیازمند به نیروی کارگری زیاد، آب فراوان و انرژی بالا هستند که این موضوع ضرورت توجه به روش‌ها و سیستم‌های جدید کشت را بیشتر کرده است (ساین و همکاران ۲۰۰۹). در آزمایشی که به‌منظور بررسی پارامترهای فیزیولوژیکی LAI، CGR، RGR و NARواریته‌های مختلف برنج در سیستم‌های مختلف کشت SRI در هندوستان انجام شد، گزارش شد که شاخص‌های رشدی در سیستم کشت SRI با عمق نشاکاری سطحی، بهبود یافت. به اعتقاد این پژوهش‌گران علت بهبود شاخص‌های رشدی در سیستم کشت سطحی SRIمربوط به بهبود ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک برنج در این سیستم بود. نتایج بررسی کارآیی سیستم کشت SRI در شاخص‌های رشدی، اجزای عملکرد و سوددهی برنج نشان داد که در سیستم کشت SRI، پارامترهای LAI ، DMA و CGR به‌ترتیب ۲۴/۲، ۲۷ و ۶۹/۶ درصد بهبود داشت (نیار علی و ایزهار ۲۰۱۷). بررسی نتایج تحقیقات نشان داد که کاربرد روش‌های مؤثر در بهره‌وری آب، از جمله؛ سیستم کشت SRIبا توجه به بهبود مدیریت آبیاری در مزرعه از نظر جلوگیری از آب زهکشی و کاهش نفوذپذیری، کاهش پی‌آمدهای کشت متداول و افزایش حاصلخیزی خاک

(وجود اردک) می‌توانند به‌میزان قابل‌توجهی بهره‌وری آب را افزایش دهند (دونی و همکاران ۲۰۱۵). پژوهشگران در بررسی روش‌های مختلف کشت توأم برنج از جمله برنج- اردک دریافتند که کاربرد اردک موجب بهبود DMA، CGR و فتوسنتز گیاه برنج از طریق تحرک مداوم اردک در مزرعه و هوادهی متناوب خاک شالیزار به‌منظور افزایش اکسیژن و در نتیجه افزایش حجم ریشه‌ها و فراهمی عناصر غذایی که منجر به جذب بهتر و بیشتر عناصر غذایی گردید (پرنولت و همکاران ۲۰۱۵). نتایج آزمایش پاسخ‌های زراعی و فیزیولوژیک برنج به سیستم‌های مختلف مدیریتی آب، کود و سن نشاء نشان داد که سن پایین نشاء جهت انتقال به مزرعه تحت شرایط بدون غرقاب و با اعمال کود شیمیایی، موجب بهبود TDM، LAI، CGR و NAR گردید (گاریجو و همکاران ۲۰۱۷). متوسط دامنه بهره‌وری آب برای برنج بین ۰/۷۴ تا ۱/۱۰ کیلوگرم بر متر مکعب برآورد شده است (احمد و همکاران ۲۰۱۴). پژوهشگران در تحقیقات خود گزارش دادند که بهره‌وری آب در کشت توأم ماهی- ذرت و ماهی- سبزی، ۲/۱۳ و ۸/۴۶ کیلوگرم بر متر مکعب است، اگرچه بهره‌وری آب در کشت توأم برنج- ماهی مستند نیست اما تصور بر این است که بهره‌وری آب را حداقل ۱۰ درصد افزایش دهد (عبدالرحمان و همکاران ۲۰۱۱). از سویی دیگر، بهره‌وری آب در کشت‌های توأم به نوع سیستم‌های کشت وابسته بوده و از این رو، بهره‌وری آب در کشت توأم برنج- ماهی بین ۰/۰۵ تا ۱ کیلوگرم بر متر مکعب برآورد شده است (مولدن و همکاران ۲۰۱۰).

در حال حاضر یکی از مؤثرترین روش‌های کنترل علف‌های هرز در برنج، وجین دستی است (وی و همکاران ۲۰۱۹). وجین دستی یکی از مهم‌ترین اجزای مدیریت علف‌های هرز بوده و با توجه به این‌که دست‌کاری خاک در هنگام اجرای شخم، امکان جوانه‌زنی گونه‌های زیادی از علف هرز را فراهم می‌کند، از این رو لزوم وجین مکانیکی یا وجین دستی برای از بین بردن گیاهچه‌های باقی مانده را آشکار می‌سازد. اما در بسیاری از کشورها انجام وجین دستی هزینه‌بر بوده و دسترسی به نیروی کار برای انجام آن مشکل است (لامور و لوتز ۲۰۰۷). در سیستم کشت برنج و پرورش اردک، برنج نقش اصلی را دارد و اردک یک جزء بسیار مهم است (لانگ و همکاران ۲۰۱۳). بررسی‌ها نشان داد که استفاده از اردک به‌عنوان عامل بیولوژیک در بهبود شرایط اکولوژیک رشد برنج، افزون بر افزایش تنوع زیستی، فعالیت موجودات زنده خاک، کارآیی انرژی و رشد رویشی برنج، باعث بهبود عملکرد برنج نیز می‌گردد (لوپز و همکاران ۲۰۱۱). اردک بسیاری از علف‌های هرز کوچک و در حال رشد را که در زیر سطح آب قرار دارند به همراه بذر آن‌ها در خاک، می‌خورد و با گل‌آلود نمودن آب، مانع از رسیدن نور کافی به سطح خاک شالیزار شده و در نتیجه از جوانه‌زنی و رشد مجدد علف‌های هرز در این مزارع به طور چشم‌گیری جلوگیری می‌کند (فلوهر و همکاران ۲۰۱۱). نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که اثر کنترلی روی علف‌های هرز با تعداد اردک چرانیده رابطه دارد و تعداد بیشتری از اردک‌ها موجب می‌شود که تراکم علف‌های‌هرز کاهش داشته باشد که مفهوم آن اثر معنی‌دار کنترل علف هرز است (کو ۲۰۱۰). نتایج تحقیق دیگر بیان‌گر آن بود که زیست‌توده کل علف‌های هرز در کرت‌های کشت برنج و حضور اردک نسبت به کرت‌هایی که مواد شیمیایی اعمال شد، بهتر کنترل گردید (لانگ و همکاران ۲۰۱۳).

از آنجایی که از یک سو، اعمال اردک در شرایط شالیزاری موجب کاهش هزینه‌های تولید می‌گردد و از سویی دیگر، استفاده از سیستم‌های نوین کشت از جمله SRI، موجب افزایش شاخص‌های فیزیولوژیک رشد و کاهش مصرف آب می‌شود، بنابراین، بررسی تأثیر کاربرد اردک در کنترل علف‌های هرز در سیستم‌های مختلف کشت شالیزاری به‌منظور افزایش عملکرد و بهره‌وری آب هدف تحقیق حاضر بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد اردک در سیستم‌های مختلف کشت برنج رقم هاشمی به‌منظور بهبود

شاخص‌های رشدی و بهره‌وری آب و کنترل علف‌های هرز، پژوهشی به‌صورت آزمایش اسپلیت فاکتوریل اسپلیت در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، با سه تکرار طی دو سال زراعی۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده علوم کشلورزی دانشگاه گیلان با موقعیت عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۲ دقیقه عرض شمالی، طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی و با ارتفاع ۲۶ متر از سطح دریا اجرا شد. تیمارها شامل سه سیستم مختلف کشت (متداول، بهبودیافته و SRI) به‌عنوان عامل اصلی، و ترکیب دو سطح اردک (شاهد و ۷۵۰ قطعه در هکتار) و سه سطح کنترل علف‌هرز (شاهد، یک و دو بار وجین) به‌صورت فاکتوریل به‌عنوان عامل فرعی بودند. جهت اجرای آزمایش، ابتدا شخم زمین زراعی تا عمق ۲۰ الی ۲۵ سانتی‌متر با دستگاه روتیواتور و عملیات گل‌خرابی با تیلر مطابق عرف کشاورزان منطقه انجام شد. جهت تعیین مقدار کود مصرفی، قبل اجرای آزمایش ویژگی‌های شیمیایی خاک مزرعه با نمونه‌برداری از عمق صفر الی ۳۰ سانتی‌متری تعیین شد (جدول ۱).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در آزمایش

کلسیم	منیزیم	فسفر	پتاسیم	گوگرد	مواد مغذی کل	نیتروژن معدنی	نیتروژن کل	کربن آلی	هدایت الکتریکی	اسیدیته	بافت خاک
		$mg.kg^{-1}$				%			$dS.m^{-1}$	–	–
۱۰/۲	۴/۳	۳/۴	۱۶۹/۴	۰/۱۲	۹/۲	۳۵	۰/۱۲	۲/۴۲	۰/۴۶۵	۶/۵۱	رسی

نحوه پیاده‌سازی سیستم‌های مختلف کشت در جدول ۲ آمده است. در تمام کرت‌های مورد آزمایش، ۸۰ درصد کود توصیه شده و در سیستم SRI پس از کسر مقادیر کود گاوی (نیتروژن: ۱۶؛ فسفر: ۶۴ و پتاسیم: ۴۰ کیلوگرم در هکتار) اعمال گردید. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کود دامی مورد استفاده در جدول ۳ آمده است. طول هر کرت آزمایشی ۴/۵ متر و عرض ۴ متر بود. فاصله بین کرت‌ها و بین تکرارها به‌ترتیب یک و دو متر در نظر گرفته شد. خزانه‌گیری در هر سه سیستم به‌طور هم‌زمان با استفاده از رقم بومی هاشمی برنج انجام شد.

جهت اعمال تیمار اردک، تعداد ۷۵۰ قطعه جوجه اردک در هکتار در نظر گرفته شد. زمان رهاسازی جوجه اردک‌ها در مزرعه، ۲۰ روز پس از انتقال گیاهچه‌ها در شالیزار بود. در زمان رهاسازی، جوجه اردک‌ها ۲۰ روزه بوده و در مرحله ظهور خوشه از مزرعه خارج شدند. برای حفاظت از اردک‌ها و همچنین برای جداسازی بلوک‌ها و کرت‌ها، اطراف شالیزار و کرت‌ها با توری پلاستیکی محصور و از یکدیگر جدا شد. در پایان مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی عملیات برداشت صورت گرفت و بر حسب رطوبت ۱۴ درصد، عملکرد اندازه‌گیری شد.

جدول ۲- مقایسه سیستم‌های مختلف کشت از نظر پیاده‌سازی

خصوصیات سیستم‌ها	سیستم‌های کشت		
	کشت متداول	کشت بهبود یافته	SRI
بذر مصرفی (کیلوگرم بر متر مربع)	۱/۲	۰/۱۲	۰/۰۴
زمان جوانه‌زنی تا انتقال (روز بعد از جوانه‌زنی)	۲۵	۲۰	۱۵
زمان انتقال تا نشاکاری (دقیقه)	بیشتر از ۳۰۰	کمتر از ۱۰۰	کمتر از ۳۰
تعداد گیاهچه در کپه	۱۵-۱۲	۶-۴	۱
فاصله کپه (سانتی‌متر)	متغییر	۲۵ × ۲۵	۲۵ × ۲۵
عمق نشاکاری (سانتی‌متر)	بیشتر از ۵	۵-۳	۲-۱
روش نشاکاری	روش J	روش J	روش L
روش آبیاری	غرقاب ۱	غرقاب ۲	متناوب
کود شیمیایی (کیلوگرم بر هکتار)	۸۰:۶۴:۸۰ NPK	NPK ۸۰:۶۴:۸۰	NPK ۱۶:۶۴:۴۰
زمان کوددهی نیتروژن و پتاسیم	۱/۳ در صفر و ۲۵ روز پس از انتقال نشا و ۹۵ روز پس از جوانه‌زنی	۱/۳ در صفر و ۲۵ روز پس از انتقال نشا و ۹۵ روز پس از جوانه‌زنی	۱/۳ در صفر و ۲۵ روز پس از انتقال نشا و ۹۵ روز پس از جوانه‌زنی
زمان کوددهی فسفر	۷ روز قبل از انتقال نشا	۷ روز قبل از انتقال نشا	۷ روز قبل از انتقال نشا
کود دامی (تن در هکتار)	–	–	۶
زمان کوددهی دامی	–	–	شخم اول

روش J: گیاهچه‌ها به‌طور مستقیم در زمین اصلی قرار داده شده، نوک ریشه ها در امتداد سطح زمین قرار گرفته و ریشه رو به بالا خم می‌شود؛ روش L: گیاهچه‌ها را به‌طور مستقیم در زمین اصلی نشاکاری نشده، بلکه هر گیاهچه از پهلو، بسیار ملایم و نزدیک به سطح، به‌درون خاک وارد شده و بدین ترتیب ریشه‌ها به‌طور افقی در خاک مرطوب قرار می‌گیرند؛ غرقاب ۱: در تمام طول فصل رشد به صورت غرقاب (۵-۳ سانتی‌متر عمق آب) تا ۱۵ روز قبل از برداشت؛ غرقاب ۲: در تمام طول فصل رشد به صورت غرقاب (۵-۳ سانتی‌متر عمق آب) تا ۱۵ روز قبل از برداشت، همراه با یک دوره خشکی تا رسیدن به ترک‌های موئین در زمان حداکثر پنجه‌زنی؛ متناوب: تا ۱۵ روز پس از نشاکاری به‌صورت غرقاب دائم و پس از آن تا زمان گلدهی به صورت آبیاری متناوب و پس از گلدهی به میزان یک سانتی‌متر آب تا ۱۵ روز قبل از برداشت.

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کود دامی اعمال شده در آزمایش مزرعه‌ای

کلسیم	منیزیم	فسفر	پتاسیم	گوگرد	ارزش غذایی کل	نیتروژن معدنی	نیتروژن کل	کربن آلی	هدایت الکتریکی	اسیدیته	کود گاوی
$mg.kg^{-1}$					%				$dS.m^{-1}$	–	–
۵۰	۴۰/۴	۵۰۰	۸۹۰۰	۲۳۰۰	۲۸/۵	۱۸۴	۱/۳۵	۵۰/۳۷	۳/۶	۷/۳۷	گاوی

در این پژوهش، آب آبیاری از کانال آبیاری متصل به شبکه آبیاری سپیدرود با به‌کارگیری سیستم انتقال تحت فشار تأمین گردید. مقدار آب آبیاری در هر نوبت به‌وسیله کنتور با دقت ۰/۱ لیتر اندازه‌گیری شد. میزان بارندگی با استفاده از داده‌های ایستگاه هواشناسی کشاورزی رشت لحاظ گردید.

جدول ۴- میانگین حجم آب مصرفی در طول دوره رشد گیاه در تیمارهای مورد نظر در سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ (در سطح تیمارهای کنترل علف‌های هرز حجم آب مصرفی یکسان بود).

سیستم‌های کشت	اردک	کنترل علف‌های هرز	حجم آب مصرفی ($m^3.ha^{-1}$) (آبیاری+بارندگی)	
			۱۳۹۷	۱۳۹۸
کشت متداول	بدون اعمال اردک	شاهد	۱۲۷۴۸/۰۸	۱۲۷۳۸/۱۱
		یک‌بار وجین		
		دوبار وجین		
	۷۵۰ قطعه در هکتار	شاهد	۱۰۷۴۶/۷۹	۱۰۷۴۰/۵۲
		یک‌بار وجین		
		دوبار وجین		
کشت بهبود یافته	بدون اعمال اردک	شاهد	۱۲۵۳۳/۷۴	۱۲۳۴۱/۶۷
		یک‌بار وجین		
		دوبار وجین		
	۷۵۰ قطعه در هکتار	شاهد	۱۰۵۸۵/۷۷	۱۰۵۷۰/۶۹
		یک‌بار وجین		
		دوبار وجین		
SRI	بدون اعمال اردک	شاهد	۸۸۳۰/۹۷	۸۸۱۹/۰۶
		یک‌بار وجین		
		دوبار وجین		
	۷۵۰ قطعه در هکتار	شاهد	۷۹۲۹/۵۱	۷۹۲۵/۷
		یک‌بار وجین		
		دوبار وجین		

ارتفاع آب در طول دوره رشد گیاه ۲ الی ۵ سانتی‌متر تنظیم می‌شد و به‌وسیله نشانک در کرت‌ها کنترل می‌گردید. میانگین حجم آب مصرفی در طول دوره رشد گیاه در تیمارهای مورد نظر (در سطح تیمارهای کنترل علف‌های هرز حجم آب مصرفی یکسان بود) در سال اول و دوم آزمایش در جدول ۴ آمده است. مجموع میزان بارندگی در طول دوره رشد گیاه در سال اول و دوم آزمایش به‌ترتیب برابر با ۱۶۰/۵ و ۲۵۴/۲۰ میلی‌متر بود و میزان بارندگی در طی مرحله گلدهی در سال اول و دوم آزمایش به ترتیب برابر با صفر و ۵۳/۶ میلی‌متر بود (ایستگاه هواشناسی کشاورزی، رشت). برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ (LAI)، سرعت رشد گیاه (CGR) و سطح ویژه برگ (SLA) از روابط زیر استفاده شد (حق‌جو و بحرانی ۲۰۱۵).

رابطه (۱) $LAI=(LA2-LA1)/2\times(1/GA)$

رابطه (۲) $CGR=(W2-W1)/(T2-T1)$

رابطه (۳) $SLA=(LA2/W2+LA1/W1)/2$

در این روابط،LA2: سطح برگ در زمان نمونه‌گیری دوم (متر مربع)، LA1: سطح برگ در زمان نمونه‌گیری اول (متر مربع)، GA: سطح زمین (متر مربع)، W2: وزن خشک کل زیست‌توده در زمان نمونه‌گیری دوم (گرم)، W1: وزن خشک کل زیست‌توده در زمان نمونه‌گیری اول (گرم)، T2: زمان نمونه‌گیری دوم وT1: زمان نمونه‌گیری اول است. فتوسنتز گیاه با استفاده از سیستم تبادل گاز قابل حمل (Li-Cor 6400, Li-Cor Inc., Lincoln, NE, USA)اندازه‌گیری گردید. نمونه‌برداری‌ها برای شاخص‌های رشدی گیاه هر ۱۰ روز یکبارو برای فتوسنتز گیاه در مراحل پنجه‌زنی، طویل شدن ساقه، گلدهی و مرحله خمیری دانه انجام گردید. به‌منظور تعیین

بهره‌وری آب آبیاری و بارندگی، با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (سپاس‌خواه و همکاران ۲۰۰۶).

رابطه (۴) $CPDi+p=Y/Wi+p$

در این رابطه، CPDi+p: بهره‌وری آب آبیاری و بارندگی، Y: عملکرد زیست‌توده بر حسب کیلوگرم بر هکتار و Wi+p: حجم آب مصرفی (آبیاری و بارندگی) بر حسب متر مکعب در هکتاراست. در زمان برداشت برنج، جهت تعیین میانگین وزن خشک کل علف‌های هرز از کوآدرات ۰/۲۵ متر مربع (۰/۵ × ۰/۵ متر) استفاده گردید و در هر کرت جمعیت انواع علف‌های هرز شمارش شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک نمونه‌های علف‌هرز تا رسیدن به وزن ثابت در آون با دمای ۷۲ درجه سلسیوس قرار گرفت و وزن آن‌ها بر حسب گرم محاسبه شد. داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ تجزیه شد. قبل از تجزیه واریانس داده‌ها، تست نرمال بودن داده‌ها انجام گرفته و پس از اطمینان از توزیع نرمال باقیمانده‌ها، تجزیه واریانس از طریق مدل خطی عمومی (GLM) انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد احتمال استفاده شد. در مواقعی که اثر متقابل دوگانه معنی‌دار شد، برای تفسیر بهتر نتایج و برای جلوگیری از مقایسه میانگین‌های طولانی و پیچیده، برش‌دهی فیزیکی برای اثرات دو و سه‌گانه انجام شد.

نتایج

شاخص سطح برگ و سطح ویژه برگ

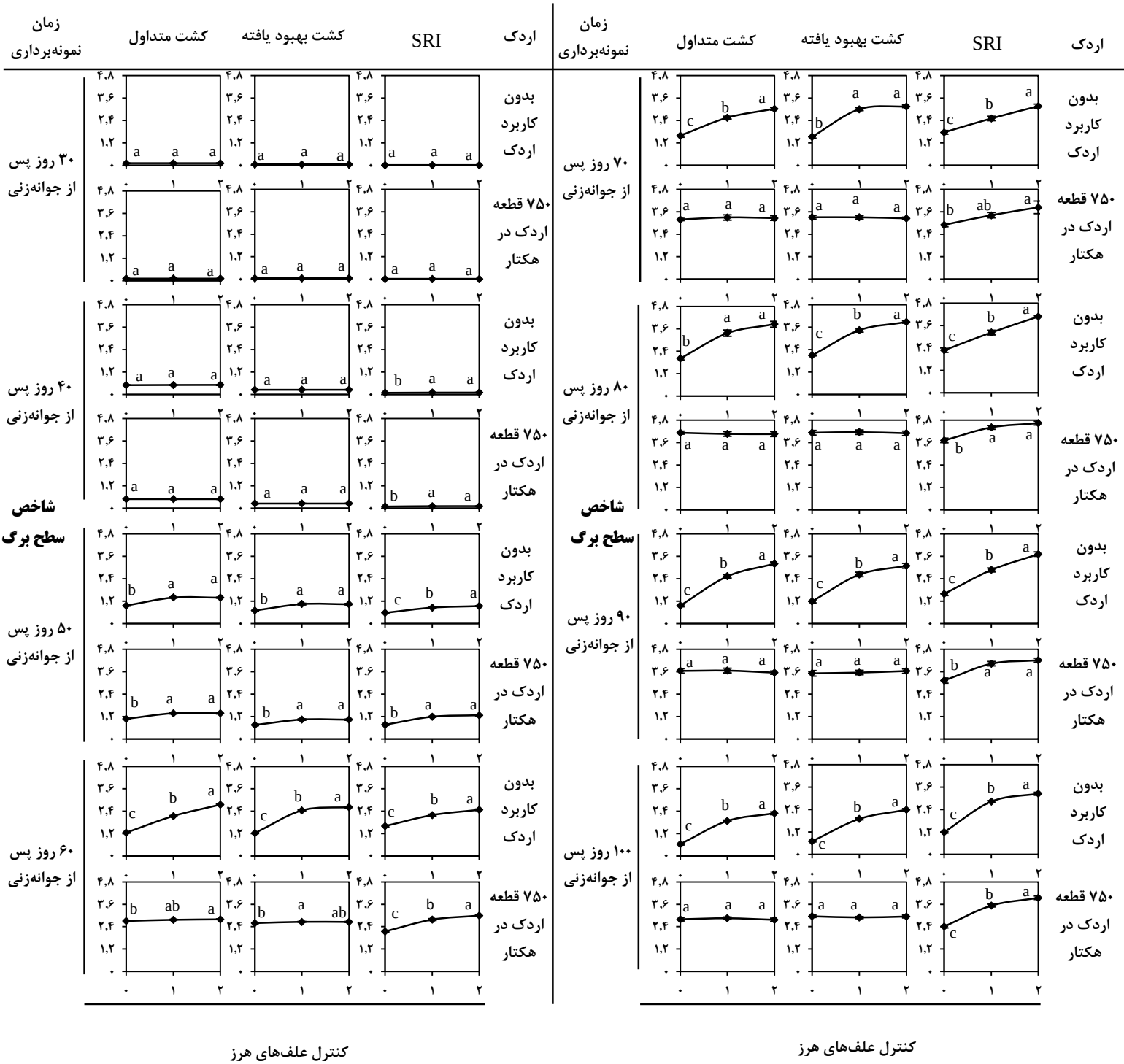
نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که شاخص سطح برگ و سطح ویژه برگ تحت‌تأثیر سیستم‌های مختلف کشت، کنترل علف‌های هرز، زمان نمونه‌برداری، برهمکنش‌های زمان نمونه‌برداری × سیستم‌های مختلف کشت، زمان نمونه‌برداری × سیستم‌های مختلف کشت × اردک، زمان نمونه‌برداری × اردک × کنترل علف‌های هرز و زمان نمونه‌برداری × سیستم‌های مختلف کشت × اردک × کنترل علف‌های هرز، شاخص سطح برگ از نظر اردک، برهمکنش‌های سیستم‌های مختلف کشت × کنترل علف‌های هرز، اردک×کنترل علف‌های هرز، سیستم‌های مختلف کشت × اردک × کنترل علف‌های هرز، زمان نمونه‌برداری × اردک و زمان نمونه‌برداری × کنترل علف‌های هرز و سطح ویژه برگ از نظر برهمکنش اردک × سیستم‌های مختلف کشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). در ۳۰ و ۴۰ روز پس از جوانه‌زنی تفاوت معنی‌داری در شاخص سطح برگ از نظر تیمار اردک و کنترل علف‌هرز بین سیستم‌های مختلف کشت دیده نشد (شکل ۱). در ۵۰ روز پس از جوانه‌زنی برنج، شاخص سطح برگ از نظر تیمارهای یک و دوبار کنترل علف‌هرز در شرایط عدم کاربرد اردک و اعمال ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار در کلیه سیستم‌های کشت از برتری بیشتری برخودار بودند (شکل ۱). در ۶۰ روز پس از جوانه‌زنی برنج، شاخص سطح برگ در شرایط عدم کاربرد اردک در کلیه سیستم‌های کشت، ۲ بار کنترل>یکبار کنترل>شاهد بود، در حالی که در شرایط کاربرد ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار، در سیستم‌های کشت متداول و بهبود یافته تفاوت معنی‌داری از نظر شاخص سطح برگ بین سطوح مختلف کنترل علف‌های هرز دیده نشد اما در SRI، شاخص سطح برگ، در ۲ بار کنترل>یکبار کنترل>شاهد بود (شکل ۱). در ۷۰ و ۸۰ روز پس از جوانه‌زنی برنج، شاخص سطح برگ در کلیه سیتم‌های کشت ۲ بار کنترل>یکبار کنترل>شاهد بود در حالی که در شرایط کاربرد ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار تفاوت معنی‌داری از نظر شاخص سطح برگ بین سطوح مختلف کنترل علف‌های هرز در کلیه سیستم‌های کشت دیده نشد (شکل ۱). در ۹۰ و ۱۰۰ روز پس از جوانه‌زنی برنج، شاخص سطح برگ در کلیه سیستم‌های کشت ۲ بار کنترل>یکبار کنترل>شاهد بود در حالی که در شرایط کاربرد ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار در سیستم‌های کشت متداول و بهبود یافته تفاوت معنی‌داری از نظر شاخص سطح برگ بین تیمارهای مختلف کنترل علف‌هرز دیده نشد اما در SRI، در ۲ بار کنترل>یکبار کنترل>شاهد بود (شکل ۱). به‌طور کلی، در ابتدای دوره رشد، کلیه ترکیبات

تیماری از نظر شاخص سطح برگ تفاوت معنی‌داری داشتند. با افزایش طول دوره رشد افزایش شاخص سطح برگ در شرایط اعمال ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار در سیستم کشت SRI ملموس بود. پس از حداکثر مقادیر شاخص سطح برگ (۴/۷) در مرحله گلدهی، شیب کاهش سطح برگ در سیستم کشت SRI در کلیه تیمارهای اعمال شده نسبت به سایر سیستم‌های کشت کمتر بود (شکل ۱). به‌طور کلی، در ۵۰ روز پس از جوانه‌زنی برنج، بین تیمارهای مختلف علف‌های هرز از نظر سطح ویژه برگ در سیستم‌های کشت متداول و SRI و تیمار اردک تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد در حالی که در سیستم کشت بهبود یافته اعمال ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار روند سطح ویژه برگ را از حالت نزولی در شرایط عدم کاربرد اردک به حالت صعودی با اعمال یک و دو بار کنترل علف‌های هرز تغییر داد (شکل ۲). در ادامه دوره رشد، در کلیه سیستم‌های کشت و اردک تفاوت معنی‌داری از نظر سطح ویژه برگ بین سطوح مختلف کترل علف‌هرز دیده نشد اما به‌طور کلی، مقادیر سطح ویژه برگ در سیستم‌های مختلف کشت به‌صورت متداول>بهبود یافته>SRI بود (شکل ۲). برای تغذیه جمعیت در حال افزایش جهان، بالا بردن میزان تولید برنج در واحد سطح یک ضرورت اجتناب ناپذیر است. هر چند ارقام پرمحصولی که بخوبی به نهاده‌ها پاسخ می‌دهند در دسترس هستند، ولی بین عملکرد مزارع کشاورزان و ایستگاه‌های تحقیقاتی به ویژه در کشورهای در حال توسعه فاصله زیادی وجود دارد. برای کاهش این فاصله، وجود آب آبیاری به اندازه کافی و تأمین متعادل عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف یک امر حیاتی است (حسین ۲۰۰۶). به‌زراعی در جهت افزایش تولید ارقام پاکوتاه برنج انجام می‌شود تا به این ترتیب، شرایطی فراهم گردد که ماده خشک بیشتری در دانه و مقدار کمتری در کاه و کلش ذخیره شود (باریسون و آپوف ۲۰۱۱). مطالعات نشان داده است که در برنج نیمه پاکوتاه و گندم، شاخص سطح برگ، سرعت رشد گیاه و سطح ویژه برگ ممکن است فتوسنتز کانوپی و تولید بیوماس را محدود نماید (کاسام و همکاران ۲۰۱۱). پژوهشگران در مطالعات خود در ارقام جدیدی از برنج دریافتند که بالا بودن شاخص سطح برگ و پایین بودن سطح ویژه برگ موجب افزایش معنی‌دار عملکرد شلتوک گردید (جینینگ و همکاران ۲۰۰۳). با کاهش میزان سطح ویژه برگ بر ضخامت برگ افزوده شده که موجب افزایش غلظت کلروپلاست، افزایش تراکم پارانشیم نردبانی نسبت به اسفنجی، افزایش کارآیی استفاده از نور و در نتیجه افزایش بهره‌وری آب می گردد (زو و همکاران ۲۰۲۰).

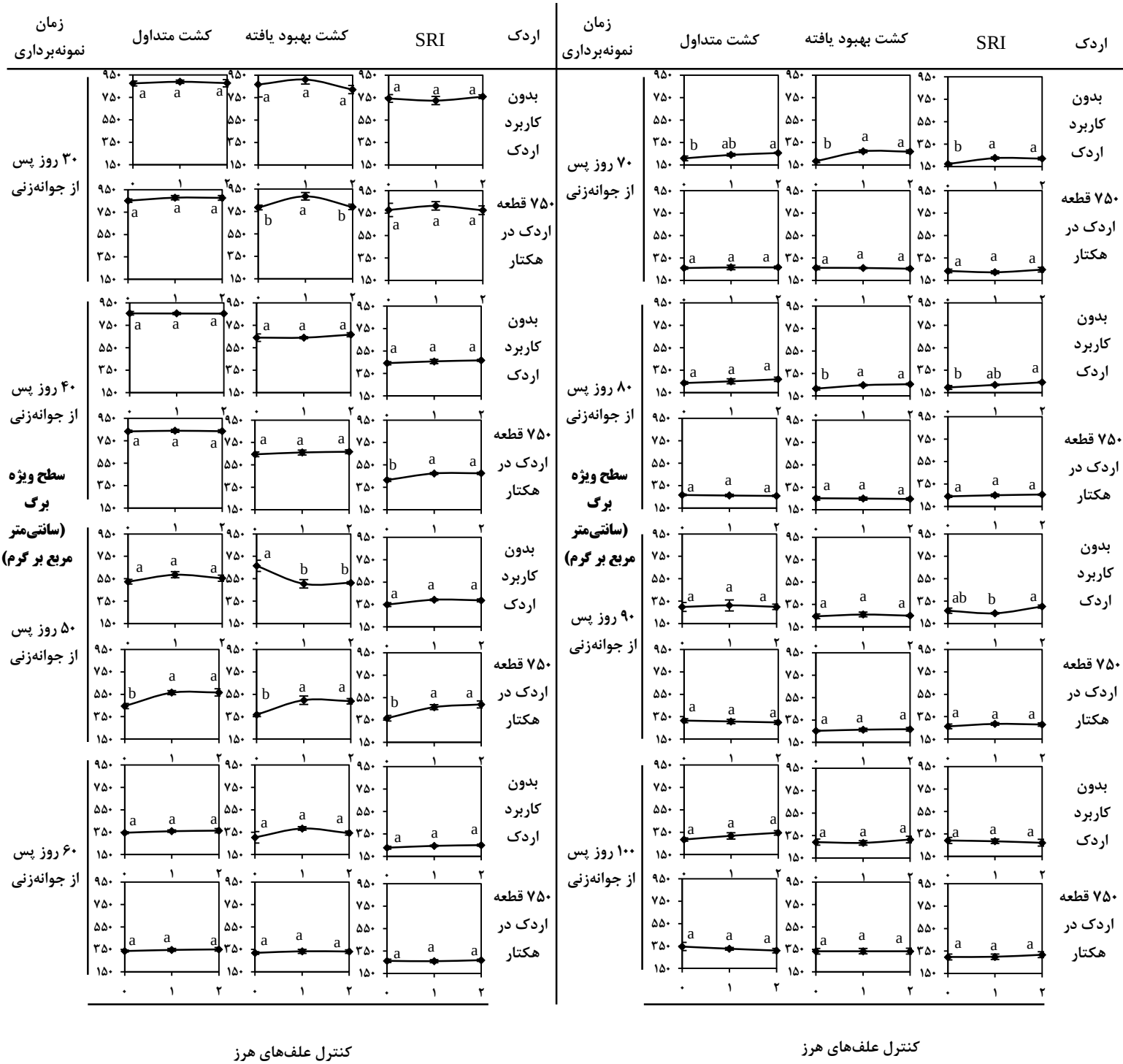
جدول ۵- تجزیه واریانس شاخص‌های فیزیولوژیک برنج تحت‌تأثیر سیستم‌های مختلف کشت، اردک و کنترل علف‌های هرز

منابع تغییر	درجه آزادی	شاخص سطح برگ	سطح ویژه برگ
سال	۱	۰/۰۰۰۴^{ns}	۳۶۴۷/۵۰^{ns}
خطای سال	۴	۰/۱۵	۱۲۵۹۷/۵۵
سیستم‌های کشت	۲	۰/۶۹**	۷۹۶۴۰۰/۴۴**
سال × سیستم‌های کشت	۲	۰/۰۱^{ns}	۱۴۳۳/۶۵^{ns}
خطای عامل اصلی	۸	۰/۰۴	۲۷۸۶/۸۲
اردک	۱	۸۱/۷۵**	۹۶۴/۱۵^{ns}
اردک × سیستم‌های کشت	۲	۰/۰۶^{ns}	۳۱۰۴۶/۵۲**
کنترل علف‌های هرز	۲	۳۶/۵۱**	۴۹۰۲۳/۴۷**
سیستم‌های کشت × کنترل علف‌های هرز	۴	۰/۸۸**	۵۶۳۴/۶۸^{ns}
اردک × کنترل علف‌های هرز	۲	۱۳/۱۵**	۱۲۱۵/۰۵^{ns}
سیستم‌های کشت × اردک × کنترل علف‌های هرز	۴	۱/۳۰**	۱۷۴۷/۴۲^{ns}
سال × اردک	۱	۰/۰۱^{ns}	۴۲۸/۲۹^{ns}
سال × سیستم‌های کشت × اردک	۲	۰/۰۰۸^{ns}	۱۶۵۵/۵۶^{ns}
سال × کنترل علف‌های هرز	۲	۰/۰۰۱^{ns}	۴۰/۷۰^{ns}
سال × سیستم‌های کشت × کنترل علف‌های هرز	۴	۰/۰۱^{ns}	۴۰۲/۸۳^{ns}
سال × اردک × کنترل علف‌های هرز	۲	۰/۰۱^{ns}	۲۴/۱۷^{ns}
سال × سیستم‌های کشت × اردک × کنترل علف‌های هرز	۴	۰/۰۲^{ns}	۳۲۳/۲۹^{ns}
خطای عوامل فرعی	۶۰	۰/۰۵	۴۳۳۷/۰۳
زمان نمونه‌برداری	۷	۱۹۴/۲۰**	۵۱۳۹۵۱۱/۰۰**
سال × زمان نمونه‌برداری	۷	۰/۰۱^{ns}	۶۵۹/۴۰^{ns}
زمان نمونه‌برداری × سیستم‌های کشت	۱۴	۱/۱۸**	۱۴۵۶۴۶/۶۱**
سال × زمان نمونه‌برداری × سیستم‌های کشت	۱۴	۰/۰۱^{ns}	۴۵۷/۸۲^{ns}
زمان نمونه‌برداری × اردک	۷	۷/۲۱**	۶۳۰۸/۶۵^{ns}
سال × زمان نمونه‌برداری × اردک	۷	۰/۰۰۵^{ns}	۴۳۲/۹۹^{ns}
زمان نمونه‌برداری × سیستم‌های کشت × اردک	۱۴	۰/۱۳**	۹۶۴۷/۲۵**
سال × زمان نمونه‌برداری × سیستم‌های کشت × اردک	۱۴	۰/۰۰۸^{ns}	۱۰۲۰/۲۵^{ns}
زمان نمونه‌برداری × کنترل علف‌های هرز	۱۴	۲/۳۵**	۳۴۴۵/۳۹^{ns}
سال × زمان نمونه‌برداری × کنترل علف‌های هرز	۱۴	۰/۰۰۴^{ns}	۳۹۱/۵۷^{ns}
زمان نمونه‌برداری × سیستم‌های کشت × کنترل علف‌های هرز	۲۸	۰/۱۵**	۳۸۲۰/۱۶^{ns}
سال × زمان نمونه‌برداری × سیستم‌های کشت × کنترل علف‌های هرز	۲۸	۰/۰۱^{ns}	۶۲۳/۳۱^{ns}
زمان نمونه‌برداری × اردک × کنترل علف‌های هرز	۱۴	۱/۲۳**	۱۲۷۹۳/۸۶**
سال × زمان نمونه‌برداری × اردک × کنترل علف‌های هرز	۱۴	۰/۰۱^{ns}	۸۹۶/۹۳^{ns}
زمان نمونه‌برداری × سیستم‌های کشت × اردک × کنترل علف‌های هرز	۲۸	۰/۱۱**	۸۹۶۵/۵۴**
سال × زمان نمونه‌برداری × سیستم‌های کشت × اردک × کنترل علف‌های هرز	۲۸	۰/۰۱^{ns}	۱۴۲۹/۳۱^{ns}
خطای باقی مانده	۵۰۴	۰/۰۳	۳۵۵۳/۲۴
ضریب تغییرات (%)	–	۹/۹۷	۱۴/۲۶

* و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال آماری پنج و یک درصد، و ns؛ غیر معنی‌دار می باشد.



شکل ۱- تأثیر برهمکنش زمان نمونه‌برداری×سیستم‌های مختلف کشت×اردک×کنترل علف‌های هرز بر شاخص سطح برگ (برش‌دهی در سطح زمان نمونه‌برداری، سیستم‌های مختلف کشت و اردک). خطای نمونه‌برداری توسط بار نشان داده شده است. سطوح کنترل علف‌های هرز: صفر: بدون وجین، ۱: یکبار وجین، ۲: دوبار وجین.



شکل ۲- تأثیر برهمکنش زمان نمونه‌برداری×سیستم‌های مختلف کشت×اردک×کنترل علف‌های هرز بر سطح ویژه برگ (برش‌دهی در سطح زمان نمونه‌برداری، سیستم‌های مختلف کشت و اردک). خطای نمونه‌برداری توسط بار نشان داده شده است. سطوح کنترل علف‌های هرز: صفر: بدون وجین، ۱: یکبار وجین، ۲: دوبار وجین.

سرعت رشد و فتوسنتز گیاه

مطابق جدول تجزیه واریانس، مقادیر سرعت رشد و فتوسنتز گیاه از نظر اردک، کنترل علف‌های هرز، زمان نمونه‌برداری، برهمکنش‌های اردک × کنترل علف‌های هرز، زمان نمونه‌برداری × زمان نمونه‌برداری × سیستم‌های کشت و زمان نمونه‌برداری × اردک، سرعت رشد از نظر برهمکنش زمان نمونه‌برداری × سیستم‌های کشت × اردک و فتوسنتز گیاه از نظر سیستم‌های کشت و برهمکنش زمان نمونه‌برداری × کنترل علف‌های هرز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). در اوایل دوره رشد گیاه مقادیر سرعت رشد در سیتم‌های کشت متداول و بهبود یافته نسبت به SRI بیشتر بود (شکل ۳). با افزایش طول دوره رشد گیاه، مقادیر سرعت رشد گیاه در سیستم<SRI بهبود یافته>متداول بود (شکل ۳). در اواسط دوره رشد گیاه، بین مقادیر سرعت رشد در سیستم‌های SRI و بهبود یافته تفاوت معنی‌داری دیده نشد و در مرحله گلدهی بین کلیه سیستم‌های کشت تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۳). در اواخر دوره رشد گیاه، با افت شدید سرعت رشد محصول همچنان بیشترین مقادیر مربوط به<SRI بهبود یافته>متداول بود (شکل ۳). در شرایط بدون کاربرد اردک، تیمار بدون کنترل علف‌هرز کم‌ترین مقدار سرعت رشد را به خود اختصاص داد در حالی که بین یک‌بار و دوبار وجین تفاوت معنی‌داری دیده نشد (شکل ۴). در صورتی که در شرایط اعمال ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار، بین سطوح مختلف کنترل علف‌های هرز تفاوت معنی‌داری دیده نشد (شکل ۴).

در مرحله پنجه‌زنی، بیشترین مقادیر سرعت فتوسنتز گیاه به‌ترتیب در سیستم‌های<SRI بهبود یافته>متداول بود و در مرحله گلدهی بیشترین مقادیر فتوسنتز گیاه در سیستم کشت SRI و کم‌ترین آن در سیستم کشت متداول به‌دست آمد در حالی که سرعت فتوسنتز در سایر زمان‌های نمونه‌برداری تفاوت معنی‌داری بین سیستم‌های کشت دیده نشد (شکل ۵).

در شرایط عدم کاربرد اردک، سرعت فتوسنتز گیاه در کلیه مراحل رشد بین یک‌بار و دوبار کنترل علف‌هرز تقریباً دارای تفاوت معنی‌داری نبوده و کم‌ترین مقادیر آن به شاهد اختصاص داشت، این در حالی است که با اعمال ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار تفاوت معنی‌داری بین کلیه سطوح کنترل علف‌های هرز در تمام مراحل رشدی گیاه دیده نشد. به‌طور کلی، میزان سرعت فتوسنتز گیاه در شرایط اعمال ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار بیش از شرایط بدون کاربرد اردک بود (شکل ۶).

بازده فتوسنتز با میزان به دام‌اندازی نور توسط پوشش گیاه رابطه دارد و بهبود شاخص سطح برگ، سرعت رشد گیاه و ضخامت برگ که موجب افزایش میزان کلروپلاست و همچنین کلروفیل بیشتر و تراکم سلول‌های فتوسنتز کننده می‌شود سبب کاهش تلفات نور و بهبود فتوسنتز از طریق افزایش شاخص سطح برگ، افزایش سرعت رشد گیاه و ضخامت برگ (کاهش سطح ویژه برگ) شده و عملکرد را بهبود می‌دهد (کلجی و همکاران ۲۰۱۸). اردک بسیاری از علف‌های هرز کوچک و در حال رشد را که در زیر سطح آب قرار دارند به همراه بذر آن‌ها در بانک بذر خاک، مورد تغذیه قرار داده و با گل‌آلود نمودن آب به کمک منقار و شکل خاص پاهای خود، مانع از رسیدن نور کافی به سطح خاک شالیزار شده و در نتیجه از جوانه‌زنی و رشد مجدد علف‌های هرز در این مزارع به طور چشم‌گیری جلوگیری کرده و موجب افزایش شاخص سطح برگ، افزایش سرعت رشد گیاه و کاهش سطح ویژه برگ در گیاهان و در نهایت موجب افزایش عملکرد شلتوک می‌گردد (وی و همکاران ۲۰۱۹). در خاک غرقاب جهت کشت برنج ، بر اثر فعالیت میکرواورگانیسم‌های هوازی اختیاری و اجباری در خاک، میزان اکسیژن خاک به‌سرعت کاهش می‌یابد. در این شرایط تجزیه مواد آلی، از طریق فعالیت میکرواورگانیسم‌های بی هوازی ادامه خواهد یافت. شرایط بدون اکسیژن ناشی از حالت غرقاب، سبب محدود شدن فعالیت ریشه‌ها، کاهش متابولیسم، کاهش سرعت فرآیند انتقال یونی و کاهش رشد شده و چنانچه مزرعه برنج به مدت طولانی زیر آب بماند، رشد طولی برگ، سرعت رشد گیاه، کارآیی جذب نیتروژن و فتوسنتز کم و یا متوقف می‌شود (دارماوان ۲۰۱۶). اردک

در شالیزار با اکسیژن رسانی مداوم به ریشه‌ها موجب رشد بیشتر ریشه و بهبود جذب و بهبود شرایط برای فرایند نیتریفیکاسیون و کاهش دنیتریفیکاسیون می‌گردد (یانگ و همکاران ۲۰۱۸). حضور اردک در شالیزاربا افزایش دسترسی به عناصر غذایی برای گیاه برنج سبب افزایش زیست توده ریشه و بهبود استقرار گیاه، افزایش نفوذپزیری غشا پلاسمایی، افزایش کلروفیل a و b، ظرفیت فتوسنتز گیاه، افزایش مقاومت به تنش‌های محیطی با افزایش در محتوای پروتیین‌های محلول و در نتیجه افزایش تولید برنج می شود (لی و همکاران ۲۰۱۹).

عملکرد شلتوک و بهره‌وری آب آبیاری و بارش

نتایج نشان داد عملکرد شلتوک و بهره‌وری آب آبیاری و بارش تحت‌تأثیر سیستم‌های مختلف کشت، اردک، کنترل علف‌های هرز، برهمکنش‌های اردک×سیستم‌های کشت و اردک×کنترل علف‌های هرز، همچنین تحت‌تأثیر سال و بهره‌وری آب آبیاری و بارش تحت‌تأثیر برهمکنش‌های سیستم‌های کشت×کنترل علف‌های هرز و سیستم‌های کشت × اردک × کنترل علف‌های هرز در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۷).

عملکرد شلتوک در سال اول آزمایش بیش از سال دوم بود (شکل ۷). در برهمکنش اردک×سیستم‌های کشت، در شرایط بدون کاربرد اردک، تفاوت معنی‌داری بین سیستم‌های کشت از نظر عملکرد شلتوک دیده نشد در حالی که در شرایط اعمال ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار بیشترین عملکرد شلتوک در<SRI بهبود یافته>متداول بود (شکل ۸).

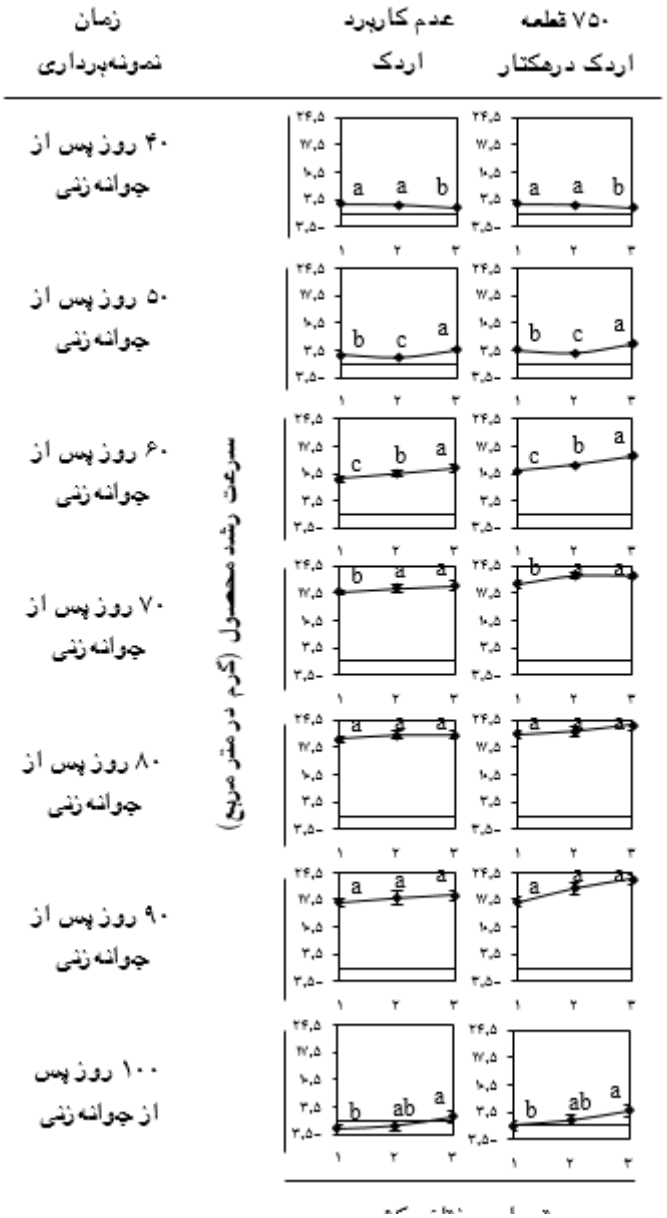
در برهمکنش اردک×کنترل علف‌های هرز، در شرایط بدون کاربرد اردک، بیشترین عملکرد شلتوک در دوبار کنترل>یک‌بار کنترل>شاهد بود در حالی که در شرایط اعمال ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف کنترل علف‌های هرز از نظر عملکرد شلتوک دیده نشد (شکل ۹). بهره‌وری آب آبیاری و بارش در شرایط بدون کاربرد اردک تقریباً بین سطوح مختلف کنترل علف‌های هرز در دوبار کنترل>یک‌بار کنترل>شاهد بود در حالی که در شرایط اعمال ۷۵۰ قطعه اردک در هکتار تفاوت معنی‌داری از نظر بهره‌وری آب آبیاری و بارش بین سطوح مختلف کنترل علف‌هرز دیده نشد و بیشترین مقادیر آن در سیستم کشت SRI دیده شد (شکل ۱۰).

افزایش عملکرد شلتوک برنج در قالب سیستم کشت SRI روشی برای تغییر مدیریت کشت، گیاه، آب و مواد غذایی بوده که راندمان تولید را از طریق تلفیق فعالیت‌های مدیریتی گیاه، آب، خاک، تغذیه، علف¬های هرز و اجرای توأم آن‌ها بهبود می‌بخشد (تاکور و همکاران ۲۰۱۴). در سیستم کشت SRI از طریق انتقال سریع گیاهچه‌های جوان از خزانه به زمین اصلی، کشت بر اساس الگوی مربعی، آبیاری متناوب و کنترل مکانیکی علف‌های هرز موجب افزایش حجم ریشه، افزایش میزان کلروفیل برگ، افزایش فتوسنتز و تجمع ماده خشک، افزایش سرعت نمو فیزیولوژیک و کاهش فیلوکرون، افزایش شاخص سطح برگ، کاهش ضریب استهلاک نوری، افزایش راندمان جذب و متابولیسم عناصر غذایی، افزایش مقدار پروتئین محلول، افزایش مقدار و فعالیت آنزیم نیترات رداکتاز می‌گردد (تاکور و همکاران ۲۰۱۰). در آزمایشی که به منظور مقایسه ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک برنج در دو سیستم کشت متداول و SRI در هندوستان انجام شد، گزارش شد که عملکرد در سیستم کشت SRI در مقایسه با سیستم متداول ۴۸ درصد بیشتر بود. به اعتقاد این پژوهش‌گران علت بیشتر بودن عملکرد در سیستم کشت SRI مربوط به بهبود ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک برنج در این سیستم بود. به‌طوری‌که تعداد پنجه در بوته، تعداد و اندازه برگ‌ها، ارتفاع گیاه و شاخص‌های فیزیولوژیک از جمله سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ و وزن مخصوص برگ در این سیستم به‌طور چشم‌گیری افزایش یافت (تاکور و همکاران ۲۰۱۳).

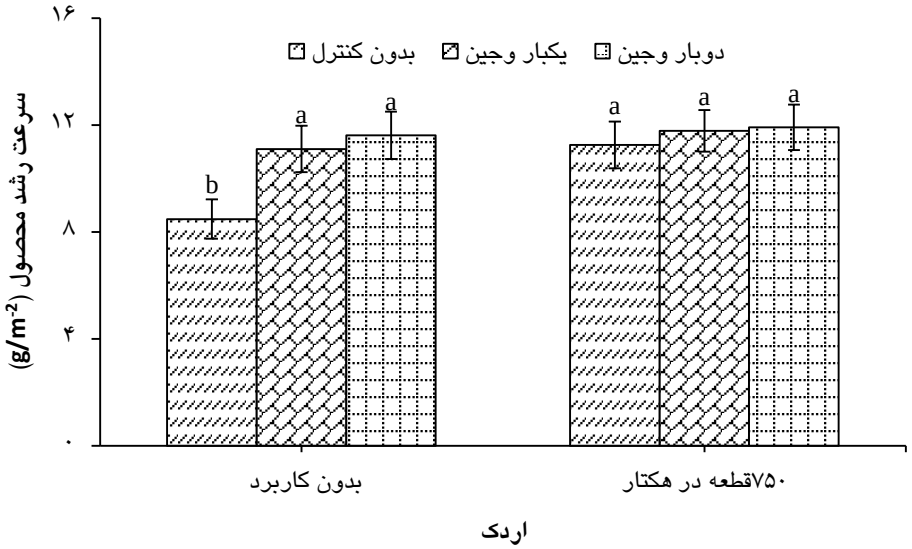
جدول ۶- تجزیه واریانس شاخص‌های فیزیولوژیک برنج تحت‌تأثیر سیستم‌های مختلف کشت، اردک و کنترل علف‌های هرز

منابع تغییر	درجه آزادی	سرعت رشد گیاه	درجه آزادی	فتوسنتز
سال	۱	۳/۰۷^{ns}	۱	۰/۴۴^{ns}
خطای سال	۴	۴/۳۳	۴	۵/۹۱
سیستم‌های کشت	۲	۱۴/۸۱^{ns}	۲	۲۳۷/۱۷**
سال × سیستم‌های کشت	۲	۱/۲۳^{ns}	۲	۰/۵۸^{ns}
خطای عامل اصلی	۸	۱۴/۰۵	۸	۴/۰۰
اردک	۱	۲۹۶/۷۹**	۱	۱۱۵۴/۵۳**
اردک × سیستم‌های کشت	۲	۲/۷۵^{ns}	۲	۵/۶۶^{ns}
کنترل علف‌های هرز	۲	۲۵۸/۷۲**	۲	۳۲۹/۷۳**
سیستم‌های کشت × کنترل علف‌های هرز	۴	۱۳/۷۳^{ns}	۴	۱۴/۲۹^{ns}
اردک × کنترل علف‌های هرز	۲	۱۱۱/۹۱**	۲	۱۳۸/۵۴**
سیستم‌های کشت × اردک × کنترل علف‌های هرز	۴	۱۱/۶۲^{ns}	۴	۱۷/۹۲^{ns}
سال × اردک	۱	۰/۵۰^{ns}	۱	۰/۳۴^{ns}
سال × سیستم‌های کشت × اردک	۲	۰/۹۶^{ns}	۲	۰/۲۸^{ns}
سال × کنترل علف‌های هرز	۲	۰/۷۰^{ns}	۲	۱/۶۳^{ns}
سال × سیستم‌های کشت × کنترل علف‌های هرز	۴	۰/۷۸^{ns}	۴	۰/۱۸^{ns}
سال × اردک × کنترل علف‌های هرز	۲	۰/۵۳^{ns}	۲	۰/۳۳^{ns}
سال × سیستم‌های کشت × اردک × کنترل علف‌های هرز	۴	۰/۴۸^{ns}	۴	۰/۶۶^{ns}
خطای عوامل فرعی	۶۰	۵/۹۰	۶۰	۶/۲۷
زمان نمونه‌برداری	۶	۸۸۵۵/۴۹**	۳	۱۳۰۵۶/۶۱**
سال × زمان نمونه‌برداری	۶	۲۱/۶۴^{ns}	۳	۱/۰۰^{ns}
زمان نمونه‌برداری × سیستم‌های کشت	۱۲	۷۶/۷۷**	۶	۶۴/۲۲**
سال × زمان نمونه‌برداری × سیستم‌های کشت	۱۲	۱۹/۳۰^{ns}	۶	۲/۰۰^{ns}
زمان نمونه‌برداری × اردک	۶	۹۱/۷۹**	۳	۷۸/۸۶**
سال × زمان نمونه‌برداری × اردک	۶	۲/۳۰^{ns}	۳	۰/۲۰^{ns}
زمان نمونه‌برداری × سیستم‌های کشت × اردک	۱۲	۴۱/۸۴**	۶	۴/۹۳^{ns}
سال × زمان نمونه‌برداری × سیستم‌های کشت × اردک	۱۲	۶/۴۴^{ns}	۶	۰/۶۹^{ns}
زمان نمونه‌برداری × کنترل علف‌های هرز	۱۲	۱۸/۹۱^{ns}	۶	۳۹/۷۳**
سال × زمان نمونه‌برداری × کنترل علف‌های هرز	۱۲	۴/۷۳^{ns}	۶	۰/۷۱^{ns}
زمان نمونه‌برداری × سیستم‌های کشت × کنترل علف‌های هرز	۲۴	۱۰/۸۳^{ns}	۱۲	۳/۱۴^{ns}
سال × زمان نمونه‌برداری × سیستم‌های کشت × کنترل علف‌های هرز	۲۴	۲/۷۹^{ns}	۱۲	۰/۷۰^{ns}
زمان نمونه‌برداری × اردک × کنترل علف‌های هرز	۱۲	۳۰/۱۷^{ns}	۶	۱۹/۸۱*
سال × زمان نمونه‌برداری × اردک × کنترل علف‌های هرز	۱۲	۱/۴۶^{ns}	۶	۰/۴۰^{ns}
زمان نمونه‌برداری × سیستم‌های کشت × اردک × کنترل علف‌های هرز	۲۴	۹/۴۴^{ns}	۱۲	۶/۲۷^{ns}
سال × زمان نمونه‌برداری × سیستم‌های کشت × اردک × کنترل علف‌های هرز	۲۴	۵/۰۹^{ns}	۱۲	۰/۷۵^{ns}
خطای باقی مانده	۴۳۲	۱۸/۸۰	۲۱۶	۷/۹۶
ضریب تغییرات (٪)	–	۳۹/۳۱	–	۱۱/۱۹

* و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال آماری پنج و یک درصد، و ns: غیر معنی‌دار می باشد.

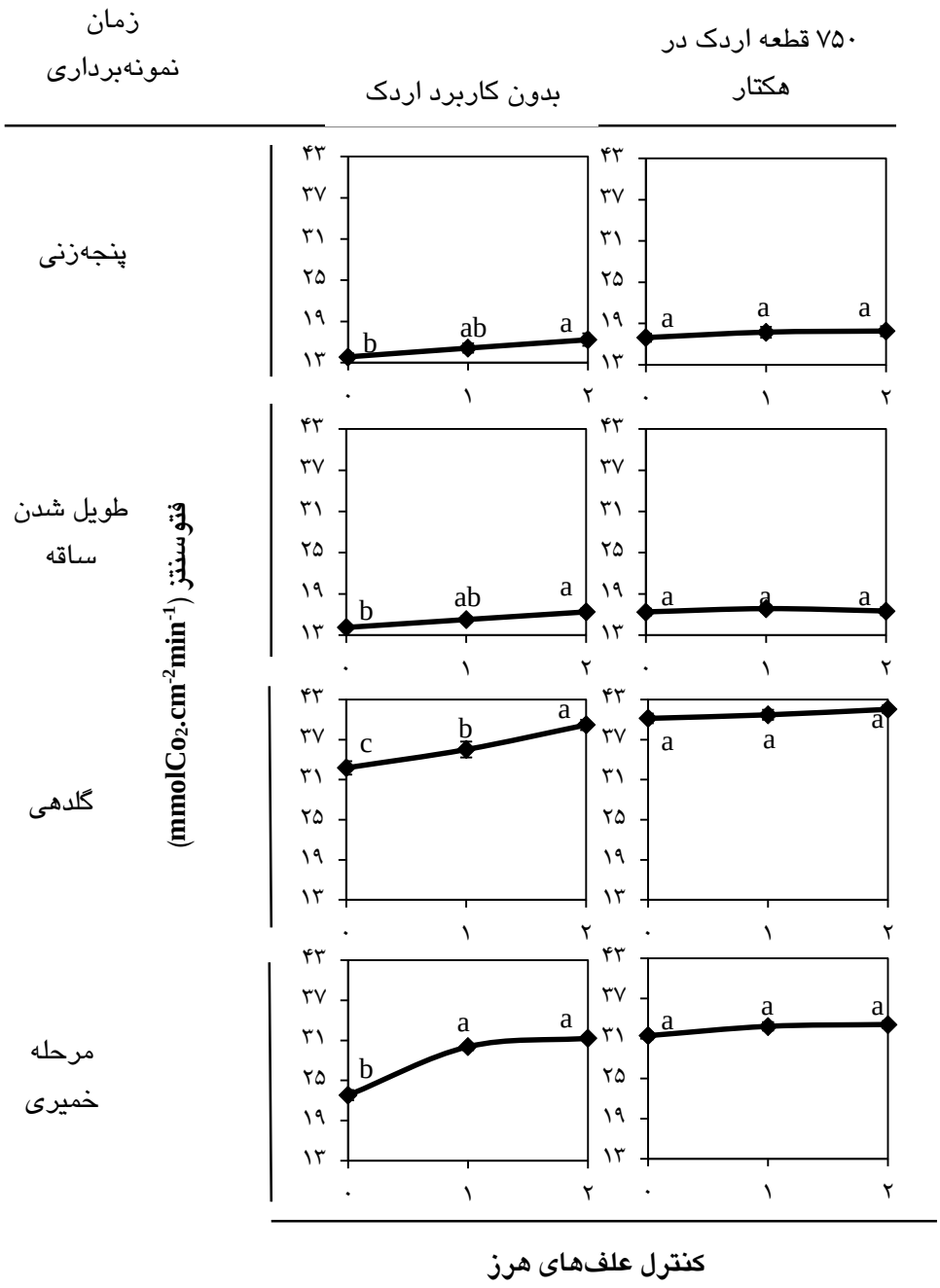


شکل ۳- تأثیر برهمکنش زمان نمونه‌برداری × سیستم‌های مختلف کشت×اردک بر سرعت رشد گیاه (برش‌دهی در سطح زمان نمونه‌برداری و اردک). خطای نمونه‌برداری توسط بار نشان داده شده است. سطوح کنترل علف‌های هرز: ۱: کشت متداول، ۲: کشت بهبود یافته، ۳: SRI



شکل ۴- اثر برهمکنش اردک × کنترل علف‌های هرز بر سرعت رشد گیاه. (خطای استاندارد توسط بار نمایش داده شده است).

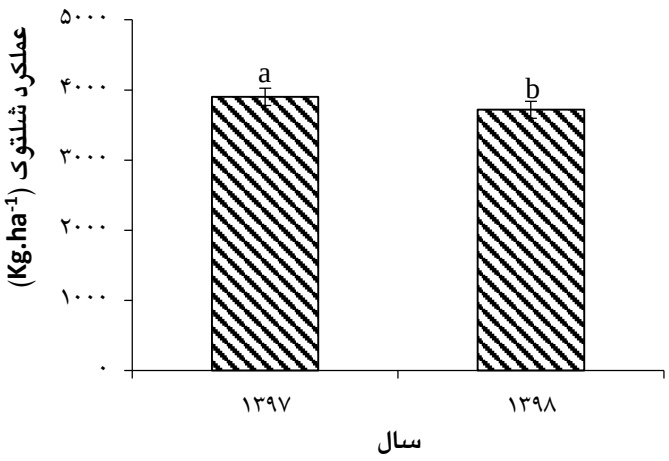
شکل ۵- تأثیر برهمکنش زمان نمونه‌برداری× کنترل علف‌های هرز بر سرعت رشد گیاه (برش‌دهی در سطح زمان). خطای نمونه‌برداری توسط بار نشان داده شده است.



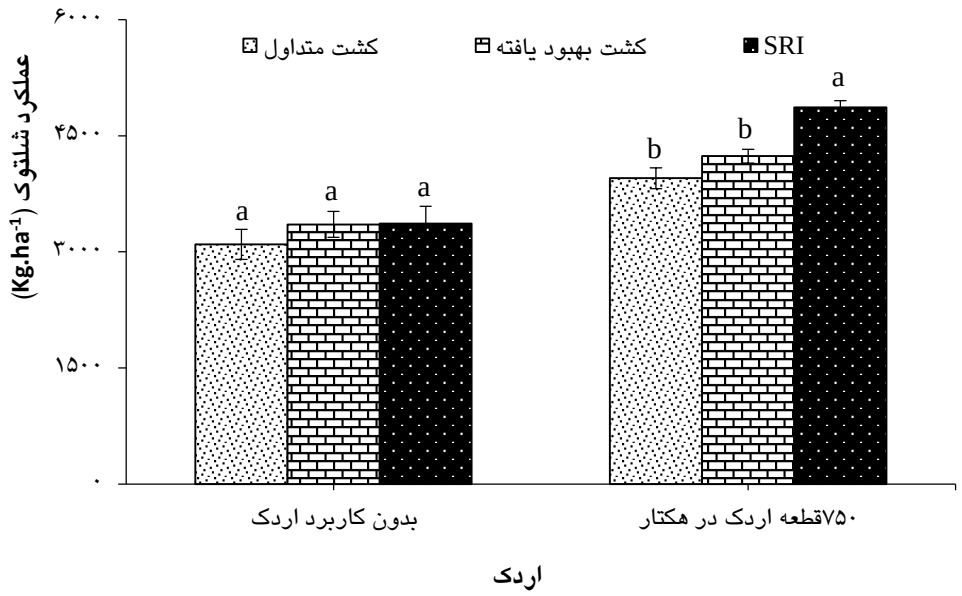
شکل ۶- تأثیر برهمکنش زمان نمونه‌برداری× اردک×کنترل علف‌های هرز بر سرعت رشد گیاه (برش‌دهی در سطح زمان نمونه‌برداری و اردک). خطای نمونه‌برداری توسط میله نشان داده شده است. سطوح کنترل علف‌های هرز: صفر: بدون وجین، ۱: یکبار وجین، ۲: دوبار وجین.

جدول ۷- تجزیه واریانس شاخص‌های فیزیولوژیکی برنج تحت‌تأثیر سیستم‌های مختلف کشت، اردک و کنترل علف‌های هرز

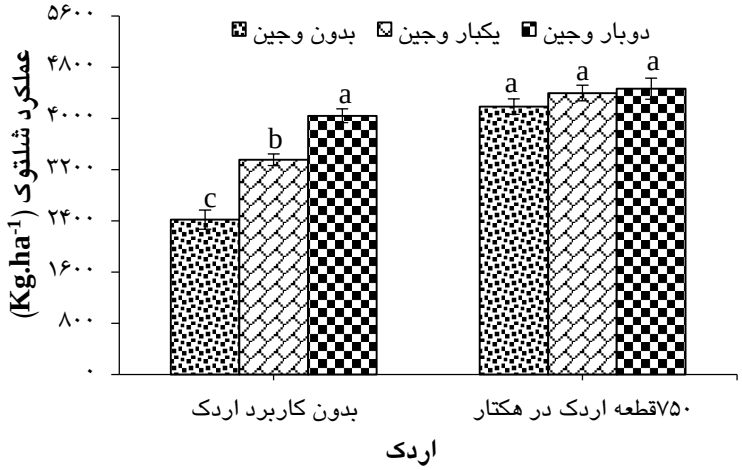
منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد شلتوک	بهره‌وری آب آبیاری و بارش
سال	۱	۹۲۲۳۱۲/۸۸**	۰/۰۱^{ns}
خطای سال	۴	۷۳۸۹۶/۰۰	۰/۰۰۶
سیستم‌های کشت	۲	۳۱۴۵۵۳۳/۵۷**	۲/۰۲**
سال × سیستم‌های کشت	۲	۷۳۴۹/۲۵^{ns}	۰/۰۰۰۳^{ns}
خطای عامل اصلی	۸	۴۲۰۵۹۳/۵۰	۰/۰۰۵
اردک	۱	۳۱۴۱۱۷۵۲/۳۱**	۲/۹۸**
اردک × سیستم‌های کشت	۲	۱۲۰۳۳۰۳/۰۰**	۰/۱۱**
کنترل علف‌های هرز	۲	۸۲۴۵۹۳۶/۱۹**	۰/۳۳**
سیستم‌های کشت × کنترل علف‌های هرز	۴	۴۴۸۲۴۳/۳۸^{ns}	۰/۰۲**
اردک × کنترل علف‌های هرز	۲	۴۰۵۹۵۲۴/۰۱**	۰/۱۵**
سیستم‌های کشت × اردک × کنترل علف‌های هرز	۴	۵۲۰۳۴۷/۶۹^{ns}	۰/۰۲**
سال × اردک	۱	۹۷۶/۷۹^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۶^{ns}
سال × سیستم‌های کشت × اردک	۲	۴۴۸۶/۳۰^{ns}	۰/۰۰۰۱^{ns}
سال × کنترل علف‌های هرز	۲	۶۰۱۳/۲۲^{ns}	۰/۰۰۰۰۳^{ns}
سال × سیستم‌های کشت × کنترل علف‌های هرز	۴	۱۱۸۰/۸۹^{ns}	۰/۰۰۰۰۲^{ns}
سال × اردک × کنترل علف‌های هرز	۲	۹۴۶/۹۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۵^{ns}
سال × سیستم‌های کشت × اردک × کنترل علف‌های هرز	۴	۹۷۴/۰۰^{ns}	۰/۰۰۰۰۴^{ns}
خطای باقی مانده	۶۰	۲۱۷۲۳۶/۶۷	۰/۰۰۲
ضریب تغییرات (%)	-	۱۲/۲۲	۶/۳۱



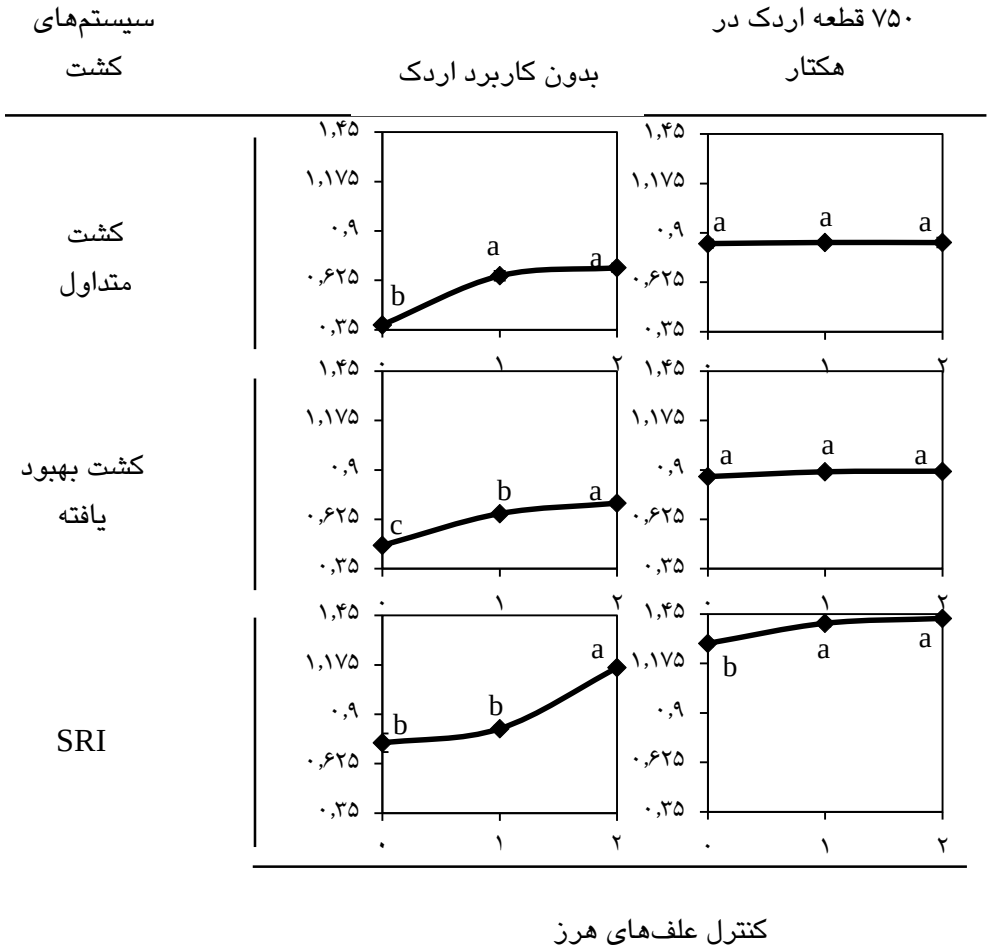
شکل ۷- اثر ساده سال بر عملکرد شلتوک. (خطای استاندارد توسط بار نمایش داده شده است).



شکل ۸- تأثیر برهمکنش اردک× سیستم‌های کشت بر عملکرد شلتوک (برش‌دهی در سطح اردک). خطای نمونه‌برداری توسط بار نشان داده شده است.



شکل ۹- تأثیر برهمکنش اردک× کنترل علف‌های هرز بر عملکرد شلتوک (برش‌دهی در سطح اردک). خطای نمونه‌برداری توسط بار نشان داده شده است.



شکل ۱۰- تأثیر برهمکنش سیستم‌های کشت×اردک× کنترل علف‌های هرز بر بهره‌وری آب آبیاری و بارش (برش‌دهی در سطح سیستم‌های کشت و اردک). خطای نمونه‌برداری توسط بار نشان داده شده است.

نتایج مقایسه دو سیستم کشت متداول و کشت SRI در مطالعه دیگر نشان داد که در سیستم کشت SRI عملکرد شلتوک ۹۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و در سیستم متداول ۵۵۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. در این پژوهش افزایش عملکرد در سیستم متمرکز به تولید بیشتر تعداد پنجه و خوشه در متر مربع، تعداد دانه در خوشه و افزایش طول خوشه نسبت داده شد. در این مقایسه در سیستم کشتSRI ، مصرف آب ۱۰ درصد کمتر و هزینه تولید ۱۵ درصد بیشتر و سود حاصله نیز ۲/۱ برابر بیشتر بود (استایگر و همکاران۲۰۱۱). بررسی نتایج تحقیقات نشان داد که کاربرد روش‌های مؤثر در بهره‌وری آب، از جمله؛ سیستم کشت SRI با توجه به بهبود مدیریت آبیاری در مزرعه از نظر جلوگیری از آب زهکشی ، کاهش پی‌آمدهای کشت متداول و افزایش حاصلخیزی خاک می‌توانند به میزان قابل‌توجهی بهره‌وری آب را افزایش دهند (مونکو و سالی ۲۰۱۸). متوسط دامنه بهره‌وری آب برای برنج بین ۰/۷۴ تا ۱/۱۰ کیلوگرم بر متر مکعب برآورد شده است (احمد و همکاران۲۰۱۴). پژوهشگران در تحقیقات خود گزارش دادند که بهره‌وری آب در کشت توأم ماهی- ذرت و ماهی- سبزی، ۲/۱۳ و ۸/۴۶ کیلوگرم بر متر مکعب است، اگرچه بهره‌وری آب در کشت توأم برنج- ماهی مستند نیست اما تصور بر این است که بهره‌وری آب را حداقل ۱۰ درصد افزایش دهد (عبدالرحمان و همکاران ۲۰۱۱). از سویی دیگر، بهره‌وری آب در کشت‌های توأم به نوع سیستم‌های کشت وابسته بوده و از این رو، بهره‌وری

آب در کشت توأم برنج- ماهی بین ۰/۰۵ تا ۱ کیلوگرم بر متر مکعب برآورد شده است (مولدن و همکاران ۲۰۱۰). در کل برخی از پژوهش¬گران بر این باورند که در سیستم کشتSRI ، بسیاری از ویژگی¬های فیزیولوژیک برنج از جمله عملکرد شلتوک افزایش می¬یابد و به علت توسعه بیشتر ریشه¬ها و بهبود کارآیی فیزیولوژیک گیاه، میزان جذب و کارآیی مصرف نیتروژن نیز افزایش می¬یابد (تاکور و همکاران۲۰۱۱). بنابراین با اعمال مدیریت صحیح آب از طریق سیستم‌های جدید کشت از جملهSRI ، می‌توان از یک سو مانع کاهش عملکرد شد و از سویی دیگر در مصرف آب صرفه‌جویی نمود و در نتیجه بهره‌وری آب را افزایش داد (بومان و همکاران ۲۰۰۷). سایر پژوهش‌ها نشان داد که روش آبیاری متناوب حدود ۳۸ درصد مصرف آب آبیاری شالیزار را بدون کاهش عملکرد و سود کشاورزان، کاهش داده است (رودریک و همکاران ۲۰۱۱). بررسی‌ها نشان داد که با کاهش حدود ۵۰ درصدی در مصرف آب در روشSRI ، نه‌تنها کاهش عملکرد شلتوک به‌وجود نیامد بلکه افزایش بهره‌وری آب نیز نسبت به روش‌های کشت متداول و توصیه شده ایجاد کرد (کومار وهمکاران ۲۰۱۹). میزان کاهش تلفات نفوذ آب در شالیزار به درجه پادلینگ، زمان پس از پادلینگ و نوع خاک، عمق آب روی سطح خاک و شرایط مزرعه‌ای بستگی دارد (یوسفی مقدم شیخانی و همکاران ۲۰۰۸). هر چند نفوذ عمقی آب در اراضی شالیزاری به دلیل وجود لایه سخت (Hard pan) خیلی کم است ولی سیستم کشت توأم برنج- اردک، به دلیل تحرک اردک و نوک زدن آن، موجب گل آلود شدن آب مزارعه شالیزاری می‌شود (محمدی و همکاران۲۰۰۷؛ ژانگ ۲۰۱۳؛ رایو و همکاران ۲۰۱۷). ذرات معلق در آب گل آلود کرت‌های شالیزار در سطح خاک رسوب کرده و موجب مسدود شدن خلل و فرج خاک می شود و از نفوذ آب جلوگیری می‌کنند (هدایتی پور و همکاران ۲۰۰۷). با توجه به این‌که میزان کاهش در نفوذپذیری بستگی به زمان پس از پادلینگ دارد و با گذشت زمان میزان نفوذپذیری افزایش می‌یابد (جینز و هانساکر ۱۹۸۹) در این بین اردک با پادلینگ مداوم و گل‌الود کردن خاک سبب حذف تأثیر زمان بر نفوذپذیری پس از پادلینگ و افزایش بهره‌وری آب آبیاری و بارش می‌گردد .

نتیجه‌گیری نهایی

به‌طور کلی، کاربرد توأم برنج- اردک و استفاده از سیستم کشت SRI و بهبود یافته موجب کاهش مشکلات موجود در کشت متداول غرقاب دائم، کاهش مصرف نهاده‌ها در سیستم کشت متداول، ارتقاء شاخص‌های رشدی گیاه، کمک به بهبود سرعت فتوسنتز گیاه و کاهش مصرف آب آبیاری می‌گردد. از این رو، کاربرد سیستم‌های کشت فوق در جهت نیل به اهداف کشاورزی پایدار، افزایش درآمد در واحد سطح برای کشاورزان ناشی از فروش اردک و محصول اصلی در شرایط بحران کمبود آب جهانی قابل استفاده به‌نظر می‌رسد.

سپاس‌گزاری

نویسندگان مقاله از تلاش‌های همه‌جانبه جناب آقای دکتر مجید قنبری در هماهنگی‌های لازم جهت تأمین دستگاه‌های مورد نیاز در اجرای طرح و مشاوره علمی لازم در این زمینه تشکر و قدردانی لازم را به‌عمل می‌آورند.

منابع مورد استفاده

Abdul Rahman S, Saoud IP, Owaied MK, Holail H, Farajalla N, Haidar M, and Ghanawi J. 2011. Improving water use efficiency in semi-arid regions through integrated aquaculture/agriculture. Journal of Applied Aquaculture, 23: 212-230.

Abd El-Latif KM and Abdullah R. 2018. Rice yield and water saving in the system of rice intensification (SRI). Paddy and Water Environment, 28: 123-135.

Abdul Rahman S, Saoud IP, Owaied MK, Holail H, Farajalla N, Haidar M and Ghanawi J. 2011. Improving water use efficiency in semi-arid regions through integrated aquaculture/agriculture. Journal of Applied Aquaculture, 23: 212-230.

Ahmed N, Ward JD and Saint CP. 2014. Can integrated aquaculture-agriculture (IAA) produce "more crop per drop"?. Food Security, 6(6): 767-779.

Ajmiri.2018. Programs and Achievements. Achievements of the agricultural sector in the twelfth government. (available at http://www.pr.maj.ir/portal/Home/).

Barison J and Uphoff N. 2011. Rice yield and its relation to root growth and nutrient-use efficiency under SRI and conventional cultivation: an evaluation in Madagascar. Paddy and Water Environment, 9: 65-78.

Bouman BAM, Lampayan RM and Tuong TP. 2007. Water management in irrigated rice: coping with water scarcity.International Rice Research Institute, 54 pp.

Carrijo DR, Lundy ME and Linquist BA. 2017. Rice yields and water use under alternate wetting and dryingirrigation: A meta-analysis. Field Crops Research, 203: 173-180.

Darmawan M. 2016. Analysis of Legowo Row Planting System and System of Rice Intensification (SRI) of Paddy Field (Oryza Sativa L.) Toward Growth and Production. Agrotech Journal – Neliti, 1(1): 14-18.

Doni F, Sulaiman N, Isahak A, Nurashiqin W, Mohamad W, Che Mohd Zain CR, Ashari A and Wan Yusoff WM. 2015. Impact of System of Rice Intensification (SRI) on Paddy Field Ecosystem. Journal of Pure and Applied Microbiology, 9(2): 927-933.

FAO STAT. 2018. FAO statistical database (available at www.fao.org).

Farooq M, Kobayashi NK, Wahid A, Ito O and Basra SMA. 2009. Strategies for producing more rice with less water. Advances in Agronomy, 101: 351-388.

Flohr A, Rudnick M, Traser G, Tscharntke T and Eggers T. 2011. Does soil biota benefit from organic farming in complex vs. simple landscapes?. Agriculture, Ecosystems and Environment, 141(1-2): 210-214.

Haghjoo M and Bohrani A. 2015. Evaluating yield variations of Corn (single cross 260) at different water regimes and nitrogen rates by using of growth indices. Journal of Crop Ecophysiology, 34(2): 259-274. (In Persian).

Hedayatipour A and Bahrami M. 2007. The effect of padding frequency on specific apparent weight and water permeability and rice yield in paddy feilds. Third Student Conference on Agricultural Machinery Engineering. Shiraz University. (In Persian).

Hussain SS. 2006. Molecular breeding for abiotic stress tolerance: drought perspective. Proc Pakistan Acad Science, 43(3): 189-210.

Jaynes DB and Hansaker DJ. 1989. Spatial and temporal variability of water content and infilteration on a flood irrigation field. Trans, 32(4): 1229-1238.

Kalaji HM, Bąba W, Gediga K, Goltsev V, Samborska IA,Cetner MD, Dimitrova S, Piszcz U, Bielecki K, Karmowska K, Dankov K and Kompała-Bąba A. 2018. Chlorophyll fluorescence as a tool for nutrient status identification in rapeseed plants. Photosynthesis Research, 136: 329-343.

Kassam A, Stoop W and Uphoff N. 2011. Review of SRI modifications in rice crop and water management and research issues for making further improvements in agricultural and water productivity. Paddy Water Environment, 9: 163-180.

Kumar A, Nayak AK, Das BS, Panigrahi N, Dasgupta P, Mohanty S, Kumar U, Panneerselvam P and Pathak H. 2019. Effects of water deficit stress on agronomic and physiological responses of rice and greenhouse gas emission from rice soil under elevated atmospheric CO_2. Science of the Total Environment, 650: 2032-2050.

Lamour A and Lotz LAP. 2007. The importance of tillage depth in relation to seedling emergence in stale seedbeds. Ecological modeling, 201(3-4): 536-546.

Li M, Li R, Liu S, Zhang J, Luo H and Qiua S. 2019. Rice-duck co-culture benefits grain 2-acetyl-1-pyrroline accumulation and quality and yield enhancement of fragrant rice. The Crop Journal, 7: 419-430.

Long P, Huang H, Liao X, Fu Z, Zheng H, Chen A and Chen C. 2013. Mechanism and capacities of reducing ecological cost through rice–duck cultivation. Journal of the Science of Food and Agriculture, 93: 2881-2891.

Lopes AR, Faria C, Fernandez AP, Cepeda CT, Manaia CM and Nunes OC. 2011. Comparative study of the microbial diversity of bulk paddy soil of two rice fields subjected to organic and conventional farming. Soil Biology and Biochemistry, 43: 115-125.

Lu JX, Zhang JE and Huang ZX. 2005. An auxiliary control method of rice- duck farming system leaf roller. The Rope Scraping of Rice Tail, 3: 39-46.

Mohammadi M, Pirdashti H, Aqajani-Mazandarani M and Musavi-Taghan SY. 2012. Performance evaluation as an agent of biological diversity and density of duck weed in cultivated rice combination– ducks. Journal of Agricultural Ecology, 4(4): 335-346. (In Persian).

Molden D, Oweis T, Steduto P, Bindraban P, Hanjra MA and Kijne J. 2010. Improving agricultural water productivity: between optimism and caution. Agricultural Water Management, 97: 528-535.

Monaco F and Sali G. 2018. How water amounts andmanagemen to ptionsdriveIrrigation Water Productivity of rice. Agricultural Water Management,195: 47-57

Naiyar Ali MD and Izhar T. 2017. Performance of SRI principles on growth, yield and profitability of rice (*Oryza sativa* L.). Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 6(5): 1355-1358.

Pernollet CA, Simpson D, Gauthier-Clerc M and Guillemain M. 2015. Rice and duck, a good combination? Identifying the incentives and triggers for joint rice farming and wild duck conservation. Agriculture, Ecosystems and Environment, 214: 118-132.

Qu JL. 2010. Research on rice- duck commensalisms to control weed and Pests. Heilongjiang Agricultural Science, 6: 67-69.

Rao KVR, Gangwar SK, chourasia LBR and Soni KA. 2017. Effects of drip irrigation system for Enhancing Rice. Applied Ecology and Environmental Research, 15: 487-495.

Rehman HU, Aziz T, Farooq M, Wakeel A and Rengel Z. 2012. Zinc nutrition in rice production systems. Plant and soil, 361(1-2): 203-226.

Roderick M, Florencia GR, Rodriguez GDP, Lampayan RM and Bouman BAM. 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.

Singh Y, Humphreys E, Kukal SS. Singh B, Kaur A, Thaman S, Prashar A, Yadav S, Timsina J, Dhillon SS and Kaur N. 2009. Crop performance in permanent raised bed rice-wheat cropping system in Punjab. India. Field Crops Research, 110(1):1-20.

Styger E, Attaher MA, Guindo H, Ibrahim H, Diaty M, Abba I and Traore M. 2011. Application of system ofrice intensification practices in the arid environment of the Timbuktu region in Mali. Paddy and Water Enviroment, 9: 137-144.

Thakur AK, Mohanty RK, Patil DU and Kumar A. 2014. Impact of water management on yield and water productivity with system of rice intensification (SRI) and conventional transplanting system in rice. Paddy and Water Environment, 12: 413-424.

Thakur AK, Rath S and mandal KG. 2013. Differential responses of system of rice intensification (SRI) and conventional flooded rice management methods to applications of nitrogen fertilizer. Plant and Soil, 9: 13-24.

Thakur AK, Rath S, Roychowdhury S and Uphoff N. 2010. Comparative performance of rice with system of rice intensification (SRI) and conventional management using different plant spacings. Journal of Agronomy and Crop Science, 196: 146-159.

Thakur AK, Sreelata Rath DU and Patil Ashwani K. 2011. Effects of rice plant morphology and phsiology of water and associated management practices of the system of rice intensification and their implications for crop performance. Paddy and Water Enviroment, 9: 13-24.

Wei H, Bai W, Zhang J, Chen R, Xiang H and Quan G. 2019. Integrated rice-duck farming decreases soil seed bank and weed density in a paddy field. Agronomy, 9(5): 259.

Xu Q, Ma X. Lv T, Bai M. Wang Z and Niu J. 2020. Effects of water stress on fluorescence parameters and photosynthetic characteristics of drip irrigation in rice. Water, 12: 289-308

Yang H, Yu D. Zhou J. Zhai S. Bian X and Weih M. 2018. Rice- duck co-culture for reducing negative impacts of biogas slurry application in rice production systems. Journal of Environmental Management, 213: 142-150.

Yousefi Moghaddam Sheikhani S, Mousavi SF, Mustafa Zadeh B, Yazdani MR and Hemmat A. 2008. Effect of puddling intensity on physical properties of three dominate soil textures of paddy fields of Guilan province. Masters. Thesis Isfahan University of Technology. (In Persian).

Zhang J. 2013. Progresses and perspective on research and practice of rice-duck farming in China. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 1: 70-79.