

مقاله علمی-پژوهشی

پیامد بایوچار و باکتری آزوسپریلیوم لیپوفروم بر عملکرد و شاخص‌های بهره‌وری آب در برنج رقم طارم هاشمی در دو رژیم آبیاری غرقابی و تناوبی

محمد کاوه^۱ - محمد علی اسماعیلی^{۲*} - همت اله پیردشتی^۳ - محمدرضا اردکانی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۰

چکیده

به منظور بررسی پیامد بایوچار به همراه کود نیتروژن، باکتری آزوسپریلیوم لیپوفروم و روش‌های مدیریت آبیاری بر عملکرد و شاخص‌های بهره‌وری آب در زراعت برنج، پژوهشی در دو سال زراعی ۱۳۹۶ و ۹۷ در مزرعه‌ی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. عامل اصلی، شیوه آبیاری در دو سطح آبیاری غرقابی و آبیاری تناوبی و عامل فرعی تیمار کودی در نه سطح، ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیتروژن به همراه ۲۰، ۱۰ و صفر تن بایوچار در هکتار و عامل فرعی - فرعی جدایه خالص باکتری آزوسپریلیوم لیپوفروم در دو سطح بدون مایه‌زنی و مایه‌زنی نشا در ۳ تکرار انجام شد. نتایج نشان داد که تیمارهای کودی بایوچار + نیتروژن، باکتری و شیوه آبیاری بر عملکرد شلتوک، میزان مصرف آب و شاخص‌های بهره‌وری آب اثر معنی‌داری داشت. در بررسی برهم‌کنش فاکتورها مشخص گردید که تیمار کودی ۷۵ درصد نیتروژن به همراه ۲۰ تن بایوچار در آبیاری غرقابی با باکتری و در آبیاری تناوبی بدون مصرف باکتری موجب بدست آوردن بیشترین میزان عملکرد شلتوک و شاخص‌های CPD و BPD با اختلاف معنی‌داری شده و در شاخص NBPD در حالت غرقابی بیشترین میزان مربوط به ۷۵ درصد نیتروژن و ۲۰ تن بایوچار، به همراه باکتری و در آبیاری تناوبی مربوط به ۵۰ درصد نیتروژن به همراه ۲۰ تن بایوچار و بدون باکتری بوده است، که البته میزان این تاثیر گذاری در آبیاری تناوبی به مراتب چشم‌گیر تر بود. گمان می‌رود می‌توان با اعمال ترکیب کودی ۷۵ درصد نیتروژن به همراه ۲۰ تن بایوچار در آبیاری تناوبی، کاهش عملکرد حاصل از کم شدن مصرف آب را تا حد زیادی جبران نمود.

واژه‌های کلیدی: آزوسپریلیوم لیپوفروم، بایوچار، برنج، شاخص بهره‌وری آب

مقدمه

شده، نشان از این دارد که بیش از ۳۱ درصد از حجم آبی که در کشور مورد استفاده قرار می‌گیرد، برای تولید در کشاورزی است و بیشترین حجم هدررفت آب نیز مربوط به همین بخش است (۳). به طوری که ۶۲ درصد آن به علت شیوه‌های نادرست آبیاری هدر می‌رود (۲۴). بنابراین برای رفع مشکل کنونی، چاره‌ای جز افزایش بهره‌وری و همچنین استفاده بهینه از آب وجود ندارد.

بومان و همکاران (۱۰) گزارش کردند برنج بیشترین مقدار مصرف آب را در بین محصولات کشاورزی دارا بوده و حدود ۸۰ درصد کل منابع آب شیرین مصرفی آسیا را شامل می‌شود. عربزاده (۴) گزارش کرد که یکی از مهم‌ترین مسائل و مشکلات در آبیاری در بخش

کشاورزی به عنوان یکی از بخش‌های حیاتی نقش بسیار حساسی در برنامه‌های توسعه اقتصادی و اجتماعی دارد. در این میان کشت برنج دارای ارزش و اهمیت ویژه‌ای بوده و پس از گندم، غذای اصلی مردم جهان را تشکیل می‌دهد (۳۱ و ۳۲). روند تغییرات سطح زیرکشت آبی در جهان نشان می‌دهد که برخلاف گذشته سرعت افزایش این روش کاشت سال به سال رو به کاهش است، زیرا زمین مناسب کشت آبی که دارای آب کافی و مناسب باشد، تقریباً نایاب گردیده است (۹). بخش کشاورزی، بیشترین مصرف کننده منابع آب کشور است و ارقامی که در گزارش‌های گوناگون در این زمینه ارائه

۴- استاد گروه زراعت، دانشگاه آزاد، واحد کرج

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی و دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(*- نویسنده مسئول: Email: esmaeilim550@gmail.com)

۳- استاد گروه زراعت، پژوهش‌شده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

در پژوهشی نشان داده شد که بایوچار سبب افزایش گنجایش نگه داری آب در خاک می‌شود (۳۰). افزایش آب قابل دسترس در خاک در پی افزودن بایوچار به آن، به دلیل سطح ویژه بالای بایوچار و نقشی است که این ماده در بهبود توزیع اندازه ذرات خاک و تخلخل خاک ایجاد می‌کند (۳۹). در همین راستا گلب و همکاران (۱۷) در یک آزمایش گلخانه‌ای با افزودن مقدار ۴ درصد وزنی بایوچار ساقه گندم به یک خاک ماسه‌ای، به ترتیب افزایش ۶/۶۵ درصدی رطوبت در حد گنجایش زراعی، ۶/۵۹ رطوبت در نقطه پژمردگی دائم و آب قابل دسترس را گزارش کردند (۲۸).

بایوچار در برابر تجزیه توسط ریزجانداران خاک بسیار مقاوم است و در نتیجه در درازمدت هم روی کیفیت خاک تأثیر دارد. در این راستا، لمان (۲۷) اظهار داشت که کاربرد بایوچار یک رویکرد موفق در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک است و منجر به افزایش تولید محصول می‌شود. سطح ذرات خاک، پارامتر فیزیکی مهمی است که تهویه و فعالیت میکروبی خاک را کنترل می‌کند (۱۲). بایوچار فعالیت انواع مختلف میکروبهای خاک را که از نظر کشاورزی مهم هستند، تحریک می‌نماید (۶). وجود خلل و فرج در بایوچار با حفاظت میکروبه‌ها در مقابل شکار شدن و خشکی و هم چنین تأمین نیاز کربنی، انرژی و عناصر معدنی محل مناسبی را برای زیستن ریزجانداران فراهم می‌آورد (۴۵).

آزوسپیریوم^۶ یکی از شناخته شده‌ترین ریزجاندارانی است که می‌تواند در رایزوسفر غلات و پیرامون ریشه آن‌ها کلونی تشکیل دهد. گروهی از باکتری‌های مفید خاک‌زی که سبب افزایش رشد گیاه می‌شوند اصطلاحاً تحت عنوان باکتری‌های افزایش‌دهنده رشد گیاه (PGPR)^۷ نامیده می‌شوند و در حال حاضر به صورت یکی از مهم‌ترین انواع کودهای زیستی به کار برده می‌شوند (۴۸). نتایج بسیاری از پژوهش‌ها نشان می‌دهد که بودن باکتری‌های سودمند در رایزوسفر و اندورایزوسفر گیاه میزبان، پیامدهای چشم‌گیری در بهبود شاخص‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه و در نتیجه افزایش محصول پدید می‌آورد. به گونه‌ای که می‌توان رابطه متقابل برنج با *آزوسپیریوم* را از جهت آثار مفید باکتری بر رشد گیاه، قابل قیاس با همزیستی گیاهان لگوم و باکتری‌های رایزوبیوم^۸ دانست (۱۵).

مصرف بی‌رویه آب در آبیاری غرقاب بیانگر نیاز مبرم به سایر روش‌های مدیریتی در کشاورزی برنج اعم از تغییر روش آبیاری و استفاده از کودهای زیستی است. استفاده از کود بایوچار به همراه باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در آبیاری تناوبی برنج، می‌تواند

کشاورزی ایران، پایین بودن بازده آبیاری است. از دیگر عواملی که موجب پایین آمدن بازده آبیاری و هدررفت بالای آب می‌شود، می‌توان به سنتی بودن روش‌های آبیاری و توزیع نامناسب آب اشاره نمود. رضایی و نحوی (۳۴) در بررسی پیامد دور آبیاری در کشت برنج به این نتیجه رسیدند که یکی از راه‌های چیره شدن بر مشکل پایین بودن بهره‌وری آب آبیاری و مصرف بیش از اندازه آب در آبیاری غرقابی، استفاده از روش آبیاری تناوبی یا تر و خشک کردن شالیزارها است. روش‌های مدیریتی، کشت نیمه خشک (SDC)^۱ تناوب خشکی و رطوبت (AWD)^۲ و ترکیب آب کم عمق با تناوب خشکی و رطوبت (SWD)^۳ از انواع روش‌های کم آبیاری در برنج هستند. رودریک و همکاران (۳۵) در پژوهشی نتیجه گرفتند که روش کم آبیاری تناوب خشکی و رطوبت (AWD) در حدود ۳۸٪ مصرف آب آبیاری شالیزار را کاهش داده است. روش آبیاری تناوبی به منظور کاهش مصرف آب و نیز جلوگیری از پیامدهای ناسودمند آب‌گرفتگی دایم در شالیزار اجرا می‌شود و در واقع به معنی رساندن آب دوره‌ای و با فواصل معین است؛ به طوری که در این روش به جای این که شالیزار در طول فصل رشد همیشه غرقاب باشد، به صورت ناپیوسته به مزرعه خشکی اعمال می‌گردد (۵). به عبارت دیگر، به جای اینکه پای بوته‌ها پیوسته در آب باشد، فقط در مواقع لزوم و به اندازه مورد نیاز، آب به گیاه داده می‌شود (۳۷). همچنین گزارش شده است که اگرچه نظام آبیاری مبتنی بر صرفه‌جویی در آب، مانند رژیم آبیاری تناوبی، ترکیب آب کم عمق با خشکی و رطوبت و رژیم آبیاری تناوب خشکی و رطوبت می‌تواند موجب افزایش بهره‌وری آب شود، اما این روش‌ها بیشتر باعث کاهش عمل کرد می‌گردند که می‌توان با روش‌های به‌زراعی و به نژادی آن را بهبود بخشید (۱۱). یکی از مهم‌ترین اصول به‌زراعی بهبود کیفیت فیزیکی خاک است که به شدت تولید محصول را هم تحت تأثیر قرار می‌دهد.

به تازگی پژوهش‌گران علاقه‌مند به کاربرد از نوعی از کربن آلی سیاه رنگ مقاوم به تجزیه با عنوان بایوچار^۴ در کشاورزی گرایش پیدا کرده‌اند (۴۱). بایوچار ماده‌ای جامد و پایدار به شکل زغال است که دارای کربن بالا به صورت زنجیره‌ای می‌باشد و از تجزیه حرارتی^۵ دورریزهای زیستی گیاهی (زیست‌توده)، در نبود اکسیژن به وجود می‌آید (۳۶). تولید بایوچار ۱ سا سا برای کاهش انتشار گاز دی اکسید کربن ناشی از تجزیه عادی بقایای گیاهی به جو است، اما این ماده کاربردهای دیگری نیز در مدیریت خاک و آب پیدا کرده است (۲۶).

5- Pyrolysis

6- *Azospirillum*

7- Plant Growth Promoting Rhizobacteria

8- Rhizobium

4- De Martounne

1- Semi-Dry cultivation

2- Alternate wet and drying

3- Combining shallow water depth with wetting and drying

4- Biochar

که مرحله کربونیزاسیون و تشکیل شبکه متخلخل بود گرمازا بود که ۲ ساعت طول کشید و در گام پایانی کربن‌های تولید شده به دمای محیط رسیدند. برای تولید نانو مواد کربنی در یک کوره دوار به طول ۱۰ متر و قطر ۱۰۶ سانتی‌متر و با سرعت بارگیری ۶۰ کیلوگرم بر ساعت قرار گرفتند. سپس با تغییرات زمان ماند مواد در کوره و تغییرات درجه حرارت از ۹۰۰ تا ۱۰۵۰ درجه سلسیوس و میزان مواد فعال ساز، بخار آب و اکسیژن و تغییرات زاویه مواد نانو با حفره‌های گوناگون تهیه شدند. در پایان نیز مخلوط کردن بایوچار با نانو و تهیه نانو بایوچار در یک مخلوط کن انجام گرفت (۱۸) (جدول ۲).

پیش از نشاکاری کود بایوچار و اوره به میزان محاسبه شده (بر اساس آزمون خاک در هکتار اوره (جدول ۱)) (۲۹) برای هر کرت تقسیم و جدا شده و در هر کرت پخش و بخوبی مخلوط شد. سپس برای تکرارهای با آبیاری تناوبی از روش ابداعی ابری (۲۰) استفاده گردید. در این روش در لوله‌های پی‌وی‌سی به ارتفاع ۲۰ و قطر پنج سانتی‌متر، با مته برقی سوراخ‌های زیاد ایجاد گردید و لوله‌ها به صورت مشبک درآمدند (برای نفوذ آب به درون لوله). لوله‌ها پیش از کشت نشاها در کرت‌ها قرار گرفتند و سپس تمامی گل و لای موجود و نشت یافته در لوله‌ها تا کف تخلیه گردید. برای کنترل سطوح آبیاری با استفاده از خط‌کش مدرج میزان سطح آب در داخل لوله‌های کار گذاشته شده در کرت‌ها، روزانه بازمینی و بررسی شد و در صورت نیاز و بر اساس سطوح تعریف شده روش ابداعی ابری، آبیاری انجام شده و مقدار آن یادداشت گردید. برای اندازه‌گیری آب ورودی مزرعه ابتدا در طول همهی تکرارها لوله‌های پلی‌اتیلن به موازات تکرارها کشیده شد و بر روی هر یک از لوله‌ها در کنار هر کرت لوله‌های فرعی همراه با شیر فلکه قرار گرفت که آب از لوله اصلی به هر کرت به صورت جدا هدایت می‌کرد. همچنین در ابتدای هر لوله اصلی که هر تکرار را آبیاری می‌کرد یک شیر فلکه گنجانده شد. در ورودی مزرعه نیز کنترلر آب قرار گرفت تا بتوان آب وارد شده به هر تکرار و کل مزرعه را اندازه‌گیری و محاسبه نمود. برای مایه‌زنی باکتری با ریشه‌های گیاه برنج، ابتدا نشاهای جوان در گام ۳/۵ تا ۴ برگ از خزانه خارج و ریشه‌ها به طور کامل مورد شست و شو قرار گرفت. سپس تعداد مشخصی از آنها درون تشت که از پیش درون آن ۱۰ لیتر آب به همراه یک لیتر زادمایه باکتری *آزوسپریلیوم لیپوفروم* (تهیه شده از موسسه آب و خاک کرج) ریخته شده بود به همراه ۱۵ گرم از ماده کربوکسی متیل سلولز (CMC) برای افزایش میزان چسبندگی باکتری‌ها به ریشه به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شدند. در پایان نشاها به زمین اصلی انتقال داده شدند. اندازه‌گیری عملکرد شلتوک در پایان فصل رشد (۹۵ روز) با برداشت بوته از چهار متر مربع از وسط هر کرت با رطوبت ۱۲ درصد اندازه‌گیری شد (۴۶).

راهکار مناسبی برای کاهش مشکلات ذکر شده باشد. بنابراین، هدف از این پژوهش تعیین میزان بهره‌وری مصرف آب در روش‌های مدیریتی جدید از جمله تغییر روش آبیاری و استفاده از کودهای زیستی و آلی، در نظر گرفته شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه‌ی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری با طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۱ متر پایینتر از سطح دریای آزاد اجرا شد. بر اساس طبقه‌بندی دومارتن^۴، نواحی شرقی مازندران دارای اقلیم مدیترانه‌ای می‌باشد (اداره کل هواشناسی استان مازندران)، در دو سال زراعی ۱۳۹۶ و ۹۷، به صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. رقم مورد استفاده برنج طارم هاشمی بود. عامل اصلی، شیوه آبیاری در دو سطح آبیاری غرقاب و آبیاری تناوبی و عامل فرعی تیمار کودی در نه سطح، ۱۰۰ درصد نیتروژن (توصیه شده بر اساس آزمون خاک (جدول ۱)) (۲۹). ۱۰۰ درصد نیتروژن + بدون بایوچار، ۱۰۰ درصد نیتروژن + ۱۰ تن بایوچار (در هکتار)، ۱۰۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار، ۷۵ درصد نیتروژن + بدون بایوچار، ۷۵ درصد نیتروژن + ۱۰ تن بایوچار، ۷۵ درصد نیتروژن + بدون بایوچار، ۵۰ درصد نیتروژن + بدون بایوچار، ۵۰ درصد نیتروژن + ۱۰ تن بایوچار، ۵۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار بود. عامل فرعی-فرعی نیز جدا به خالص باکتری *آزوسپریلیوم لیپوفروم*^۱ در دو سطح بدون مایه‌زنی با نشا و با مایه‌زنی با نشا بود. آزمایش در ۳ تکرار و در دو سال پشت سرهم انجام شد. در پایان اردیبهشت ماه نمونه‌های خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتیمتر قبل از آماده سازی زمین گرفته شد سپس کارهای شخم بهاره، ماله کشیدن، پادینگ (گل خرابی) و تراز کردن انجام و سپس نقشه طرح، در زمین پیاده شد. برای اطمینان از ترکیب نشدن آب کرت‌ها (به ابعاد ۲×۴ متر مربع) با هم و همچنین برای جلوگیری از نشست آب، کود و باکتری‌ها، مرز کرت‌ها تا عمق نیم متری پوشش نایلونی کشیده و هم‌تراز شد و برای نشاکاری آماده گردید.

روش تهیه بایوچار

در ابتدا برای تولید بایوچار مواد اولیه سلولزی شامل بقایای چوب و گیاهان زراعی تهیه و دسته‌بندی شدند. سپس جهت تبدیل مواد سلولزی به کربن در شرایط بی‌هوازی، مواد سلولزی در ابتدا در درجه حرارت ۱۱۰ درجه سلسیوس جهت تبخیر آب موجود به مدت ۲ ساعت قرار گرفتند. سپس به مدت ۳ ساعت در درجه حرارت ۲۸۰ درجه سلسیوس برای بیرون رفتن مواد فرار قرار داده شدند. واکنش بعدی

جدول ۱- خصوصیات خاک

Table 1- Soil characteristics

شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	بافت خاک Soil texture	کربن آلی Organic carbon	ماده آلی Organic matter	اسیدیته اشباع Saturated acidity	هدایت الکتریکی Electric conductivity	نیتروژن (N)	فسفر قابل جذب (P)	پتاسیم قابل جذب (K)
%				%			dS/m	%		mg/kg
41	28	31	لومی رسی (loam clay)	1.96	3.39	8.4	0.6	0.19	5	186

جدول ۲- ویژگی‌های بایوچار استفاده شده

Table 2- Biochar properties used

دانه بندی Grading	نیتروژن N (g/kg)	درصد کربن C %	درصد خاکستر Ash %	pH	محتوای رطوبت Moisture content (%)	عدد متیلن بلو Methylene blue number (mg/g)	مساحت سطح بر اساس استاندارد ASTM Surface area according to standard ASTM (m ² /g)	عدد ید Iodine number (mg/g)	ویژگی‌های بایوچار Biochar properties
0.1≥	18-20	48-50	4-5	5.8	3-4	150-250	950-1100	950-1100	مقدار

$$NBPD = NB/TWc \quad (\text{معادله ۳})$$

تجزیه داده‌ها، به صورت آنالیز واریانس مرکب طرح کرت‌های دو بارخرد شده^۱ در دو سال با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ و مقایسه میانگین‌ها در صورت معنی‌داری پیامد عامل‌ها در جدول تجزیه واریانس، با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد انجام شد. همچنین، در جدول تجزیه واریانس پیامدهای شیوه آبیاری، کود و باکتری ثابت و اثر سال تصادفی در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

عملکرد شلتوک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که پیامدهای ساده شیوه آبیاری، کود و باکتری و برهم‌کنش دوگانه شیوه آبیاری × کود و کود × باکتری و برهم‌کنش سه‌گانه شیوه آبیاری × کود × باکتری در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد معنی‌دار بود (جدول ۳).

مقایسه میانگین برهم‌کنش سه‌گانه مشخص کرد (جدول ۴) که در حالت آبیاری غرقاب، مصرف ۷۵ در صد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار، به همراه مایه‌زنی با باکتری، بالاترین عملکرد شلتوک را تولید نمود (ولی این تیمار تفاوت معنی‌داری با تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن به همراه ۲۰ تن بایوچار با مصرف باکتری نداشته است). این در حالی بود که مصرف ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار بدون مایه‌زنی باکتری

شاخص بهره‌وری مصرف آب

برای تعیین بهره‌وری آب کشاورزی از سه شاخص CPD، BPD و NBPD استفاده می‌شود (۲۱). شاخص CPD در واقع نسبت مقدار محصول تولید شده به حجم آب مصرف شده در هکتار است. که در آن TP مقدار محصول تولید شده (کیلوگرم در هکتار) و TWc حجم آب مصرف شده (مترمکعب) در هکتار بدون در نظر گرفتن بارندگی می‌باشد.

$$CPD = TP/TWc \quad (\text{معادله ۱})$$

شاخص BPD در واقع نسبت میزان سود ناخالص (درآمد) در هر هکتار به ازای واحد حجم آب (مترمکعب در هکتار) می‌باشد. که در آن TR مقدار ارزش کل فروش محصول در هکتار (ریال) است. TWc حجم آب مصرف شده (مترمکعب) در هکتار بدون در نظر گرفتن بارندگی می‌باشد. در این روش هزینه‌ی تولید محصول در نظر گرفته نمی‌شود.

$$BPD = TR/TWc \quad (\text{معادله ۲})$$

بهترین شاخص برای بررسی بهره‌وری آب کشاورزی NBPD یا سود خالص به ازای واحد آب مصرفی می‌باشد که میزان سود خالص را به ازای واحد حجم آب مصرف شده تعیین می‌نماید. این شاخص اهمیت زیادی در برنامه‌ریزی الگو و ترکیب کشت در مناطق خشک مواجه با محدودیت شدید آب دارد. که در آن NB میزان سود خالص (ریال) در هر هکتار است. TWc حجم آب مصرف شده (مترمکعب) در هکتار بدون در نظر گرفتن بارندگی می‌باشد.

1- Split split plot

نسبت به غرقاب بیشتر به چشم می‌آید. در واقع در آبیاری تناوبی، باکتری در مقادیر کمتر کود نیتروژن بهتر عمل می‌کند. در همین راستا لهمان و همکاران، (۲۵) بیان داشتند که بایوچار به عنوان ماده افزوده شده به خاک، توانایی تحریک ریزجانداران مفید خاک را داراست. بایوچار با تأثیر مثبت بر کارایی مصرف منابع و نهاده‌های کشاورزی و عمل کرد گیاهان زراعی به دلیل سطح ویژه بالا بیشتر در بهبود راندمان تولیدات زراعی (۳۸) و کاهش هدر رفت نیتروژن (دنیتریفیکاسیون) و افزایش کارایی ریز جانداران مفید تثبیت کننده نیتروژن در نتیجه جذب بیشتر نیتروژن (۴۳) تأثیر بسزایی دارد.

همچنین جدول ۴ نشان می‌دهد که در آبیاری غرقاب تفاوت میزان عملکرد شلتوک بین کمترین (۵۰ درصد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون باکتری) و بیشترین (۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و با باکتری) میزان آن، ۵۳/۶ درصد می‌باشد. در سوی دیگر، در شیوه تناوبی تفاوت بین کمینه (۵۰ درصد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون باکتری) و بیشینه (۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و بدون باکتری) این شاخص ۷۶/۹ درصد بود. همان گونه که بیان شد در هر دو شرایط آبیاری، تیمار ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار توانسته موجب افزایش عملکرد شلتوک شود ولی میزان این تأثیر در شرایط آبیاری تناوبی به مراتب بیشتر از غرقاب بوده است. گمان می‌رود کاربرد هم‌زمان کود شیمیایی و بایوچار به دلیل فراهمی بهتر آب و عناصر غذایی به ویژه نیتروژن سبب تحریک رشد و بهبود وزن خشک گیاه و در پی آن افزایش عملکرد برنج گردیده است. عارف و همکاران (۷) نیز بالاترین عملکرد بیولوژیک را در تیمار بایوچار به همراه کود شیمیایی و کمترین عملکرد بیولوژیک را در تیمار بایوچار تنها گزارش کردند. در پژوهشی با عنوان بررسی پیامد بایوچار، کمپوست و کود شیمیایی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم مشخص شد که بیشترین تأثیر بایوچار در کاربرد آن به همراه کود شیمیایی و کمپوست است. پژوهش‌های گوناگونی پیامد افزایشی بایوچار در ترکیب با کودهای آلی و معدنی را نشان داده است (۱۶). افزایش عمل کرد در تیمارهای دارای بایوچار و کود به دلیل تأثیر بایوچار در نگهداری عناصر غذایی و جلوگیری از آب شویی و تصعید نیتروژن و در نتیجه دسترس سی‌بهتر گیاه به عناصر غذایی عنوان شده است. مصرف هم‌زمان بایوچار و کود شیمیایی بهتر از مصرف هر یک از این مواد به تنهایی بود که در پژوهش‌های دیگر (۷ و ۱۳) هم نشان داده شده است.

باعث تولید بیشترین عملکرد شلتوک در آبیاری تناوبی گردید. به دلیل آنکه در شیوه آبیاری تناوبی گیاه برنج بخشی از طول فصل رشد را در شرایط کم آبی سپری می‌کند، پس پیش‌بینی این است که عملکرد در مقایسه با شرایط غرقاب کمتر باشد (۳۳). توکلی و همکاران (۴۰) نیز بیشترین عملکرد شلتوک را در حالت غرقاب دائم مشاهده شد. با وجود این که کم آبیاری یک راهبرد بهینه و برتر برای تولید محصول در شرایط کمبود آب است، اما نخستین پیامد آن کاهش محصول در واحد سطح است. در همین راستا مقایسه بین کمترین عملکرد شلتوک که در هر دو شیوه غرقاب و تناوب آبیاری در تیمار مصرف ۵۰ درصد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون مصرف باکتری بدست آمد، نشان دهنده کاهش حدود ۵۴ درصدی عملکرد شلتوک در آبیاری تناوبی نسبت به غرقاب می‌باشد. این درحالی است که مقایسه بین بیشترین عملکرد شلتوک در دو شیوه آبیاری غرقاب و تناوبی (در غرقاب در تیمار ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار همراه با باکتری و در آبیاری تناوبی در تیمار ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار بدون مصرف باکتری) نشان دهنده ۸/۲ درصد کاهش عمل کرد شلتوک در آبیاری تناوبی نسبت به غرقاب می‌باشد. بر اساس یافته‌ها کاربرد ترکیب کودی از یک سو میزان اختلاف عمل کرد شلتوک را بین دو شیوه آبیاری کمتر کرده است و از سوی دیگر موجب کاهش مصرف کود نیتروژن شده که این امر نشان دهنده تأثیر مثبت آن می‌باشد (جدول ۴). به نظر می‌رسد بایوچار با افزایش گنجایش نگهداری آب در خاک توانسته است کاهش عمل کرد شلتوک برنج در شرایط آبیاری تناوبی نسبت غرقاب را جبران کند. در همین زمینه کورنلیسون و همکاران (۱۴) تأثیر بایوچار بر ویژگی‌های فیزیکی خاک را در سه خاک با بافت سبک، سنگین و متوسط بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد که استفاده از بایوچار در خاک موجب افزایش آب قابل دسترس گیاه در هر سه خاک مورد آزمایش شد. آب قابل دسترس گیاه در خاک با بافت شنی بیشترین افزایش (از ۱۷ به ۲۱ درصد) و در خاک با بافت رسی سیلتی کمترین افزایش (۲۲ به ۲۴ درصد) را داشت.

با بررسی نتایج همچنین مشخص شد که در شیوه آبیاری غرقاب، زمانی که باکتری مورد استفاده قرار نگرفت، ترکیب ۷۵ درصد نیتروژن + ۱۰ تن بایوچار بهترین ترکیب کود در بالاترین عمل کرد شلتوک بود. در حالی که با مایه‌زنی باکتری ترکیب ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار عملکرد بالایی را نشان داد. همچنین در آبیاری تناوبی زمانی که مایه‌زنی باکتری نشده بود، ترکیب ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار بهترین ترکیب کودی برای بالاترین عملکرد شلتوک بود. و در صورت به کارگیری باکتری ترکیب ۵۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار بالاترین عملکرد شلتوک را نشان داد. مشاهده می‌شود که در سطوح پایین تر مصرف نیتروژن کارایی باکتری برای دست‌یابی به عملکرد بالاتر بهتر از سطوح بالای مصرف نیتروژن بوده و کارایی مصرف باکتری در سطوح پایین تر مصرف نیتروژن در آبیاری تناوبی

جدول ۳- آنالیز واریانس مرکب طرح کرت های دوبار خرد شده در دو سال
Table 3- Combined analysis of variance of split-split plot design in two years

منبع تغییرات (S.O.V)	درجه ازادی (Df)	میانگین مربعات Mean Squares				
		عملکرد (Yeild)	آب (Water)	CPD	BPD	NBPD
سال (Year)	1	159494.42 ^{ns}	172381.5 ^{**}	0.01035421 ^{ns}	37275153 ^{ns}	2835278921 ^{**}
بلوک (سال) (Block)	4	66064.86	3413.1	0.00044039	1585410	2073364
شیوه آبیاری (Irrigation method)	1	34188587.28 ^{**}	502469209 ^{**}	1.82863011 ^{**}	6583068381 ^{**}	5085794960 ^{**}
سال × شیوه آبیاری (Year* Irrigation method)	1	23.52 ^{ns}	216 ^{ns}	0.00091670 ^{ns}	3300124 ^{ns}	2434668844 ^{**}
بلوک × شیوه آبیاری (سال) (Block* Irrigation method) (Year)	4	144153.21	477.1	0.00286733	10322371	8294234
کود (Fertilizer)	8	11910461.80 ^{**}	12295462.5 ^{**}	88710929 ^{**}	3193593450 ^{**}	2374134038 ^{**}
سال × کود (Year* Fertilizer)	8	206.39 ^{ns}	212.3 ^{ns}	0.00008827 ^{ns}	317756 ^{ns}	469510931 ^{**}
شیوه آبیاری × کود (Irrigation method* Fertilizer)	8	2245504 ^{**}	2135257.7 ^{**}	0.32491656 ^{**}	1169699617 ^{**}	1312819880 ^{**}
سال × شیوه آبیاری × کود (Year*Irrigation method* Fertilizer)	8	7.23 ^{ns}	4.31 ^{ns}	0.00005258 ^{ns}	189279 ^{ns}	469893469 ^{**}
بلوک × کود (سال × شیوه آبیاری) (Block* Fertilizer) (Year*Irrigation method)	64	149853.53	6033.5	0.00421456	15172406	11385157
باکتری (Bactria)	1	5581072.83 ^{**}	47704.2 ^{**}	0.09197787 ^{**}	331120320 ^{**}	432339115 ^{**}
سال × باکتری (Year* Bactria)	1	91.36 ^{ns}	88.2 ^{ns}	0.00002719 ^{ns}	97886 ^{ns}	34125837 ^{ns}
کود × باکتری (Fertilizer* Bactria)	8	6374198.05 ^{**}	9742.2 [*]	0.13898126 ^{**}	500332422 ^{**}	315029556 ^{**}
سال × کود × باکتری (Year* Fertilizer* Bactria)	8	1024.83 ^{ns}	1023.9 ^{ns}	0.00005642 ^{ns}	203120 ^{ns}	20335158 [*]
شیوه آبیاری × کود × باکتری (Irrigation method* Fertilizer* Bactria)	9	2643906.69 ^{**}	7305 ^{ns}	0.06955492 ^{**}	250397698 ^{**}	171661196 ^{**}
سال × شیوه آبیاری × کود × باکتری (Year*Irrigation method* Fertilizer* Bactria)	9	6.67 ^{ns}	3.72 ^{ns}	0.00000527 ^{ns}	18984 ^{ns}	22499509 [*]
خطای آزمایش (Error)	72	108124.60	3852.7	0.00304726	10970127	8991320
ضریب تغییرات (CV)		8.11	0.876287	9.003233	9.002323	10.73862

* و ** به ترتیب نشان دهنده معنی دار بودن در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد و ns به معنای غیر معنی دار بودن می باشد.

*and **: significant at 5 and 1% levels of probability, respectively; ns: not significant.

(جدول ۵) مشخص شد که در آبیاری غرقابی کمترین میزان مصرف آب مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار بوده است که البته تفاوت معنی داری با تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار از خود نشان نداده است. کمترین میزان آب مصرفی در شیوه آبیاری تناوبی مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار بوده است که البته تفاوت معنی داری با تیمار ۷۵ درصد نیتروژن

آب مصرفی

با توجه به جدول تجزیه واریانس داده ها (جدول ۳) مشخص شد که پیامدهای ساده شیوه آبیاری، کود و باکتری و برهم کنش دوگانه شیوه آبیاری × کود در سطح احتمال یک درصد و برهم کنش دوگانه کود × باکتری در سطح احتمال پنج درصد بر آب مصرفی معنی دار بود. با بررسی جدول مقایسه میانگین برهم کنش کود در شیوه آبیاری

مزرعه را به مدت بیشتری حفظ کند و موجب کاهش دفعات آبیاری و در پی آن کاهش مصرف آب گردد. در ضمن در تمامی تیمارهای کودی به غیر از ۱۰۰ درصد نیتروژن + ۱۰ تن بایوچار و ۷۵ درصد نیتروژن + بدون بایوچار تفاوت معنی داری بین مایه‌زنی کردن و نکردن نشای برنج با باکتری در میزان آب مصرفی وجود نداشت.

CPD و BPD

به دلیل آنکه شاخص BPD حاصل ضرب عملکرد شلتوک در قیمت آن تقسیم بر آب مصرفی است، بنابراین از لحاظ مقایسه میانگین تفاوتی با شاخص CPD ندارد و تفاوت بین میانگین‌های آنها یکی است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که پیامدهای ساده شیوه آبیاری، کود و باکتری و برهم‌کنش‌های دوگانه شیوه آبیاری × کود و کود × باکتری و برهم‌کنش سه‌گانه شیوه آبیاری × کود × باکتری در سطح احتمال یک درصد بر شاخص CPD و BPD معنی‌دار بود (جدول ۳).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴ و ۷) معلوم گردید که در آبیاری غرقاب بیشترین مقدار CPD (۰/۷۳۶۹) و BPD (۴۴۲۱۶) مربوط به تیمار ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و به همراه مصرف باکتری بود. در حالی که بیشترین میزان CPD (۱/۲۸۹۱) و BPD (۷۷۳۴۴) در آبیاری تناوبی مربوط به تیمار ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و بدون مصرف باکتری بدست آمد. که البته تفاوت معنی‌داری با تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار در هر دو شاخص وجود نداشت. کمترین میزان این دو شاخص در هر دو شیوه آبیاری مربوط به تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون مصرف باکتری بود. در حقیقت شاخص CPD نشان‌دهنده میزان کیلوگرم عملکرد تولید شده در ازای یک متر مکعب آب مصرفی شده می‌باشد بنابراین هر چه این نسبت بالاتر باشد نشان‌دهنده مصرف بهتر آب است، اما لزوماً نشان‌دهنده سود اقتصادی بیشتر نمی‌تواند باشد. چاودری و همکاران (۱۳) نیز در آزمایش‌های خود به تأثیر بیشتر تیمارهای دارای ترکیب کود شیمیایی و بایوچار نسبت به تیمارهای دارای کود شیمیایی بدون کاربرد بایوچار بر افزایش عملکرد محصول اشاره کرده و دلیل این امر را جلوگیری از آب شویی عناصر غذایی در تیمارهای دارای بایوچار عنوان کردند. اگر تمام عناصر غذایی به مقدار کافی در خاک موجود بوده و خاک حاصل‌خیز باشد تفاوت کمی بین تیمارهای دارای بایوچار و تیمارهای شاهد مشاهده شده است و تفاوت‌ها در خاک‌های تخریب شده و کم حاصل‌خیز بیشتر قابل مشاهده بوده است (۱۳).

در آبیاری غرقاب تفاوت بین کمترین (۵۰ درصد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون مصرف باکتری) و بیشترین (۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و مصرف باکتری) میزان شاخص CPD، ۵۸/۸ درصد بود.

+ ۲۰ تن بایوچار از خود نشان نداده است. بیشترین میزان مصرف آب در شیوه آبیاری تناوبی به تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + بدون بایوچار و در آبیاری غرقابی مربوط به تیمار ۷۵ درصد نیتروژن + بدون بایوچار بوده است. کرر و همکاران (۲۲) گزارش کرده‌اند که کاربرد بایوچار چوب‌راش در خاک با بافت لوم رسی آب قابل دسترس گیاه را به طور معنی‌داری افزایش داده اما در خاک با بافت لوم سیلتی اختلاف معنی‌داری بین تیمار شاهد با دیگر تیمارها مشاهده نشده. در آبیاری غرقاب مقایسه بین کمترین میزان مصرف آب (۲۰ تن بایوچار + ۱۰۰ درصد نیتروژن) با بیشترین میزان مصرف آب (بدون بایوچار + ۵۰ درصد نیتروژن) در آبیاری تناوبی و ۷۵ درصد نیتروژن + بدون بایوچار در غرقاب) نشان از کاهش ۱۲/۶ درصدی مصرف آب داشت درحالی که همین مقایسه در آبیاری تناوبی کاهش ۵۲/۴ درصدی مصرف آب را نشان داد. در واقع در هر دو شیوه آبیاری با افزایش مصرف بایوچار میزان آب مصرفی کاهش معنی‌داری داشت که این میزان کاهش در مصرف آب در آبیاری تناوبی به مراتب بیشتر بود. البورکرکی و همکاران (۲) نیز با بررسی پیامدهای پنج نوع بایوچار متفاوت (هسته زیتون، پوسته بادام، کاه گندم، خرده چوب کاج و چوب زیتون) در یک خاک با بافت شن لومی دریافتند که کاربرد بایوچار بطور کلی رطوبت گنجایش زراعی را بطور معنی‌داری افزایش داده و بیشترین افزایش مربوط به بایوچار کاه گندم و خرده چوب کاج بود. لیو و همکاران (۲۸) و اتکینسون و همکاران (۸) نیز به نتایج مشابهی دست یافته‌اند. کینی و همکاران (۲۴) گزارش کردند که با کاربرد بایوچار در خاک شنی اندازه آب در گنجایش زراعی (FC) ۲۵ درصد افزایش یافت و این افزایش به منبع بایوچار و روش تهیه آن بستگی داشت. در خاک درشت بافت به علت اندازه کم ماده آلی گنجایش نگاه‌دار آب پایین بود و با افزودن بایوچار به خاک‌های شنی خلل و فرج ریز افزایش یافته و رطوبت خاک نیز افزایش می‌یابد. متخلخل بودن بایوچار و دارا بودن یک سطح ویژه بالا می‌تواند دلیلی برای افزایش نگاه‌داشت آب در خاک در پی کاربرد آن باشد.

در مقایسه میانگین پیامد برهم‌کنش باکتری و کود (جدول ۶) مشخص شد که کمترین میزان آب مصرفی مربوط به تیمار ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار با مصرف باکتری بود که البته تفاوت معنی‌داری با تیمارهای ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و بدون مصرف باکتری و ۱۰۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار با مصرف و بدون مصرف باکتری نداشت. در واقع می‌توان گفت که مصرف باکتری تأثیر معنی‌داری بر میزان آب مصرفی نداشته است. بیشترین میزان آب مصرفی مربوط به تیمار ۷۵ درصد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون باکتری بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون باکتری نداشت. که نشان‌دهنده تأثیر بایوچار در نگهداشت و حفظ آب در خاک می‌باشد در واقع بایوچار به دلیل گنجایش بالای نگاه‌داری آب در خود توانسته میزان آب موجود در

حاصل خیز دیده نشد، در حالی که در خاک‌های ضعیف ۱۶ تا ۳۵ درصد افزایش در عملکرد م مشاهده گردید (۱۴). ازوما و همکاران (۴۲) نیز در پژوهشی گزارش کردند کاربرد ۱۰، ۱۵ و ۲۰ تن در هکتار بایوچار کود گاوی در یک خاک شنی کارایی مصرف آب ذرت را به طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد به ترتیب به میزان ۶، ۱۳۹ و ۹۱ درصد افزایش داد.

در آبیاری تناوبی تفاوت بین کمینه (۵۰ درصد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون مصرف باکتری) و بیشینه (۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و بدون مصرف باکتری) این شاخص ۸۴/۹ درصد بود. همان‌گونه که بیان شد در هر دو شرایط آبیاری، تیمار ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار توانسته موجب افزایش بهره‌وری آب شود ولی میزان این تاثیر در شرایط آبیاری تناوبی بهتر بوده است. در پژوهش کرنلیسن و همکاران (۱۴) هیچ تأثیر مثبتی از بایوچار بر ذرت در خاک‌های

جدول ۴- مقایسه میانگین پیامد برهم‌کنش کود در باکتری، برش خرده بر اساس شیوه آبیاری برای عملکرد برنج و CPD

Table 4- Mean comparison of the interaction effect of irrigation method, fertilizer and bacteria, fractional cut according to irrigation method for rice yield and CPD

کود Fertilizer	عملکرد برنج Rice yeild Kg/ha				CPD			
	آبیاری غرقابی (Flood irrigation)		آبیاری تناوبی (alternative irrigation)		آبیاری غرقابی (Flood irrigation)		آبیاری تناوبی (alternative irrigation)	
	بدون باکتری (No bacteria)	با باکتری (With bacteria)	بدون باکتری (No bacteria)	با باکتری (With bacteria)	بدون باکتری (No bacteria)	با باکتری (With bacteria)	بدون باکتری (No bacteria)	با باکتری (With bacteria)
نیتروژن ۵۰+بایوچار ۰ (Nitrogen 50+ 0 Biochar)	2755.26 ^j	4952.51 ^c	1258.45 ^j	3122.68 ^h	0.3033 ^k	0.5439 ^{defg}	0.1937 ^j	0.4858 ^h
نیتروژن ۵۰+بایوچار ۱۰ (Nitrogen 50+ 10 Biochar)	3133.84 ^{ij}	4838.01 ^c	3939.50 ^{de}	3839.41 ^{de}	0.3606 ^{jk}	0.5577 ^{defg}	0.6518 ^e	0.637 ^e
نیتروژن ۵۰+بایوچار ۲۰ (Nitrogen 50+ 20 Biochar)	4964.61 ^c	4404.82 ^{def}	5330.78 ^a	4756.24 ^b	0.6089 ^{cd}	0.5403 ^{efg}	1.2408 ^a	1.1069 ^b
نیتروژن ۷۵+بایوچار ۰ (Nitrogen 75+ 0 Biochar)	4097 ^{fg}	3330.59 ^{hi}	3400.82 ^{fgh}	1962.51 ⁱ	0.447 ^{hi}	0.3671 ^{jk}	0.522 ^{gh}	0.3073 ⁱ
نیتروژن ۷۵+بایوچار ۱۰ (Nitrogen 75+ 10 Biochar)	5494.30 ^b	4290.36 ^{ef}	3410.79 ^{fgh}	4400.78 ^{bc}	0.6368 ^{bc}	0.4969 ^{gh}	0.5662 ^{fg}	0.7404 ^d
نیتروژن ۷۵+بایوچار ۲۰ (Nitrogen 75+ 20 Biochar)	4727.90 ^{cd}	5959.43 ^a	5457.84 ^a	4036.86 ^{cd}	0.5857 ^{cde}	0.7369 ^a	1.2891 ^a	0.9684 ^c
نیتروژن ۱۰۰+بایوچار ۰ (Nitrogen 100+ 0 Biochar)	3706.65 ^{sh}	4625.17 ^{cde}	2346.94 ⁱ	3390.99 ^{fgh}	0.4105 ^{ij}	0.5072 ^{fgh}	0.3646 ⁱ	0.5302 ^{gh}
نیتروژن ۱۰۰+بایوچار ۱۰ (Nitrogen 100+ 10 Biochar)	4947.05 ^c	4269.35 ^{ef}	3774.35 ^{def}	3571.45 ^{efg}	0.5737 ^{cdef}	0.4983 ^{gh}	0.6308 ^{ef}	0.6054 ^{ef}
نیتروژن ۱۰۰+بایوچار ۲۰ (Nitrogen 100+ 20 Biochar)	4132.94 ^f	5554.51 ^{ab}	3241.70 ^{sh}	4610.81 ^b	0.5123 ^{fgh}	0.6931 ^{ab}	0.7672 ^d	1.0852 ^b

میانگین‌های با حروف مشابه در هر دو ستون کنار هم نشان دهنده نبود تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است.

Means with similar letters in each two columns, are not significantly different at P<0.05 level of probability.

جدول ۵- مقایسه میانگین برهم‌کنش کود در شیوه آبیاری بر آب مصرف شده

Table 5- Mean comparison of the interaction effect of fertilizer and irrigation method on used water

کود Fertilizer	آب مصرف شده (Used Water) m ³ /ha	
	آبیاری غرقابی (Flood irrigation)	آبیاری تناوبی (Alternative irrigation)
نیتروژن ۵۰+بایوچار ۰ (Nitrogen 50+ 0 Biochar)	9102.92 ^a	6454.42 ^a
نیتروژن ۵۰+بایوچار ۱۰ (Nitrogen 50+ 10 Biochar)	8781.75 ^b	6038.58 ^b
نیتروژن ۵۰+بایوچار ۲۰ (Nitrogen 50+ 20 Biochar)	8115.58 ^d	4297.42 ^d
نیتروژن ۷۵+بایوچار ۰ (Nitrogen 75+ 0 Biochar)	9115 ^a	6450.67 ^a
نیتروژن ۷۵+بایوچار ۱۰ (Nitrogen 75+ 10 Biochar)	8634.5 ^{bc}	5985.83 ^{bc}
نیتروژن ۷۵+بایوچار ۲۰ (Nitrogen 75+ 20 Biochar)	8092.75 ^d	4201.25 ^e
نیتروژن ۱۰۰+بایوچار ۰ (Nitrogen 100+ 0 Biochar)	9075.25 ^{ab}	6417.92 ^a
نیتروژن ۱۰۰+بایوچار ۱۰ (Nitrogen 100+ 10 Biochar)	8597.17 ^c	5941.83 ^c
نیتروژن ۱۰۰+بایوچار ۲۰ (Nitrogen 100+ 20 Biochar)	8081.5 ^d	4234.83 ^e

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده نبود تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است.

Means with similar letters in each column, are not significantly at P<0.05 level of probability.

به تیمارهای بدون بایوچار و آبیاری براساس ۱۰۰٪ نیاز آبی برخوردار بودند. آنان دلیل این امر را افزایش گنجایش نگهداری آب و مصرف آب کمتر و همچنین کاهش آب‌شویی عناصر غذایی در تیمارهای دارای بایوچار عنوان کردند. البته پیامد بایوچار در بهبود نفوذ آب در خاک و نگهداری آب در خاک توسط پژوهش‌گران دیگری نیز گزارش شده است (۴۷).

در شاخص BPD نیز مشخص گردید که در شرایط تیمار کودی شاهد (تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون مصرف باکتری)، آبیاری تناوبی اگرچه موجب کاهش مصرف آب نسبت به آبیاری غرقابی می‌شود، ولی به دلیل افت شدید عملکرد در آبیاری تناوبی، سود ناخالص اقتصادی در ازای مصرف یک متر مکعب آب، کاهش شدید (افت ۵۶/۵ درصد نسبت به حالت غرقابی) پیدا کرد، این در حالی است که اعمال تیمار کودی ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار موجب افزایش ۴۲/۸ درصدی سود اقتصادی نسبت به آبیاری غرقابی شد. (جدول ۷) این امر نشان دهنده تاثیر مثبت تیمار کودی در افزایش میزان سود اقتصادی به میزان آب مصرفی است. و موجب توجیه اقتصادی آبیاری تناوبی (که همراه با کاهش مصرف آب است) می‌باشد.

لازم به ذکر است که مقایسه بین بیشترین CPD در دو شیوه آبیاری غرقابی و تناوبی (در غرقابی در تیمار ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار همراه با باکتری و در تناوب در تیمار ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار بدون مصرف باکتری) نشان دهنده ۴۲/۸ درصد افزایش CPD در تناوب نسبت به غرقابی می‌باشد. این در حالی است که مقایسه بین کمترین CPD در دو شیوه آبیاری غرقابی و تناوبی (هر دو در تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون مصرف باکتری) نشان دهنده ۵۶/۵ درصد کاهش CPD در آبیاری تناوبی نسبت به غرقابی می‌باشد. در واقع این مقایسه نشان دهنده این است که در شرایط تیمار کودی شاهد، آبیاری تناوبی اگرچه موجب کاهش مصرف آب نسبت به آبیاری غرقابی می‌شود، ولی به دلیل افت شدید عملکرد در آبیاری تناوبی، شاخص بهره‌وری آب CPD کاهش شدید (افت ۵۶/۵ درصد نسبت به حالت غرقابی) پیدا می‌کند. در سوی دیگر، افزایش شاخص بهره‌وری در روش آبیاری تناوب نسبت به غرقابی نشان دهنده تاثیر مثبت تیمار کودی بر CPD است. در پژوهش ابراهیم و همکاران (۱۹) چهار سطح مختلف بایوچار با دو سطح نیاز آبیاری (۸۰٪ و ۱۰۰٪ نیاز آبی) بر عمل کرد و اجزای عملکرد گندم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آنان نشان داد که تیمارهای دارای بایوچار با آبیاری براساس ۸۰ درصد نیاز آبی از عملکرد بالاتری نسبت

NBPD

با توجه به جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) مشخص شد تمامی پیامدهای ساده و برهم‌کنش دو گانه و سه گانه به جز پیامد سال \times باکتری در سطح احتمال یک درصد بر شاخص NBPD معنی‌دار بود. همچنین برهم‌کنش ۴ گانه سال \times شیوه آبیاری \times کود \times باکتری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). به دلیل پیچیدگی بیش از حد، تحلیل برهم‌کنش چهار گانه تفسیر نشد و درباره این شاخص به تفسیر برهم‌کنش سه‌گانه شیوه آبیاری \times کود \times باکتری، اکتفا شد. جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۷) نشان داد که در شیوه آبیاری غرقاب بیشترین مقدار NBPD (۳۴۳۰۹) مربوط به تیمار ۷۵ در صد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و به همراه مصرف باکتری بود. این در حالی است که بیشترین میزان همین شاخص (۶۷۴۱۲) در آبیاری تناوبی مربوط به تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و بدون مصرف باکتری بدست آمد. که البته تفاوت آماری معنی‌داری با تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و با مصرف باکتری نداشت. کمترین میزان این شاخص در هر دو روش آبیاری غرقاب (۱۱۶۰۰) و تناوبی (۸۵۲۰/۱۴) مربوط به تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون مصرف باکتری بود.

شاخص NBPD نشان دهنده میزان درآمد خالص بدست آمده در ازای یک متر مکعب آب مصرف شده است و بنابراین، هر چه این نسبت بالاتر باشد نشان دهنده مصرف بهتر آب و سود اقتصادی خالص بیشتر می‌باشد. در واقع بهترین شاخص برای مقایسه دو شیوه آبیاری و تیمارهای کودی در بهره‌وری مصرف آب شاخص NBPD است. در آبیاری غرقاب تفاوت بین کمترین (۵۰ درصد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون مصرف باکتری) و بیشترین (۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و مصرف باکتری) میزان شاخص NBPD، ۶۶/۱ درصد بود. در واقع تیماری کودی ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و با مایه‌زنی باکتری توانسته به ازای هر متر مکعب آب بکار رفته مبلغ ۲۲۷۰۹ ریال سود خالص بیشتری را در شرایط آبیاری غرقاب ایجاد کند. در آبیاری تناوبی اختلاف بین کمینه (۵۰ درصد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون مصرف باکتری) و بیشینه (۵۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و بدون مصرف باکتری) این شاخص ۸۷/۳ درصد است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تیماری کودی ۵۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و بدون مصرف باکتری توانسته به ازای هر متر مکعب آب استفاده شده مبلغ ۵۸۸۹۱ ریال سود خالص بیشتری را ایجاد کند. بنابراین در هر دو شرایط آبیاری، تیمار کودی توانسته، NBPD را بهبود بخشد اما کارایی آن در شرایط تناوب به مراتب بیشتر بوده است. در پژوهشی مشابه اختر و همکاران (۱) گزارش کردند که روش‌های کم آبیاری و آبیاری در ناحیه ریشه در مقایسه با آبیاری کامل، به ترتیب سبب افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب در گوجه فرنگی به میزان ۳۵ و ۱۵ درصد افزایش شدند. آنان همچنین گزارش کردند

کاربرد بایوچار به دست آمده از ترکیب پوسته برنج و دانه کتان سبب افزایش کارایی مصرف آب در همه تیمارهای آبیاری در مقایسه با شرایط بدون بایوچار شد. از آنجا که در شرایط آبیاری تناوبی، گیاه برنج بخشی از فصل رشد را در شرایط کمبود آب سپری می‌کند، پیش‌بینی کاهش مصرف آب و در پی آن افزایش شاخص NBPD نسبت به شرایط غرقاب، می‌شود. از سویی کاهش مصرف آب در آبیاری تناوبی موجب کاهش نسبی عملکرد شلتوک می‌شود. در این بین مقایسه بین بیشترین NBPD در دو شیوه آبیاری غرقاب و تناوب (در غرقاب در تیمار ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و به همراه مصرف باکتری و در آبیاری تناوبی در ۵۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و بدون مصرف باکتری) نشان دهنده ۴۹/۱ درصد افزایش NBPD در آبیاری تناوبی نسبت به غرقاب می‌باشد. این در حالی است که مقایسه بین کمترین NBPD که در هر دو شیوه آبیاری غرقاب و تناوب در تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون مصرف باکتری بدست آمد، نشان دهنده کاهش ۳۶/۱ درصدی NBPD در آبیاری تناوبی نسبت به غرقاب بود. مشاهده شد که در شرایط تیمار کودی شاهد (۱۰۰ درصد نیتروژن توصیه شده و بدون مصرف بایوچار)، آبیاری تناوبی اگرچه موجب کاهش مصرف آب نسبت به آبیاری غرقاب شد ولی به دلیل افت عملکرد در آبیاری تناوبی، سود خالص اقتصادی در ازای مصرف یک متر مکعب آب، منفی (افت ۳۶/۱ درصد نسبت به حالت غرقاب) بود. این در حالی است که اعمال تیمار کودی ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار موجب افزایش ۴۲/۸ درصدی سود اقتصادی به میزان آب مصرفی نسبت به آبیاری غرقاب شد. این امر نشان دهنده تاثیر مثبت و چشم‌گیر تیمار کودی در افزایش میزان سود اقتصادی خالص به میزان آب مصرفی در آبیاری تناوبی می‌باشد و بنابراین آبیاری تناوبی را از لحاظ اقتصادی توجیه می‌کند. به طوری که این توجیه اقتصادی در تیمار شاهد (۱۰۰ درصد نیتروژن توصیه شده و بدون مصرف بایوچار) در آبیاری تناوبی مشاهده نمی‌شود، گرچه با کاهش مصرف آب همراه است. البته تاثیر مثبت تیمار کودی ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و به همراه مصرف باکتری بر روی سود اقتصادی خالص به ازای متر مکعب آب مصرفی (NBPD) در آبیاری غرقاب نیز نسبت به شاهد (۱۰۰ درصد نیتروژن توصیه شده و بدون مصرف بایوچار) مشاهده شده است. ولی اندازه این تاثیر به مراتب کمتر از آبیاری تناوبی بوده است.

در همین راستا ژانگ و همکاران (۵۰) گزارش کردند کاربرد ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار بایوچار تولید شده از کاه گندم، عملکرد ذرت را به ترتیب به میزان ۱۱/۶ و ۱۸/۲ درصد در شرایط کاربرد کود نیتروژن و به میزان ۷ و ۱۶ درصد در شرایط بدون کاربرد نیتروژن افزایش داد. ژانگ و همکاران در سال ۲۰۱۰ (۴۹) نیز افزایش عملکرد ذرت در تیمارهای بایوچار را به افزایش فراهمی عناصر غذایی و بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند کاهش چگالی ظاهری نسبت دادند. بایوچار

عملکرد برنج و همچنین کاهش مصرف آب و متعاقب آن افزایش شاخص‌های بهره‌وری مصرف آب در کشت برنج شده است، که البته میزان این تاثیرگذاری در آبیاری تناوبی چشم‌گیر تر بوده است. در واقع می‌توان گفت که استفاده از ترکیب کودی بایوچار و نیتروژن توانسته کاهش عملکرد ناشی از کاهش مصرف آب در آبیاری تناوبی را نسبت به آبیاری غرقاب تا اندازه زیادی جبران کند.

با پیامد مثبت بر کارایی مصرف منابع و نهاده‌های کشاورزی و عملکرد گیاهان زراعی به دلیل سطح ویژه بالا در بهبود راندمان تولیدات زراعی موثر است (۳۶).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت که کاربرد ترکیب کودی ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار با افزایش نگره داشت آب در خاک و جلوگیری از آبشویی و تصعید نیتروژن موجب افزایش

جدول ۶- مقایسه میانگین برهم‌کنش کود در باکتری بر آب مصرف شده

Table 6- Mean comparison of the interaction effect of fertilizer and bacteria on used water

کود (Fertilizer)	باکتری (Bacteria)	آب مصرف شده m ³ /ha (Used water)
		آب مصرفی
	بدون باکتری (No bacteria)	7788 ^{ab}
نیتروژن ۵۰+بایوچار ۰ (Nitrogen 50+ 0 Biochar)	با باکتری (With bacteria)	7769.33 ^{bc}
	بدون باکتری (No bacteria)	7367 ^d
نیتروژن ۵۰+بایوچار ۱۰ (Nitrogen 50+ 10 Biochar)	با باکتری (With bacteria)	7353.33 ^{de}
	بدون باکتری (No bacteria)	6226 ^h
نیتروژن ۵۰+بایوچار ۲۰ (Nitrogen 50+ 20 Biochar)	با باکتری (With bacteria)	6227 ^h
	بدون باکتری (No bacteria)	7839.33 ^a
نیتروژن ۷۵+بایوچار ۰ (Nitrogen 75+ 0 Biochar)	با باکتری (With bacteria)	7726.33 ^c
	بدون باکتری (No bacteria)	7329.17 ^{def}
نیتروژن ۷۵+بایوچار ۱۰ (Nitrogen 75+ 10 Biochar)	با باکتری (With bacteria)	7291.17 ^{fg}
	بدون باکتری (No bacteria)	6151.5 ⁱ
نیتروژن ۷۵+بایوچار ۲۰ (Nitrogen 75+ 20 Biochar)	با باکتری (With bacteria)	6122.5 ⁱ
	بدون باکتری (No bacteria)	7734.83 ^{bc}
نیتروژن ۱۰۰+بایوچار ۰ (Nitrogen 100+ 0 Biochar)	با باکتری (With bacteria)	7758.33 ^{bc}
	بدون باکتری (No bacteria)	7303.67 ^{ef}
نیتروژن ۱۰۰+بایوچار ۱۰ (Nitrogen 100+ 10 Biochar)	با باکتری (With bacteria)	7235.33 ^g
	بدون باکتری (No bacteria)	6143.83 ⁱ
نیتروژن ۱۰۰+بایوچار ۲۰ (Nitrogen 100+ 20 Biochar)	با باکتری (With bacteria)	6132.5 ⁱ

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده نبود تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است.

Means with similar letters in each column, are not significantly at P<0.05 level of probability.

جدول ۷- مقایسه میانگین برهم‌کنش کود در باکتری، برش خورده بر اساس شیوه آبیاری بر BPD و NBPD
 Table 7- Mean comparison of the interaction effect of irrigation method, fertilizer and bacteria, fractional cut according to irrigation method on BPD and NBPD

کود (Fertilizer)	BPD				NBPD			
	آبیاری غرقابی (Flood irrigation)		آبیاری تناوبی (Alternative irrigation)		آبیاری غرقابی (Flood irrigation)		آبیاری تناوبی (Alternative irrigation)	
	بدون باکتری (No bacteria)	با باکتری (With bacteria)	بدون باکتری (No bacteria)	با باکتری (With bacteria)	بدون باکتری (No bacteria)	با باکتری (With bacteria)	بدون باکتری (No bacteria)	با باکتری (With bacteria)
نیترژن ۵۰+۰+بیوچار (Nitrogen 50+ 0 Biochar)	18197 ^k	32636 ^{defg}	11621 ^j	29149 ^h	11600 ^k	26050 ^{de}	8520.14 ^j	25241 ^f
نیترژن ۵۰+۱۰+بیوچار (Nitrogen 50+ 10 Biochar)	21638 ^{jk}	33464 ^{defg}	39109 ^e	38217 ^e	13582 ^{jk}	25395 ^{de}	34951 ^d	33220 ^{de}
نیترژن ۵۰+۲۰+بیوچار (Nitrogen 50+ 20 Biochar)	36531 ^{cd}	32417 ^{efg}	74450 ^a	66412 ^b	26721 ^{cd}	22607 ^{efg}	67412 ^a	66412 ^a
نیترژن ۷۵+۰+بیوچار (Nitrogen 75+ 0 Biochar)	26823 ^{hi}	22026 ^{jk}	31318 ^{gh}	18436 ⁱ	20275 ^{gh}	15407 ^{ij}	18956 ^h	13924 ⁱ
نیترژن ۷۵+۱۰+بیوچار (Nitrogen 75+ 10 Biochar)	38208 ^{bc}	29811 ^{gh}	33974 ^{fg}	44422 ^d	30096 ^{bc}	21708 ^{fg}	25617 ^f	33435 ^{de}
نیترژن ۷۵+۲۰+بیوچار (Nitrogen 75+ 20 Biochar)	35145 ^{cde}	44216 ^a	77344 ^a	58106 ^c	25229 ^{def}	34309 ^a	58159 ^b	43773 ^c
نیترژن ۱۰۰+۰+بیوچار (Nitrogen 100+ 0 Biochar)	24627 ^{ij}	30432 ^{gh}	21877 ⁱ	31811 ^{gh}	17984 ^{hi}	23852 ^{defg}	14735 ⁱ	21265 ^{gh}
نیترژن ۱۰۰+۱۰+بیوچار (Nitrogen 100+ 10 Biochar)	34422 ^{cdef}	29896 ^{gh}	37845 ^{ef}	36323 ^{ef}	26305 ^d	21728 ^{fg}	25328 ^f	24437 ^{fg}
نیترژن ۱۰۰+۲۰+بیوچار (Nitrogen 100+ 20 Biochar)	30738 ^{fgh}	41585 ^{ab}	46031 ^d	65112 ^b	20822 ^{gh}	31603 ^{ab}	30857 ^e	43717 ^c

میانگین‌های با حروف مشابه در هر دو ستون کنار هم نشان دهنده نبود تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد است
 Means with similar letters in each tow column, are not significantly different at P<0.05 level of probability

منابع

- 1- Akhtar S.S., Andersen M.N., and Liu F. 2014. Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. *Agric. Water Manage* 138: 37-44.
- 2- Albuquerque J.A., Calero J.M., Barron V., Torrent J., Del Campillo M.C., Gallardo A., and Villar R. 2012. Effects of biochars produced from different feed stocks on soil properties and sunflower growth. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 177:16–25.
- 3- Arabi Yazdi A., Alizadeh A., and Mohammadian F. 2010. Investigation of water ecological footprints in iranian agriculture. *water and soil Journal* 23(4): 15-1. (In Persian with English abstract)
- 4- Arabzade B. 2006. Investigation of low irrigation in Fajr cultivar. Publishing Department of Rice Research Institute of Iran. 24 pages.
- 5- Arabzade B., and Aghajani S. 2003. Rice, Vegetation, Water Requirements, Pests and diseases and weed Management.
- 6- Anderson C.R., Condrón L.M., Clough T.J., Fiers M., Stewart A., Hill R.A., and Sherlock R.R. 2011. Biochar induced soil microbial community change: Implications for biogeochemical cycling of carbon, nitrogen and phosphorus. *Pedobiologia* 54: 309–320.
- 7- Arif M., Ali A., Umair M., Munsif F., Ali K., Inamullah M.S., and Ayub G. 2012. Effect of biochar FYM and mineral nitrogen alone and in combination on yield and yield components of maize. *Sarhad Journal Agriculture* 28(2): 191-

195. (In Persian with English abstract)
- 8- Atkinson C.J., Fitzgerald J.D., and Higgs N.A. 2010 Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: A review. *Plant and Soil* 337: 1–18.
 - 9- Bobojonov I., Berg E., Franz-Vasdeki J., Martius Ch., and Lamers John P.A. 2016. Income and irrigation water use efficiency under climate change: An application of spatial stochastic crop and water allocation model to Western Uzbekistan, *Climate Risk Management*, ISSN 2212-0963, Elsevier, Amsterdam [u.a.], 13: 19-30.
 - 10- Bouman B.A.M., Lampayan R.M., and Tuong T.P. 2007. Water management in irrigated rice: coping with water scarcity. Los Baños (Philippines): International Rice Research Institute. 54 p.
 - 11- Bouman B.A.M., Peng S., Castaneda A.R., and Visperas R.M. 2005. Yield and water use of irrigated tropical aerobic rice systems. *Agricultural Water Management* 74: 87-105.
 - 12- Brantley K.E., Brye K.R., Savin M.C., and Longer D.E. 2015. Biochar source and application rate effects on soil water retention determined using wetting curves. *Open Journal of Soil Science* 5(01): 1.
 - 13- Chaudhry U.K., Shahzad S., Naqqash M.N., Saboor A., Yaqoob S., Abbas M.S., and Saeed F. 2016. Integration of biochar and chemical fertilizer to enhance quality of soil and wheat crop (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences* 9(1): 348-358.
 - 14- Cornelissen G., Martinsen V., Shitumbanum V., Alling V., Gijs D., Breedveld G.D., Rutherford D.W., Sparrevik M., Hale S.E., Obia A., and Mulder A. 2013. Biochar effect on maize yield and soil characteristics in five conservation farming sites in Zambia. *Agronomy* (3): 256-274.
 - 15- Egamberdiyeva D., Juraeva D., Poberejskaya S., Myachina O., Teryuhova P., Seydaliyeva L. and Aliev A. 2004. Improvement of wheat and cotton growth and nutrient uptake by phosphate solubilizing bacteria. Proceedings of the 26th Southern Conservation Tillage Conference for Sustainable Agriculture. Raleigh, North Carolina, June 8-9, P. 58-66.
 - 16- Gebremedhin G.H., Haileselassie B., Berhe D., and Belay T. 2015. Effect of biochar on yield and yield components of wheat and post-harvest soil properties in Tigray, Ethiopia. *Journal of Fertilizers and Pesticides* 6: 158-162.
 - 17- Glab T., Palmowska J., Zaleski T., and Gondek K. 2016. Effect of biochar application on soil hydrological properties and physical quality of sandy soil. *Geoderma* 281: 11-20.
 - 18- Hua L., Lu Z., Ma H., and Jin S. 2014. Effect of biochar on carbon dioxide release, organic carbon accumulation, and aggregation of soil. *Environmental Progress & Sustainable Energy* 33(3): 941-946.
 - 19- Ibrahim O.M., Bakry A.B., El Kramany M.F., and Elewa T.A. 2015. Evaluating the role of biochar application under two levels of water requirements on wheat production under sandy soil conditions. *Global Journal of Advanced Reserach* 2(2): 411-418.
 - 20- IRRI, PhilRice, NIA and BASC. 2005. Aerobic Rice: A water-saving technology in development. www.irri.com.
 - 21- Jvan J., and Fal Soleyman M. 2008. Water crisis and the need to pay attention to agricultural water productivity in dry areas Case Study: Birjand Plain, *Geography, Development, Sh*.
 - 22- Karer J., Wimmer B., Zehetner F., Kloss S., and Soja G. 2013. Biochar application to temperate soils: effect on nutrient uptake and corn yield under field conditions. *Agricultural and Food Science* 22: 390-403.
 - 23- Kheyri Shalamzari, K. And Borumabdsab, S. 2014. Effect of different levels of superabsorbent 200A on the physical and hydraulic properties of silty loam soil. *Irrigation Science and Engineering*, 36 (4): 63-71.
 - 24- Kinney T.J., Masiello C.A., Dugan B., Hockaday W.C., Dean M.R., Zygourakis K., and Barnes R.T. 2012. Hydrologic properties of biochars produced at different temperatures. *Biomass and Bioenergy* 41: 34-43.
 - 25- Lehmann J., and Joseph S. 2009. Biochar for Environmental Management- an Introduction. In: Lehmann J. and Joseph S. (Eds). *Biochar for Eenvironmental Management: Science and Technology*. Earthscan, London, pp. 1–11.
 - 26- Lehmann J., Cheng C. H., Thies J.E., Burton S.D., and Engelhard M.H. 2006. Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. *Organic Geochemistry* 37: 1477-1488.
 - 27- Lehmann J. 2007. Bio-Energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5: 381-387.
 - 28- Liu X.H., Han F.P., and Zhang X.C. 2012. Effect of biochar on soil aggregates in the loess plateau: results from incubation experiments, *International Journal of Agriculture and Biology* 14: 975–979.
 - 29- Malekotti M.J., Ghayibi M.N. 2000. Determining the critical level of effective nutrients in soil, plants and fruits in order to increase the quality and quantity performance of strategic products of the country. second edition. *Agricultural Education Publication*. 92 p.
 - 30- Martinsen V., Mulder J., Shitumbanuma V., Sparrevik M., Børresen T., and Cornelissen G. 2014. Farmer-led maize biochar trials: Effect on crop yield and soil nutrients under conservation farming. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 177: 681-695.
 - 31- Nassiri M., and Niknejad Y. 2012. Causes of damage in rice fields. *Publishing Ward* 83 pages.
 - 32- Pirdashti H. 2000. Study of the process of remobilization of dry matter, nitrogen and determination of growth indices of rice cultivars in different dates of masters dissertation. *Tarbiat Modares University of Tehran*. 158 pages.
 - 33- Pirdashti H., Tahmasebi Sarvestani Z., Nematzadeh G., and Ismail A. 2004. Study of water stress effects in different growth stages on yield and yield components of different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. In: *Proceedings of the 4th International Crop Science Congress*, 26 Sept. 1 Oct, Brisbane, Australia.

- 34- Rezaei M., and Nahvi M. 2004. Effect of irrigation interval on rice yield. Proceedings of the Eleventh Irrigation and Drainage Conference, Tehran.
- 35- Roderick M., Florencia G.R., Rodriguez G.D.P., Lampayan R.M., and Bouman B.A.M. 2011. Impact of the alternate wetting and drying (AWD) water-saving irrigation technique: Evidence from rice producers in the Philippines. *Food Policy* 36(2): 280-288.
- 36- Schmidt M.W.I., and Noack A.G. 2000. Black carbon in soils and sediments: Analysis, distribution, implications and current challenges. *Global Biogeochemical Cycles* 14:777-793.
- 37- Sedaght N., Pirdashti H., Asadi R., and Mousavi Toghani S.I. 2014. The effect of irrigation methods on water productivity in rice. *Journal of Water Research in Agriculture* 28(1): 9-1. (In Persian with English abstract)
- 38- Smith J.L., Collins H. P., and Bailey V.L. 2010. The effect of young biochar on soil respiration. *Soil Biology Biochemistry* 42: 2345-2347.
- 39- Sun Z., Bruun E.W., Arthur E., De Jonge L.W., Moldrup P., Hauggaard-Nielsen H., and Elsgaard L. 2014. Effect of biochar on aerobic processes, enzyme activity, and crop yields in two sandy loam soils. *Biology and Fertility of Soils* 50:1087-1097.
- 40- Tavakoli A. 2002. Low irrigation. Publication of Iran National Irrigation and Drainage Committee.
- 41- Topoliantz S., Ponge J.F., and Ballof S. 2007. Manioc peel and charcoal: A potential organic amendment for sustainable soil fertility in the tropics. *Biology and Fertility of Soils* 41: 15-21.
- 42- Uzoma K., Inoue M., Andry H., Fujimaki H., Zahoor A., and Nishihara E. 2011. Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition. *Soil Use Manage* 27: 205-212.
- 43- Van Zwieten L., S. Kimber S., Morris K., Chan A., Downie J., Rust S., Joseph and Cowie A. 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant. Soil* 327: 235-246.
- 44- Wang Z., and Huang B. 2004. Physiological recovery of Kentucky bluegrass from simultaneous drought and heat stress. *Crop Science* 44: 1729-1736 .
- 45- Warnock D.D., Mummeya D.L., McBride B., Major J., Lehmann J., and Rillig M.C. 2010. Influences of nonherbaceous biochar on arbuscular mycorrhizal fungal abundances in roots and soils: results from growth chamber and field experiments. *Applied Soil Ecology* 46:450-456.
- 46- Yoshida S. 1981. Fundamentals of rice crop science. International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Pilippines.
- 47- Yu O.Y., Raichle B., and Sink S. 2013. Impact of biochar on the water holding capacity of loamy sand soil. *International Journal of Energy and Environmental Engineering* 4(1): 44-52.
- 48- Zahir A.Z., Arshad M., Frankenberger W.T. 2004. Plant growth promoting rhizobacteria: applications and perspectives in agriculture. *Advance in Agronomy* 81: 97-168.
- 49- Zhang A., L. Cui G., Pan L., Li Q., Hussain X., Zhang J., Zheng and D. Crowley., 2010. Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China. *Agriculture Ecos. Environment* 139: 469-475.
- 50- Zhang A., Liu Y., Pan G., Hussain Q., Li L., Zheng J., and Zhang X. 2012. Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil organic carbon poor calcareous loamy soil from Central China Plain. *Plant Soil* 351: 263-275.

Effect of Biochar and *Azospirillum lipoferum* bacteria on Yield and Water Use Efficiency Indices of Tarom Hashemi Rice Cultivar under Flooded and Alternation Irrigation Regimes

M. Kaveh¹- M.A. Esmaeili^{2*}- H. Pirdashti³- M.R. Ardakani⁴

Received: 08-07-2019

Accepted: 10-03-2020

Introduction: Rice is a staple food source and the most important grain in developing countries, which is most commonly consumed by more than 90 percent of the world populations. Moreover, this plant is produced and consumed in Asia. However this major crop faces severe limitations such as water scarcity and other environmental stresses. Limited water resources along with climate change effects, have increased attention to methods which improve water use efficiency in crops such as rice cultivation. On the other hand, traditional irrigation methods for rice production often waste considerable fraction of irrigation water. Therefore, it is necessary to modify irrigation and other farming methods. Furthermore, using biochar and nitrogen fixing bacteria as organic biofertilizers can be effective methods to improve water use efficiency and yield attributes of rice plant. Therefore, the present research was conducted to investigate the effect of biochar and *Azospirillum lipoferum* rhizobacteria on yield and water use efficiency on Tarom Hashemi rice cultivar of under flooded and alternating irrigation regimes.

Materials and Methods: This study was conducted at the research fields of the Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University in 2017 and 2018. The experimental site is located at 36° 39'42" N latitude and 53°03'54" E longitude with -11 m above sea level. Soil samples were taken from depths of 0-30 cm before land preparation. The experiment was done in factorial split-split plot arrangement with complete randomized blocks based design with three replications. Treatments included two irrigation management methods (flooding and irrigation regimes) in combination with nine fertilizers levels (100% of recommended nitrogen or N100, N100+ 10 ton biochar or biochar 10, N100+ biochar 20, N75, N75+ biochar 10, N100+ biochar 20, N50, n50+ biochar 10 and N100+ biochar 20) as main plots and seedling inoculation with *Azospirillum lipoferum* bacteria (without inoculation was also included as control) as sub plots. Plot ridges were covered by plastic sheets and inserted into the soil at 50 cm to prevent water flowing from one plot to the others. The plots were then leveled and 3-4 leaf seedlings stage. A specific number of seedlings were gently washed and placed for 30 minutes in a pan containing 10 L of water mixed with 1 L of bacterial inoculum. Carboxymethyl cellulose, 15 g, was added to increase adhesion of bacteria into the plant roots. Nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers were applied according to the results of soil analysis. Weeds and pests were controlled mechanically or by hand and no herbicides or pesticides were used.

Results and Discussion: Results showed that biochar and nitrogen fertilizers, irrigation methods, and seedling inoculation with bacteria had significant effects on water use efficiency indices. Comparison of means of interaction effects showed that the highest paddy yield (5950.43 and 5330.78 kg/ha, respectively) were observed by flooding irrigation method in combination with N50 + biochar 20 treatment and inoculated by *Azospirillum lipoferum* bacteria and alternating irrigation management method which was along with N50 + biochar 20 without inoculation. Alternating irrigation plots experienced water shortage in some growth stages and therefore slightly lower paddy yield is acceptable. Application of biochar 20 and flooding or alternating methods which treated by N75 and N50, respectively showed 49.1% increase in economic efficiency index.

Conclusion: In general, application of 20 ton biochar along with 75% nitrogen fertilizers led to 42.8% increase in economic advantages in alternating irrigation method as compared to the flooding systems. These observation indicates beneficial effect of fertilizer in economic advantage enhancement in rice cultivation.

1 and 2- Ph.D. Student of Agronomy and Associate Professor, Department of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: esmaeilim550@gmail.com)

3 - Professor, Department of Agronomy, Genetics and Agricultural Biotechnology Institute of Tabarestan, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

4- Professor of Agronomy, Islamic Azad University, Karaj Branch, Karaj, Iran

DOI: 10.22067/jsw.v34i5.81493

Keywords: Biochar, *Azospirillum lipoferum*, Water use efficiency index, Rice