



به زراعی کشاورزی

دوره ۲۳ ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۴۰۰

صفحه‌های ۷۶۰-۷۴۳

DOI: 10.22059/jci.2021.306418.2423

مقاله پژوهشی:

اثر کاربرد هم‌زمان بایوچار، باکتری آزوسپیریلیوم لیپوفرورم و نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) در دو شیوه آبیاری غرقابی و تناوبی

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

۱. دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

۲. دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

۳. استاد، گروه زراعت، پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری کشاورزی طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

۴. استاد، گروه زراعت، دانشگاه آزاد واحد کرج، کرج، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۱۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۷/۰۱

چکیده

در این مطالعه، اثر کاربرد هم‌زمان بایوچار، باکتری آزوسپیریلیوم لیپوفرورم و نیتروژن در دو شیوه آبیاری غرقابی و تناوبی بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) رقم طارم هاشمی بررسی شد. این آزمایش به صورت کرت‌های دوبارخردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در دو سال زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ انجام گرفت. تیمارهای مورد مطالعه شامل شیوه آبیاری در دو سطح آبیاری غرقاب و آبیاری تناوبی به‌عنوان عامل اصلی و عامل فرعی تیمار کودی در نه سطح، ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیتروژن به‌همراه شاهد (بدون بایوچار)، ۲۰ و ۱۰ تن بایوچار در هکتار و نیز جدایه خالص باکتری آزوسپیریلیوم لیپوفرورم در دو سطح بدون مایه‌زنی با نشا و با مایه‌زنی با نشا به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. با توجه به معنی‌داری اثر عوامل مورد بررسی بر صفات مورد اندازه‌گیری، براساس یافته‌ها، کاربرد ۲۰ تن بایوچار به‌همراه با ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیتروژن توصیه‌شده بیش‌ترین تأثیر را بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج در هر دو شیوه آبیاری تناوبی و غرقابی نشان داد. در مقایسه، میزان اثربخشی بایوچار در آبیاری تناوبی چشم‌گیرتر بود. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که کاربرد ۲۰ تن بایوچار به‌همراه با ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیتروژن توصیه‌شده توانسته کاهش عملکرد ناشی از کاهش مصرف آب در آبیاری تناوبی را نسبت به آبیاری غرقاب تا اندازه زیادی جبران کند.

کلیدواژه‌ها: شیوه آبیاری، عملکرد خوشه‌چه، کود آلی، کود زیستی، کود شیمیایی.

The effect of combined application of biochar, *Azospirillum lipoferum* and nitrogen on yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L.) in two flooding and intermittent irrigation methods

Mohammad Kaveh¹, Mohammad Ali Esmaceli^{2*}, Hemmatollah Pirdashti³, Mohammad Reza Ardakani⁴

1. Ph.D. Candidate, Department of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

2. Associate Professor, Department of Agronomy, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

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

4. Professor, Department of Agronomy, Islamic Azad University, Karaj Branch, Karaj, Iran.

Received: September 22, 2020

Accepted: February 6, 2021

Abstract

The present study investigates the effect of combined application of biochar, *Azospirillum lipoferum* bacteria and nitrogen in two flooding and intermittent irrigation methods on yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L. cv. 'Taron Hashemi'). The experiment is done in split-split plot arrangement based on a complete randomized block design with three replications at the research farm of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University between two consecutive years of 2017 and 2018. The treatments are two irrigation methods (flooding and alternation irrigation regimes) as main plot and nine fertilizers levels (100%, 75%, and 50% nitrogen in combination with control (without biochar), 20 and 10 tons of biochar per hectare) and seedling inoculation with *Azospirillum lipoferum* (inoculation and non-inoculated control) as sub and sub-sub plots, respectively. According to the significance of the studied factors' effects on the measured traits, application of 20 tons of biochar along with 75% to 100% of the recommended nitrogen show the greatest impact on rice yield and yield components in both intermittent and flooding irrigation methods. Since, the effectiveness of biochar in intermittent irrigation is more significant, it can be concluded that the application of 20 tons of biochar per hectare plus 75% to 100% of the recommended nitrogen could greatly compensate the yield reduction due to reduced water consumption in intermittent irrigation, compared to the flooding irrigation.

Keywords: Biological fertilizer, chemical fertilizer, grain yield, irrigation method, organic fertilizer.

۱. مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) از نظر مساحت و سطح تولید یکی از مهم‌ترین غلات در جهان است. این گیاه بعد از گندم، دومین محصول پر مصرف در سراسر جهان (FAO, 2015) و مهم‌ترین ماده اصلی غذایی در آسیا است که به‌طور متوسط ۳۲ درصد از کل کالری بدن را تأمین می‌کند. بیش‌ترین میزان برنج (۹۰ درصد) در کشورهای آسیایی تولید و مصرف شده و روند تولید جهانی برنج طی دهه گذشته به‌طور مداوم در حال افزایش است (FAO, 2014).

آب مهم‌ترین مؤلفه تولید برنج پایدار در مناطق سنتی کشت برنج در جهان است. روش سنتی کاشت برنج به‌صورت غرقاب به‌طور مداوم در طول رشد رویشی محصول با تخلیه آب در مرحله رسیدن دانه تحت فشار قرار گرفته است. دلیل این امر آن است که برنج به‌عنوان یک گیاه آبی یا حداقل یک گیاه آب‌دوست است (Satyanarayana *et al.*, 2007). این روش به‌دلیل طغیان مداوم شالیزارها با مصرف زیاد آب همراه بوده و به‌دلیل تلفات ناشی از نشت، نفوذ و تبخیر ایجاد می‌شود. مقدار آب آبیاری مورد استفاده تأثیر مثبت اما ناچیزی بر میزان تولید برنج دارد که احتمالاً به معنای استفاده بیش از حد از آب است (Obiero, 2010). روش آبیاری تناوبی به‌منظور کاهش مصرف آب و نیز جلوگیری از اثرات مضر غرقاب دایم در شالیزار اجرا می‌شود و در واقع به معنی رساندن آب به‌طور دوره‌ای و با فواصل معین می‌باشد (Arabzadeh & Aghajani, 2002). اگرچه نظام آبیاری مبتنی بر صرفه‌جویی در آب، مانند رژیم آبیاری تناوبی می‌تواند موجب افزایش بهره‌وری آب شود، اما این فناوری‌ها اغلب باعث کاهش عملکرد در وارپته‌های کشت‌شده می‌شود که می‌توان با روش‌های به‌زراعی و به‌نژادی آن را بهبود بخشید (Bouman *et al.*, 2005). بایوچار یک ماده متخلخل، غنی از کربن و ریزدانه

است که از گرمادهی بقایای آلی مانند ضایعات گیاهی، کودهای دامی و سایر ضایعات در دماهای ۲۰۰ تا ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد در یک محیط بدون اکسیژن یا با میزان اکسیژن محدود به‌دست می‌آید (Lehmann & Joseph, 2009). بایوچار باعث افزایش سطح مواد آلی خاک و در نتیجه بهبود ویژگی‌های خاک می‌شود. هم‌چنین، افزودن آن به‌عنوان یک ماده اصلاحی به خاک موجب افزایش بازهای تبادل، ظرفیت تبادل کاتیونی و قابلیت دسترسی عناصر غذایی، کاهش وزن مخصوص ظاهری و بهبود ظرفیت نگهداشت آب می‌شود (Martinsen *et al.*, 2014). گزارش شده است که اثر سپر فضایی بایوچار از تماس مستقیم NPها با ریشه‌های گیاه جلوگیری کرده و از مانع فیزیکی ناشی از NP جلوگیری می‌کند (Sima *et al.*, 2017). علاوه بر این، برخی از پژوهش‌گران بیان داشتند که این ماده به‌عنوان منبع مواد مغذی برای تغذیه گیاهان عمل می‌کند (Rizwan *et al.*, 2016). هم‌چنین، می‌تواند کارایی و فعالیت روبیسکو را در شرایط تنش بهبود بخشد، زیرا روبیسکو آنزیمی اصلی است که در جذب کربن فتوسنتز نقش دارد (Lyu *et al.*, 2016). هم‌چنین، پژوهش‌گران بیان کردند که افزودن بایوچار باعث افزایش pH و EC محیط رشد شد که می‌تواند به‌دلیل وجود فلزات قلیایی و قلیایی موجود در آن باشد (Abbas *et al.*, 2018). هم‌چنین، این اصلاح‌کننده‌ی خاک در مراحل اولیه مواد مغذی را جذب کرده و با رهاسازی آهسته آن‌ها در طول دوره رشدی گیاهان، تنظیم‌کننده میزان مواد مغذی به‌ویژه نیتروژن و در نتیجه بهبود فتوسنتز و ویژگی‌های فیزیولوژیک مرتبط در گیاه برنج می‌شود، بنابراین می‌توان گفت که این ماده به‌عنوان یک عامل شلات‌کننده عمل می‌کند (Brassard *et al.*, 2019). هم‌چنین اثرات بیوچار در جذب و انتقال نانوذرات نقره بر برنج در رابطه با رشد، صفات

اثر کاربرد هم‌زمان بایوچار، باکتری آروسپیریلیوم لیپوفروم و نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) در دو شیوه آبیاری غرقابی و تناوبی

کاربرد کودهای زیستی گزارش کردند (Dobbelaere *et al.*, 2003).

با توجه به این‌که کاهش مصرف آب منجر به کاهش عملکرد برنج می‌شود، استفاده از بایوچار به همراه باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن می‌تواند راه‌کار مناسبی برای حفظ عملکرد و یا افزایش آن در آبیاری تناوبی برنج باشد (Lehmann *et al.*, 2011). بنابراین با توجه به این‌که مطالعه مشابهی وجود نداشت، در این مطالعه اثر کاربرد هم‌زمان بایوچار، باکتری آروسپیریلیوم لیپوفروم و نیتروژن در دو شیوه آبیاری غرقابی و تناوبی بر اجزای عملکردی برنج مورد بررسی قرار گرفت.

۲. مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در دو سال زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷، به صورت کرت‌های دو بارخردشده^۱ در قالب طرح بلوک-های 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، ۷۵ و ۵۰ درصد نیتروژن (توصیه شده براساس آزمون خاک (جدول ۱، Malekotti & Ghayibi, 2000) به همراه ۲۰، ۱۰ و صفر تن بایوچار در هکتار بود. عامل فرعی- فرعی نیز جدایه خالص باکتری آروسپیریلیوم لیپوفروم^۲ (مایه تلقیحی میکروبی با غلظت نهایی 10^9 ml^{-1}) در دو سطح بدون مایه‌زنی و با مایه‌زنی با نشا بود که از بخش بیولوژی خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب کرج تهیه شد. آزمایش در سه تکرار در دو سال متوالی انجام شد.

فتوستنتزی و جابه‌جایی مواد مغذی مورد بررسی قرار گرفت (Abbas *et al.*, 2018). به تازگی محققان دیگری نیز گزارش کرده‌اند که نقش مفید بایوچار در میزان فتوستنتز و تعرق گیاهان و هدایت روزه‌ای در غلات مختلف، به‌طور عمده با تغییر در دسترسی به مواد مغذی و محتوای کلروفیل می‌باشد (Gale & Thomas, 2019; She *et al.*, 2018). از طرفی ساختار متخلخل بایوچار، سطوح ویژه بالا و توانایی آن برای جذب مواد آلی محلول، گازها و مواد معدنی محل مناسبی را برای استقرار، رشد و تکثیر باکتری‌ها، اکتینومیست‌ها و قارچ‌ها فراهم می‌آورد (Lehmann *et al.*, 2011).

از سویی دیگر، به‌کارگیری کودهای زیستی مهم‌ترین راهبرد برای بهبود کارایی مصرف کود (Wu *et al.*, 2005; Fageria & Baligar, 2005) و افزایش تولید در سیستم‌های کشاورزی پایدار عنوان شده است (Sharma, 2003; Afifi *et al.*, 2005; Wu *et al.*, 2005). آروسپیریلیوم یکی از مهم‌ترین ریزجاندارانی است که می‌تواند در ریزوسفر غلات و اطراف ریشه آن‌ها کلونی تشکیل دهد. (Zahir *et al.*, 2004). نتایج مطالعه Egamberdiyeva *et al.* (2004) نشان می‌دهد که حضور باکتری آروسپیریلیوم در ریزوسفر و اندوریزوسفر گیاه میزبان، آثار معنی‌داری در بهبود شاخص‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه و در نتیجه ازدیاد محصول پدید می‌آورد، به گونه‌ای که می‌توان رابطه متقابل برنج با آروسپیریلیوم را از جهت آثار مفید باکتری بر رشد گیاه، قابل قیاس با همزیستی لگوم و ریزوبیوم دانست (Afifi *et al.*, 2003). بیان داشتند که که تلقیح ذرت با ازتوباکتر به‌عنوان کودزیستی با نصف غلظت‌های توصیه شده کودهای نیتروژنه، پتاسیم و فسفره عملکرد ذرت را افزایش داد (Afifi *et al.*, 2003). Dobbelaere *et al.* (2003) افزایش عملکرد خوشه‌چه را به‌واسطه

1. Split split plot
2. *A. lipoferum*

جدول ۱. خصوصیات خاک

شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	بافت خاک	کربن آلی (%)	ماده آلی (%)	اسیدیته اشباع	هدایت الکتریکی (dS.m ⁻¹)	نیترژن (%)	فسفر قابل جذب (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب (mg.kg ⁻¹)
۴۱	۲۸	۳۱	لومی رسی	۱/۹۶	۳/۳۹	۸/۴	۰/۶	۰/۱۹	۵	۱۸۶

جدول ۲. ویژگی‌های بایوچار استفاده شده

ویژگی‌های بایوچار	عدد پد (mg.g ⁻¹)	مساحت سطح براساس استاندارد (m ² .g)	عدد متیلن بلو (mg.g ⁻¹)	محتوای رطوبت (%)	pH	درصد خاکستر	درصد کربن	نیترژن (g.kg ⁻¹)	دانه بندی
مقدار	۱۱۰۰-۹۵۰	۱۱۰۰-۹۵۰	۲۵۰-۱۵۰	۴-۳	۵/۸	۵-۴	۵۰-۴۸	۲۰-۱۸	≥۰/۱

۱.۲. روش تهیه بایوچار

در ابتدا برای تولید بایوچار مواد اولیه سلولزی شامل بقایای چوب و گیاهان زراعی تهیه و دسته بندی شدند. سپس جهت تبدیل مواد سلولزی به کربن در شرایط بی‌هوازی، مواد سلولزی در ابتدا در درجه حرارت ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد جهت تبخیر آب موجود به مدت دو ساعت قرار گرفتند. سپس به مدت سه ساعت در درجه حرارت ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد برای بیرون رفتن مواد فرآر قرار داده شدند. واکنش بعدی که مرحله کربونیزاسیون و تشکیل شبکه متخلخل بود گرمازا بود که دو ساعت به طول انجامید و در گام پایانی کربن‌های تولید شده به دمای محیط رسیدند (Hua et al., 2014، جدول ۲).

پیش از نشاکاری کود بایوچار و اوره به میزان محاسبه شده (براساس آزمون خاک در هکتار اوره (جدول ۱)، (IRRI, 2002) برای هر کرت تقسیم و جدا شده و در هر کرت پخش و به خوبی مخلوط شد. سپس برای تکرارهای با آبیاری تناوبی از روش ابداعی ایری (IRRI, 2005) استفاده شد. در این روش در لوله‌های پی‌وی سی به ارتفاع ۲۰ و قطر پنج سانتی‌متر، با مته برقی سوراخ‌های زیاد ایجاد و لوله‌ها برای نفوذ آب به درون لوله به صورت

مشبک درآمدند و در کرت‌ها مستقر شدند. لوله‌ها به صورت روزانه بازیابی و در صورت نیاز آبیاری انجام شد. برای مایه‌زنی باکتری با ریشه‌های گیاه برنج، ابتدا نشاها در مرحله ۳/۵ تا چهاربرگی از خزانه خارج و سپس تعداد مشخصی از آن‌ها درون تشت که از پیش درون آن ۱۰ لیتر آب به همراه یک لیتر زادمایه باکتری آزوسپریلیوم لیپوفروم ریخته شده بود به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شدند (Khorshidi et al., 2011).

اندازه‌گیری عملکرد خوشه‌چه و عملکرد بیولوژیک و عملکرد کاه در پایان فصل رشد (۹۵ روز پس از کاشت) با برداشت بوته از چهار مترمربع از وسط هر کرت با رطوبت ۱۲ درصد براساس دستورالعمل فنی مؤسسه تحقیقات برنج کشور انجام شد (IRRI, 2002). برای اندازه‌گیری اجزای عملکرد در پایان فصل رشد، نمونه‌ها به صورت تصادفی با حذف اثرات حاشیه‌ای از هر کرت انتخاب و صفات زیر برای هر تیمار آزمایشی مورد بررسی قرار گرفت؛ تعداد کل پنجه و پنجه بارور و نابارور در کپه با شمارش و اندازه‌گیری از روی ۱۲ بوته در هر کرت تعیین شد، تعداد خوشه در واحد سطح با شمارش از روی تعداد بوته‌های موجود در یک مترمربع به دست آمد، تعداد کل خوشه‌چه در خوشه و

اثر کاربرد هم‌زمان بایوچار، باکتری آزوسپریلیوم لیپوفروم و نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) در دو شیوه آبیاری غرقابی و تناوبی

بایوچار، با باکتری در غرقاب (۹۰) و بدون باکتری در آبیاری تناوبی (۸۹) حاصل شد. درصد خوشه‌چه‌های پوک بیش‌ترین مقدار در هر دو روش آبیاری در تیمار ۵۰ درصد نیتروژن+ بدون مصرف بایوچار، با باکتری در غرقاب (۹/۱۸ درصد) و بدون باکتری در آبیاری تناوبی (۱۰/۰۹ درصد) به دست آمد. کم‌ترین درصد خوشه‌چه‌های پوک (۰/۶۶) در روش آبیاری غرقاب مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن+ ۲۰ تن بایوچار و به همراه مصرف باکتری و در آبیاری تناوبی (۱/۲۲) مربوط به تیمار ۷۵ درصد نیتروژن+ ۲۰ تن بایوچار و به همراه مصرف باکتری (که البته تفاوت معنی‌داری با بدون مصرف باکتری نداشت) حاصل شد (جدول‌های ۵ و ۷).

در تعداد کل خوشه‌چه‌ها بیش‌ترین تعداد در هر دو روش آبیاری غرقاب (۱۳۴/۸۵) و تناوبی (۱۲۰/۶۱) در تیمار ۷۵ درصد نیتروژن+ ۲۰ تن بایوچار و با مصرف باکتری به دست آمد که البته در هر دو روش آبیاری اختلاف معنی‌داری با تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن+ ۲۰ تن بایوچار و به همراه مصرف باکتری نشان ندادند. کم‌ترین تعداد کل خوشه‌چه‌ها نیز در روش آبیاری غرقاب (۸۶/۳۸) مربوط به تیمار ۵۰ درصد نیتروژن+ ۱۰ تن بایوچار و به همراه مصرف باکتری و در آبیاری تناوبی (۹۳/۵۸) مربوط به تیمار ۵۰ درصد نیتروژن+ بدون مصرف بایوچار و باکتری به دست آمد (جدول‌های ۵ و ۷). با بررسی جدول تجزیه واریانس می‌توان اظهار داشت که کاربرد ۲۰ تن بایوچار به همراه ۷۵ یا ۱۰۰ درصد نیتروژن و مصرف باکتری توانست موجب افزایش معنی‌دار تعداد کل خوشه‌چه‌ها (۳۸ خوشه‌چه در آبیاری غرقاب و هشت خوشه‌چه در آبیاری تناوبی) و درصد خوشه‌چه‌های سالم (۱/۵۷ درصدی در آبیاری غرقاب و ۵/۳۴ درصدی در آبیاری تناوبی) و کاهش درصد خوشه‌چه‌های پوک نسبت به تیمار شاهد (۱۰۰ درصد نیتروژن+ بدون مصرف بایوچار و باکتری) شد (جدول‌های ۵ و ۷).

درصد خوشه‌چه‌های پر شده و پوک با شمارش از روی ۲۰ خوشه در هر کرت حاصل شد، وزن هزاردانه با شمارش ۱۰ نمونه صدتایی و توزین آن‌ها براساس رطوبت ۱۲ درصد به دست آمد، شاخص برداشت^۱ از نسبت عملکرد خوشه‌چه به عملکرد بیولوژیکی محاسبه شد (IRRI, 2002). تجزیه داده‌ها، به صورت آنالیز واریانس مرکب طرح کرت‌های دو بارخردشده 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 روش آبیاری، کود و باکتری ثابت و اثر سال تصادفی در نظر گرفته شد.

۳. نتایج و بحث

۳.۱. درصد خوشه‌چه‌های پر، پوک و تعداد خوشه‌چه در خوشه

با استناد به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول‌های ۳ و ۶) مشخص شد که تمام اثرات ساده و برهم‌کنش دوگانه آبیاری×کود و کود×باکتری و برهم‌کنش سه‌گانه آبیاری×کود×باکتری در سطح احتمال یک درصد بر درصد خوشه‌چه‌های سالم، پوک و تعداد خوشه‌چه معنی‌دار شد. اثر متقابل سه‌گانه آبیاری×کود×باکتری (جدول‌های ۵ و ۷) نشان داد که بیش‌ترین درصد خوشه‌چه‌های پر (۹۹ درصد) در آبیاری غرقاب مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن+ ۲۰ تن بایوچار و به همراه مصرف باکتری و در آبیاری تناوبی (۹۸ درصد) مربوط به تیمار ۷۵ درصد نیتروژن+ ۲۰ تن بایوچار و به همراه مصرف باکتری (که البته تفاوت معنی‌داری با بدون مصرف باکتری نداشت) بود و کم‌ترین درصد خوشه‌چه‌های پر در هر دو روش آبیاری در تیمار ۵۰ درصد نیتروژن+ بدون مصرف

1. Harvest Index

جدول ۳. آنالیز واریانس مرکب طرح کرت های دو بار خرد شده در دو سال

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		درصد خوشه چه	درصد خوشه چه	عملکرد	عملکرد	شاخص برداشت
		پر در خوشه	پوک در خوشه	کاه	خوشه چه	زیستی
سال	۱	۶۵۱/۲۰ns	۱۳/۰۲ns	۵۲۳۷۲۷/۴ns	۱۵۹۴۹۴/۴۲ns	۱۰۵۱۸۵/۱ns
بلوک (سال)	۴	۳۲/۹۵	۵۴/۰	۲/۱۲۳۹۲	۸۶/۶۶۰۶۴	۶۷۹۶۲۵
روش آبیاری	۱	۱۲۰۸/۵۴**	۱۲۵/۹۳**	۹۶۵۹۸۰۹/۶**	۳۴۱۸۸۵۸۷/۲۸**	۸۰۱۹۴۲۴۹/۱**
سال × روش آبیاری	۱	۰/۰۵ns	۰/۰۲ns	۱۳۲۰۶۳۷ns	۲۳/۵۲ns	۱۲۸۵۶۲/۲ns
بلوک × روش آبیاری (سال)	۴	۰۴/۳۲	۳۰/۰	۴۲۰۴۹	۲۱/۱۴۴۱۵۳	۸۳۰۸۴۷۶
کود	۸	۱۳۹۰/۳۹**	۱۲۸۷۰**	۲۴۸۱۵۲۵۵/۱**	۱۱۹۱۰۴۶۱/۸۰**	۶۷۷۰۷۵۶۴/۱**
سال × کود	۸	۰/۵۲ns	۰/۶۷ns	۹۷۳۷۷/۳ns	۲۰۶۳۹ns	۹۳۴۴۲/۲ns
روش آبیاری × کود	۸	۵۴۸۷۷۵۳**	۱۱/۶۵**	۴۰۰۴۷۰ns	۲۲۴۵۵۰۴**	۳۳۰۸۳۵۲/۱**
سال × روش آبیاری × کود	۸	۰/۰۷۶۰۳ns	۰/۰۷ns	۳۶۷۰۵/۱ns	۷/۲۳ns	۳۶۷۰۵/۱ns
بلوک × کود (سال × روش آبیاری)	۶۴	۰۲/۱۴	۷۴/۱	۹۳۴۳۳۶۶	۵۳/۱۴۹۸۵۳	۵۴۶۰۴۷
باکتری	۱	۳۲۰۵/۸۴**	۳۹/۵۵**	۴۰۰۳۳۳۳/۹**	۵۵۸۱۰۷۲/۸۳**	۱۹۰۳۵۸۰/۹**
سال × باکتری	۱	۰/۲۰ns	۰/۳۲ns	۲۴۵۸۱۹/۵ns	۹۱/۳۶ns	۳۳۶۴۳۲/۶ns
کود × باکتری	۸	۳۴۱/۸۹**	۱۲/۳۳**	۱۵۷۵۵۵۷/۸**	۶۳۷۴۱۹/۰۵**	۱۲۰۴۴۱۵۰/۴**
سال × کود × باکتری	۸	۰/۲۸ns	۰/۲۴ns	۳۷۵۹۲/۲ns	۱۰۲۴/۸۳ns	۳۹۹۰۵/۴ns
روش آبیاری × کود × باکتری	۹	۶۸۷/۵۴**	۲۹/۰**	۲۴۳۹۳۰۱/۸**	۲۶۴۳۹۰۶/۶۹**	۷۷۱۶۸۴۴/۶**
سال × روش آبیاری × کود × باکتری	۹	۰/۰۲ns	۰/۰۳ns	۴۹۱۶۰/۹ns	۶/۶۷ns	۴۹۱۶۰/۹ns
خطای آزمایش	۷۲	۱۵/۴۰	۳/۰۴	۳۶۱۵۱۵/۹	۱۰۸۱۲۴/۶۰	۵۰۶۷۵۱/۹
ضریب تغییرات		۷۲۳	۳۴/۴۰	۶۷/۱۱	۱۱/۸	۴۳/۸

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

جدول ۴. مقایسه میانگین برهم کنش کود در باکتری، برش خورده بر اساس روش آبیاری در عملکرد خوشه چه، تعداد پنجه بارور، نابارور و کل در بوته

منبع	روش آبیاری	کود	پنجه بارور +۵۰	پنجه بارور +۲۰	پنجه بارور +۱۰	پنجه بارور +۰	پنجه کل +۷۵	پنجه کل +۴۵	پنجه کل +۱۵	پنجه کل +۰
باکتری	۴۹۵۲/۵۱c	۴۸۳۸/۰۱c	۴۴۰۴/۸۲def	۳۳۳۰/۵۹hi	۴۲۹۰/۳۶ef	۵۹۵۰/۴۳a	۴۶۲۵/۱۷cde	۴۲۶۹/۳۵ef	۵۵۵۴/۵۱ab	
غرقاب	۲۷۵۵/۳۶j	۳۱۳۳/۸۴ij	۴۹۶۴/۶۱c	۴۰۹۷/۰۰fg	۵۴۹۴/۳۰b	۴۷۲۷/۹۰cd	۳۷۰۶/۶۵gh	۴۹۴۷/۰۰c	۴۱۳۲/۹۴f	
عملکرد خوشه چه	۳۱۲۲/۷۸h	۳۸۳۹/۴۱de	۴۷۵۶/۲۴b	۱۹۶۲/۵۱i	۴۴۰۰/۷۸bc	۴۰۳۶/۸۶cd	۳۳۹۰/۹۹fgh	۳۵۷۱/۴۵efg	۴۶۱۰/۸۱b	
تناوب	۱۲۵۸/۴۵j	۳۹۳۹/۵۰de	۵۳۳۰/۸۷ab	۳۴۰۰/۸۲fgh	۳۴۱۰/۷۹fgh	۵۴۵۷/۸۴a	۲۳۴۶/۹۴i	۳۷۷۴/۳۵def	۳۲۴۱/۷۰gh	
پنجه	۱۷۵۳/۳۱jk	۱۷/۹۸fgh	۱۷/۵۴ghi	۱۵/۵۲k	۱۸/۴۸efg	۲۰/۱۸bc	۲۰/۶۱b	۱۸/۹۹def	۲۲/۰۹a	
بارور در بوته	۱۵۷۲k	۱۶۲۱jkl	۲۰/۰۵bcd	۱۷/۰۹hij	۱۹/۵۱bcde	۱۹/۵۱bcde	۱۹/۰۲bcd	۲۰/۱۱bcd	۱۹/۳۰cde	
تناوب	۱۳۷۰/۳۱jk	۱۷/۲۴cdef	۱۷/۰۵def	۱۴/۵۶ij	۱۸/۱۵bcd	۱۶/۹۴ef	۱۳/۸۹jk	۱۷/۷۵cde	۱۹/۴۴a	
غرقاب	۱۳۷۱/۴k	۱۶۲۹fgh	۱۹/۲۳ab	۱۵/۶۰ghi	۱۶/۵۱fig	۱۸/۲۷bc	۱۵/۲۷hi	۱۶/۱۲fgh	۱۸۳۱abc	
پنجه نابارور	۱/۶۵cdefg	۱/۹۲bdef	۲/۳۷abc	۱/۱۲gh	۱/۲۷efgh	۱/۵۸defg	۱/۳۰efgh	۱/۱۶fgh	۱/۹۸bcde	
در بوته	۳/۰۲a	۱/۸۸cdefg	۱/۹۱bcdef	۲/۵۹ab	۲/۱۷bcd	۱/۳۰efgh	۰/۶۰h	۱/۷۵cdefg	۱/۲۲fgh	
تناوب	۳/۱۶a	۲/۱۹bcde	۱/۷۱def	۲/۸۷ab	۱/۹۶de	۱/۵۰ef	۳/۳۱a	۲/۱۰bcde	۱/۰۸f	
باکتری	۳/۵۳a	۲/۷abc	۱/۹۹cde	۳/۵۱a	۲/۸۶ab	۱/۱۳f	۳/۴۴a	۲/۳۵bcd	۰/۹۸f	
غرقاب	۱۸۱۹f	۱۹/۹۰de	۱۹/۹۲de	۱۶/۶۵g	۱۹/۸۶de	۲۱/۸۶bc	۲۱/۹۲bc	۲۰/۱۶d	۲۴/۰۸a	
پنجه کل	۱۸۷۵ef	۱۷/۹۶fg	۲۱/۹۶b	۱۹/۶۸de	۲۱/۸۶bc	۲۰/۸۱bcd	۲۰/۶۲bcd	۲۱/۸۷bc	۲۰/۵۳cd	
در بوته	۱۶۸۷g	۱۹/۴۴bcd	۱۸۷۷cde	۱۷/۴efg	۲۰/۱۲abc	۱۸/۴۴def	۱۷/۱۰fg	۱۹/۸۶abc	۲۰/۵۳ab	
تناوب	۱۶۶۷g	۱۹/۰۷cd	۲۱/۲۲a	۱۹/۱۱cd	۱۹/۳۷bcd	۱۹/۴۱bcd	۱۸۷۲cde	۱۸/۴۸def	۱۹/۲۹bcd	

در هر ردیف و هر تیمار، میانگین های با حروف مشابه تفاوت آماری معنی داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

اثر کاربرد هم‌زمان با یوچار، باکتری آزوسپیریلیوم لیپوفروم و نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) در دو شیوه آبیاری

غرقابی و تناوبی

جدول ۵. مقایسه میانگین برهم‌کش کود در باکتری، برش خرده بر اساس روش آبیاری برای درصد خوشه‌های پوک، عملکرد کاه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت

صفات	روش آبیاری		کود باکتری		نیتروژن +۵		نیتروژن +۵		نیتروژن +۵		نیتروژن +۵		نیتروژن +۵	
	با یوچار	با یوچار	با یوچار	با یوچار	با یوچار	با یوچار	با یوچار	با یوچار	با یوچار	با یوچار	با یوچار	با یوچار	با یوچار	با یوچار
درصد خوشه‌چه پوک در خوشه	غرقاب	با باکتری	۹/۱۸	۷/۱۸	۷/۹	۷/۹	۷/۹	۷/۹	۷/۹	۷/۹	۷/۹	۷/۹	۷/۹	۷/۹
	تناوب	با باکتری	۶/۹	۵/۸	۵/۸	۵/۸	۵/۸	۵/۸	۵/۸	۵/۸	۵/۸	۵/۸	۵/۸	۵/۸
عملکرد کاه	غرقاب	با باکتری	۳۹۵۶۹۴ef	۵۱۵۹۱b	۴۹۵۰۲۹bc	۲۸۸۸۰۷g	۳۸۴۹۰۲f	۴۴۹۷۳۵de	۴۴۹۷۳۵de	۴۴۹۷۳۵de	۴۴۹۷۳۵de	۴۴۹۷۳۵de	۴۴۹۷۳۵de	۴۴۹۷۳۵de
	تناوب	با باکتری	۳۷۰۰۵۴g	۴۶۱۹۷۳bcd	۵۲۲۸۸۱b	۲۹۹۸۳۳fg	۳۸۴۹۰۲f	۴۴۹۷۳۵de	۴۴۹۷۳۵de	۴۴۹۷۳۵de	۴۴۹۷۳۵de	۴۴۹۷۳۵de	۴۴۹۷۳۵de	۴۴۹۷۳۵de
عملکرد بیولوژیک	غرقاب	با باکتری	۸۹۰۹۴۵d	۹۹۹۷۱۱bc	۹۳۵۵۱۱cd	۶۶۱۸۳۱gh	۷۹۴۶۰۳ef	۹۲۷۲۹۹bcd	۹۲۷۲۹۹bcd	۹۲۷۲۹۹bcd	۹۲۷۲۹۹bcd	۹۲۷۲۹۹bcd	۹۲۷۲۹۹bcd	۹۲۷۲۹۹bcd
	تناوب	با باکتری	۵۴۵۵۷۹h	۷۷۵۳۵۶f	۱۰۱۸۹b	۷۹۴۶۰۳ef	۹۲۷۲۹۹bcd	۹۲۷۲۹۹bcd	۹۲۷۲۹۹bcd	۹۲۷۲۹۹bcd	۹۲۷۲۹۹bcd	۹۲۷۲۹۹bcd	۹۲۷۲۹۹bcd	۹۲۷۲۹۹bcd
شاخص برداشت	غرقاب	با باکتری	۵۵۶۵ab	۴۸۴۱fgh	۴۷۰۹ghi	۵۳۴۹abcd	۴۸۹۵efg	۴۸۹۵efg	۴۸۹۵efg	۴۸۹۵efg	۴۸۹۵efg	۴۸۹۵efg	۴۸۹۵efg	۴۸۹۵efg
	تناوب	با باکتری	۵۰۶۸cdefg	۴۰۴۹j	۴۸۸۰efg	۵۱۶۲cdef	۵۳۹۴abc	۴۸۹۵efg	۴۸۹۵efg	۴۸۹۵efg	۴۸۹۵efg	۴۸۹۵efg	۴۸۹۵efg	۴۸۹۵efg

در هر ردیف و هر تیمار، میانگین‌های با حروف مشابه تفاوت آماری در سطح احتمال پنج درصد LSD ندارند.

(Karbally, 1993). در نتایج مشابه، پژوهش‌گران گزارش نمودند که بیش‌ترین تعداد گلچه عقیم (۲۴ عدد) در شرایطی حاصل شد که گیاه کود شیمیایی نیتروژن دریافت نکرد و تنها از کمپوست آزولا استفاده شد (Divsalar et al., 2011).

درصد پر شدن خوشه‌چه در خوشه از نظر فیزیولوژی عملکرد اهمیت زیادی دارد. تعداد خوشه‌چه‌های پر و پوک تحت تأثیر عوامل مختلف از جمله عوامل تغذیه‌ای قرار می‌گیرد. کمبود مواد فتوسنتزی ناشی از عدم تغذیه مناسب یکی از دلایل افزایش پوکی خوشه‌چه است

جدول ۶. آنالیز واریانس مرکب طرح کرت‌های دو بار خردشده در دو سال

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		تعداد کل پنجه در بوته	تعداد پنجه بارور در بوته	تعداد پنجه نابارور در بوته	وزن هزاردانه	تعداد خوشه در مترمربع
سال	۱	۱۴/۷۴ns	۲/۲۷ns	۵/۴۴ns	۳۶/۸۵ns	۲۰۴۵/۲۸
بلوک (سال)	۴	۰/۲۹	۰/۴۰	۰/۲۶	۲/۴۰	۳۶۱/۶۲
روش آبیاری	۱	۱۱۶/۰۱**	۲۴۲/۴۲**	۲۳۳/۰۲**	۱۹/۶۰**	۲۱۸۱۷۹/۶۱**
سال × روش آبیاری	۱	۰/۰۰ns	۰/۰۰ns	۰/۰۰ns	۰/۰۰ns	۳/۹۲ns
بلوک × روش آبیاری (سال)	۴	۲/۹۰	۴/۴۲	۰/۲۳	۱/۱۹	۳۹۸۲/۶۱
کود	۸	۳۰/۰۶**	۵۸/۹۶**	۵۸/۷۲**	۹/۳۳**	۵۳۰۶۷/۱۹**
سال × کود	۸	۰/۱۶ns	۰/۱۰ns	۰/۰۱ns	۰/۱۰ns	۹۷/۱۰ns
روش آبیاری × کود	۸	۸/۶۸**	۱۵۳/۵**	۵/۰۳**	۹/۳۹**	۱۳۸۱۹/۶۱**
سال × روش آبیاری × کود	۸	۰/۰۰ns	۰/۰۰ns	۰/۰۰ns	۰/۰۰ns	۰/۰۱ns
بلوک × کود (سال × روش آبیاری)	۶۴	۱/۵۷	۰/۸۸	۰/۵۰	۰/۶۴	۷۹۷/۱۴
باکتری	۱	۳/۲۷ns	۰/۰۰ns	۳/۶۳**	۰/۰۱ns	۸۳۲ns
سال × باکتری	۱	۰/۵۰ns	۰/۳۱ns	۰/۰۲ns	۰/۳۱ns	۲۸۱/۰۹ns
کود × باکتری	۸	۱۳/۱۵**	۱۰۳/۲**	۲/۰۰**	۶/۷۷**	۹۲۹۵/۰۸**
سال × کود × باکتری	۸	۰/۶۳ns	۰/۴۳ns	۰/۲۱ns	۰/۴۳ns	۳۸۷/۶۰ns
روش آبیاری × کود × باکتری	۹	۶/۵۸**	۴/۵۵**	۰/۶۶*	۵/۸۶**	۴۱۰۱/۹۵**
سال × روش آبیاری × کود × باکتری	۹	۱۴/۷۴ns	۰/۰۰ns	۰/۰۰ns	۰/۰۰ns	۰/۰۴ns
خطای آزمایش	۷۲	۱/۳۸	۱/۰۸	۰/۴۲	۱/۲۰	۹۷۶/۸۹
ضریب تغییرات		۵/۹۹	۵/۹۲	۳۱/۰۹	۴/۳۴	۵/۹۲

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد و ns به معنای غیر معنی‌دار بودن می‌باشد.

جدول ۷. مقایسه میانگین برهم‌کنش کود در باکتری، برش خرده بر اساس روش آبیاری در وزن هزاردانه، تعداد خوشه در مترمربع،

تعداد خوشه‌چه و درصد خوشه‌چه‌های پر در خوشه

صفات	روش آبیاری	کود	نیتروژن +۵۰	نیتروژن +۵۰	نیتروژن +۵۰	نیتروژن +۷۵	نیتروژن +۷۵	نیتروژن +۱۰۰	نیتروژن +۱۰۰	نیتروژن +۱۰۰
وزن هزاردانه	غرقاب	با باکتری	۲۳/۶۳i	۲۳/۹۸hi	۲۵/۷۲cdef	۲۴/۳۳ghi	۲۶/۹۸ab	۲۷/۹۹a	۲۵/۸۱bcde	۲۶/۸۰bc
	تناوب	با باکتری	۲۴/۶۳fghi	۲۴/۹۶efgh	۲۵/۰۹defg	۲۳/۹۲hi	۲۶/۴۵bc	۲۶/۱۶bcd	۲۴/۶۶fghi	۲۴/۴۳bc
خوشه در مترمربع	غرقاب	با باکتری	۴۹۶/۰۳ijk	۵۳۹/۴۲fgh	۵۲۶/۳۶ghi	۴۶۵/۹k	۵۵۴/۵۱efg	۶۰۵/۵۳bc	۶۱۸/۵b	۵۶۹/۸۸def
	تناوب	با باکتری	۴۷۱/۷۱k	۴۸۶/۳۲jkl	۶۰۱/۶۷bcd	۵۱۲/۷۷hij	۵۸۷/۶۴bcde	۵۸۵/۴۵bcde	۶۰۰/۶۵bcd	۶۰۳/۴۵bcd
تعداد خوشه‌چه در خوشه	غرقاب	با باکتری	۱۲۸/۴۲b	۱۲۱/۱۵cd	۱۰۳/۸۳g	۹۶/۲۰h	۱۱۰/۶۴f	۱۳۴/۸۵a	۱۱۳/۶۹ef	۱۳۰/۸۱ab
	تناوب	با باکتری	۹۹/۷۱gh	۸۶/۳۸i	۱۰۳/۳۲g	۱۰۰/۴۵gh	۱۱۸/۵۴d	۱۲۳/۲۴c	۱۱۳/۲ef	۱۰۴/۰۵g
درصد دانه‌های پر در خوشه	غرقاب	با باکتری	۹۰/۸۱h	۹۷/۹۳abcd	۹۸/۵۲abc	۹۲/۰۰gh	۹۶/۸۶de	۹۹/۲۸ab	۹۳/۰۴g	۹۷/۳۳cd
	تناوب	با باکتری	۹۵/۰۱f	۹۷/۸۰abcd	۹۸/۴۷abc	۹۵/۶۳ef	۹۸/۵۹abcd	۹۸/۸۴abcd	۹۷/۷۱bcd	۹۸/۷۰abc
در خوشه	غرقاب	با باکتری	۹۳/۰۱i	۹۴/۱۰ghi	۹۶/۷۹bcd	۹۴/۱۲ghi	۹۴/۳۹fghi	۹۸/۷۷a	۹۳/۳۶hi	۹۵/۴۲defg
	تناوب	با باکتری	۸۹/۹۰j	۹۴/۸۹efgh	۹۶/۳۱cde	۹۱/۲۲j	۹۵/۸۹def	۹۸/۷۳a	۹۳/۴۳hi	۹۷/۵۹cd

در هر ردیف و هر تیمار، میانگین‌های با حروف مشابه تفاوت آماری معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

اثر کاربرد هم‌زمان بایوچار، باکتری آزوسپریلیوم لیپوفروم و نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) در دو شیوه آبیاری غرقابی و تناوبی

است که پیامدهای ساده شیوه آبیاری، کود و باکتری و برهم‌کنش دوگانه کود× باکتری در سطح احتمال یک درصد و اثرات متقابل سه‌گانه روش آبیاری× کود× باکتری در سطح احتمال ۵ درصد بر تعداد پنجه نابارور معنی‌دار بود. تعداد پنجه‌های بارور و پنجه کل در اثرات ساده شیوه آبیاری، کود و متقابل دوگانه شیوه آبیاری× کود و کود× باکتری و متقابل سه‌گانه شیوه آبیاری× کود× باکتری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شدند و در اثر ساده باکتری اختلاف معنی‌داری نشان ندادند.

مقایسه میانگین‌های اثر سه‌گانه روش آبیاری× کود× باکتری (جدول ۴) مشخص کرد که رکورددار بیش‌ترین تعداد پنجه بارور در هر دو روش آبیاری غرقاب (۲۲) و تناوب (۱۹/۴۴) مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن+ ۲۰ تن بایوچار و به‌همراه مصرف باکتری و کم‌ترین تعداد پنجه بارور در هر دو روش آبیاری در تیمار ۵۰ درصد نیتروژن+ بدون مصرف بایوچار و باکتری در غرقاب (۱۵/۷۲) در آبیاری تناوبی (۱۳/۱۴) به‌دست آمد.

در پنجه نابارور بالاترین تعداد در هر دو روش آبیاری (غرقاب ۳ در آبیاری تناوبی ۳/۵۲) در تیمار ۵۰ درصد نیتروژن+ بدون مصرف بایوچار و باکتری و حداقل تعداد پنجه نابارور نیز در آبیاری غرقاب (۰/۶) مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن+ بدون مصرف بایوچار و باکتری و در روش آبیاری تناوبی (۰/۹۸) مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن+ ۲۰ تن بایوچار و بدون مصرف باکتری بود (جدول ۴).

بالاترین تعداد پنجه کل در بوته در روش آبیاری غرقاب (۲۴) در تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن+ ۲۰ تن بایوچار و با مصرف باکتری و در روش آبیاری تناوبی (۲۱/۲۲) در تیمار ۵۰ درصد نیتروژن+ ۲۰ تن بایوچار و بدون مصرف باکتری به‌دست آمد و پایین‌ترین تعداد پنجه کل در روش آبیاری غرقاب (۱۷/۹۹) در تیمار ۵۰ درصد

Zayed *et al.* (2013) اظهار نمودند که بیش‌ترین درصد خوشه عقیم در شرایط شاهد یا عدم مصرف کود حاصل شد و کم‌ترین درصد خوشه عقیم زمانی به‌دست آمد که به‌ترتیب از هفت تن در هکتار کود دامی+ ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن (سه درصد) و پنج تن در هکتار کمپوست کاه برنج+ ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن (۲/۳ درصد) استفاده شد. هم‌چنین Liang *et al.* (2006) اظهار داشتند که با کاهش فرآورده‌های فتوسنتزی، تعداد خوشه‌چه‌های پر کاهش و فرایند پرشدن خوشه‌چه به تأخیر می‌افتد. این پژوهش‌گران معتقدند که ظرفیت منبع عامل محدودکننده در پرشدن خوشه‌چه است. بنابراین می‌توان بیان نمود که شرایط تغذیه‌ای و فتوسنتز گیاه پس از مرحله گلدهی اهمیت زیادی در پرشدن خوشه‌چه دارد. Maleki *et al.* (2010) گزارش نمودند که با کاربرد هم‌زمان کود نیتروژن و کود زیستی ازتوباکتر، تعداد خوشه‌چه سالم در سنبله گندم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

به‌نظر می‌رسد کاربرد ۷۵ درصد نیتروژن+ ۲۰ تن بایوچار و به‌همراه باکتری و کاهش ۲۵ درصدی کود نیتروژن توانسته است با افزایش نگهداری آب در خاک (Weber *et al.*, 2007)، بهبود شرایط کارایی باکتری و افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و نگهداری عناصر غذایی موجب افزایش رشد و عملکرد گیاه و افزایش تعداد کل خوشه‌چه‌ها و درصد خوشه‌چه‌های سالم در گیاه برنج شود. پژوهش‌های Major *et al.* (2010) نیز نشان داد که افزودن بایوچار به میزان ۱۱ تن در هکتار در آغاز آزمایش موجب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد برنج در حدود ۷۵ درصد بعد از چهار فصل کشت طی دو سال شده است.

۳.۲. تعداد پنجه بارور، نابارور و کل در بوته

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۶) نشان‌دهنده این مطلب

تعداد پنجه در مترمربع تحت تأثیر قرار می‌گیرد. حداکثر تعداد پنجه در تیمارهایی که کود آلی به‌کار رفته بود، مشاهده شد. این نتیجه یک ارتباط معنی‌داری با ذخیره و قابلیت دسترسی نیتروژن دارد. بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک با افزودن بایوچار سبوس و کاه برنج به خاک تحت کشت برنج موجب بهبود رشد گیاه برنج و هم‌چنین افزایش ارتفاع، تعداد پنجه، تعداد ساقه بارور و زیست‌توده خشک (بیوماس) کل برنج شده است. در ضمن، افزایش عناصر غذایی با افزایش کاربرد بایوچار نیز موجب افزایش رشد گیاه شد (Masulili & Utomo, 2010). مطالعات Zhang et al. (2012) نشان داد که افزایش عملکرد گیاه ذرت با افزایش مقدار بایوچار رابطه مستقیم دارد و با افزایش ماده آلی و مصرف هم‌زمان کودهای زیستی، به‌دلیل فراهم‌شدن و دسترسی آسان‌تر عناصر غذایی، افزایش رشد گیاه و تولید بیش‌تر ماده خشک اتفاق می‌افتد.

۳.۳. وزن هزاردانه

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۶) پیامدهای ساده شیوه آبیاری، کود و برهم‌کنش دوگانه کود×باکتری و روش کشت×کود و سه‌گانه روش آبیاری×کود×باکتری در سطح احتمال یک درصد بر وزن هزاردانه معنی‌دار بود و تنها اثر ساده باکتری تأثیر معنی‌داری بر وزن هزاردانه نداشت.

مقایسه میانگین‌ها (جدول ۷) نشان داد که در هر دو روش آبیاری غرقاب (۲۷/۹۹) و تناوبی (۲۷/۲۶) سنگین‌ترین وزن هزاردانه مربوط به تیمار ۷۵ درصد نیتروژن+ ۲۰ تن بایوچار به‌همراه مصرف باکتری به‌دست آمد. سبک‌ترین وزن هزاردانه در آبیاری غرقاب (۲۳/۶۳) مربوط به تیمار ۵۰ درصد نیتروژن+ بدون بایوچار و با مصرف باکتری و آبیاری تناوبی (۲۲/۹۲) مربوط به تیمار ۷۵ و ۵۰ درصد نیتروژن+ بدون بایوچار و باکتری بود.

نیتروژن+ ۱۰ تن بایوچار و بدون مصرف باکتری و در روش آبیاری تناوبی (۱۶/۶۷) در تیمار ۵۰ درصد نیتروژن+ بدون مصرف بایوچار و باکتری (که تفاوت معنی‌داری با مصرف باکتری نداشت) به‌دست آمد (جدول ۴).

به‌طورکلی، در آبیاری تناوبی همراه با کاهش مصرف آب، کاهش پنجه و سایر اندام‌های هوایی دور از انتظار نیست و در این آزمایش نیز تفاوت در تعداد پنجه در دو روش آبیاری مشهود می‌باشد، کمبود آب در طول مرحله رویشی (دوره پنجه‌زنی) تعداد پنجه را کاهش می‌دهد (Bouman & Tuong, 2001). از آنجاکه عدم دسترسی به آب در مراحل اولیه رشد رویشی موجب تأثیر روی پنجه‌زنی می‌شود، اختلاف بین تعداد پنجه منطقی به‌نظر می‌رسد. برخی از پژوهش‌گران بالاترین تعداد پنجه را از تیمارهای تحت شرایط آبیاری غرقابی گزارش نموده‌اند که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد (Tao et al., 2006). اما با اعمال تیمار کودی ۱۰۰ درصد نیتروژن+ ۲۰ تن بایوچار و به‌همراه مصرف باکتری در هر دو روش آبیاری شاهد افزایش ۱۰/۳ درصدی تعداد پنجه بارور در آبیاری غرقاب و ۲۷/۳ درصدی در آبیاری تناوبی نسبت به تیمار شاهد (۱۰۰ درصد نیتروژن توصیه‌شده و بدون مصرف بایوچار و باکتری) بودیم. در واقع اعمال تیمار کودی در هر دو روش آبیاری توانست موجب افزایش تعداد پنجه بارور شود که البته این میزان افزایش در روش آبیاری تناوبی ۱۷ درصد بیش‌تر نسبت به غرقاب بود. Islam et al. (2014) گزارش نمودند که با کاربرد کود شیمیایی همراه با کودهای آلی، افزایش معنی‌داری در تعداد پنجه بارور در کپه مشاهده شد. هم‌چنین، نتایج مشابهی توسط Farahdahr et al. (2015) و Gharavi (2014) Baygi et al. گزارش شده است. Khademi et al. (2000) مواد آلی را باعث افزایش تعداد پنجه می‌دانند. با اضافه‌شدن مواد آلی در تیمارها،

یون‌هایی مانند آمونیوم از خاک جلوگیری کرد، اما این اثر به نوع بایوچار و خاک و هم‌چنین زمان تماس بایوچار و خاک بستگی دارد (Lehmann *et al.*, 2003).

۳.۴. تعداد خوشه در مترمربع

جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۶) حاکی از آن بود که اثرات ساده شیوه آبیاری، کود و برهم‌کنش دوگانه کود× باکتری و روش کشت× کود و برهم‌کنش سه‌گانه روش آبیاری× کود× باکتری در سطح احتمال یک درصد بر تعداد خوشه در مترمربع معنی‌دار بود.

تعداد خوشه در واحد سطح، مهم‌ترین عامل در افزایش عملکرد دانه برنج محسوب می‌شود (Zeng & Shannon, 2000). نتایج این مطالعه نشان داد که بیش‌ترین تعداد خوشه در مترمربع در هر دو روش آبیاری غرقاب (۶۶۲) و آبیاری تناوبی (۵۸۳) مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن+ ۲۰ تن بایوچار همراه با مصرف باکتری بود. هم‌چنین کم‌ترین تعداد خوشه در مترمربع در آبیاری غرقاب (۴۶۵) مربوط به تیمار ۷۵ درصد نیتروژن+ بدون مصرف بایوچار و با مصرف باکتری بوده که البته تفاوت معنی‌داری با تیمار ۵۰ درصد نیتروژن+ بدون مصرف بایوچار و باکتری نشان نداد و کم‌ترین تعداد خوشه در مترمربع در آبیاری تناوبی (۳۹۴) مربوط به تیمار ۵۰ درصد نیتروژن+ بدون بایوچار و بدون مصرف باکتری بود (جدول ۶). نیتروژن جذب‌شده توسط گیاه از مرحله پنجه‌دهی تا ظهور خوشه اولیه موجب افزایش تعداد پنجه و خوشه در گیاه می‌شود (Mohammadian, 2002). Divsalar *et al.* (2011) در مطالعه خود نتیجه گرفتند که بیش‌ترین تعداد خوشه در زمان مصرف کود آلی به‌همراه ۱۰۰ درصد کود اوره و کم‌ترین میزان آن در زمان استفاده به‌صورت کود پایه و بدون استفاده از کود آلی و با مصرف کودهای شیمیایی به‌دست می‌آید، که نتایج آن با نتایج این آزمایش هم‌خوانی دارد.

وزن هزاردانه در برنج یکی از پایدارترین خصوصیات رقم به‌شمار می‌رود، که معمولاً تحت تأثیر عوامل محیطی و زراعی قرار نمی‌گیرد، اما نیتروژن با افزایش مقدار ماده خشک و دوام سطح برگ می‌تواند موجب افزایش وزن هزاردانه شود و معمولاً بالاترین سطح کودی بیش‌ترین وزن هزاردانه را تولید می‌کند (Bindra *et al.*, 2000). Chaturvedi (2005) گزارش کرد که کود نیتروژن تأثیر معنی‌داری بر وزن هزاردانه برنج داشت و با افزایش مصرف کود نیتروژن بر مقدار وزن هزاردانه افزوده شد، او بیان کرد به‌نظر می‌رسد که استفاده از کود نیتروژن، درصد پروتئین دانه را افزایش داده و این موضوع باعث افزایش وزن دانه می‌شود. مشابه با نتایج پژوهش حاضر پژوهش‌گران دیگر نیز در نتایج خود اثر معنی‌دار مصرف کودهای نیتروژنه بر صفت وزن هزاردانه را گزارش نمودند (Faraji *et al.*, 2011; Mohaddesi *et al.*, 2010). از نتایج این مطالعه و بسیاری از مطالعات دیگر چنین استنباط می‌شود که کمبود شدید نیتروژن می‌تواند به کاهش اندازه دانه منتهی شود و افزایش نیتروژن معدنی خاک تا یک حد معین با افزایش اندازه دانه همراه است و پس از آن تأثیری بر اندازه دانه نمی‌گذارد.

در تیمار ۷۵ درصد نیتروژن+ ۲۰ تن بایوچار و به‌همراه مصرف باکتری، استفاده ۲۰ تن در هکتار بایوچار توانسته با جلوگیری از آبشویی و افزایش بهره‌وری نیتروژن موجود در خاک موجب جذب آن توسط گیاه و متعاقب آن موجب افزایش وزن هزاردانه شود، به‌طوری‌که نسبت به تیمار شاهد (۱۰۰ درصد نیتروژن+ بدون مصرف بایوچار و باکتری) حتی با مصرف نیتروژن کم‌تر، در روش آبیاری غرقاب ۳/۳ و تناوب ۲/۵ گرم وزن هزاردانه بیش‌تری را موجب شود (جدول ۷). پژوهش‌ها نشان می‌دهد که با افزودن بایوچار در مقادیر زیاد (۱۰ یا ۲۰ درصد جرمی) به خاک، می‌توان به‌طور مؤثر از آبشویی

بود که مصرف ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار بدون مایه‌زنی باکتری باعث تولید بیش‌ترین عملکرد خوشه‌چه در آبیاری تناوبی شد. به دلیل آن‌که در روش آبیاری تناوبی گیاه برنج بخشی از طول فصل رشد را در شرایط کم‌آبی سپری می‌کند، پس پیش‌بینی این است که عملکرد در مقایسه با شرایط غرقاب کم‌تر باشد (Pirdashti et al., 2004). Tavakoli (2002) نیز بیش‌ترین عملکرد خوشه‌چه را در حالت غرقاب دائم مشاهده شد. با وجود این‌که 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 خوشه‌چه که در هر دو روش غرقاب و تناوب آبیاری در تیمار مصرف ۵۰ درصد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون مصرف باکتری به دست آمد، نشان‌دهنده کاهش حدود ۵۴ درصدی عملکرد خوشه‌چه در آبیاری تناوبی نسبت به غرقاب می‌باشد. این در حالی است که مقایسه بین بیش‌ترین عملکرد خوشه‌چه در دو روش 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) نشان‌دهنده ۸/۲ درصد کاهش عملکرد خوشه‌چه در آبیاری تناوبی نسبت به غرقاب می‌باشد. براساس یافته‌ها کاربرد ترکیب کودی از یک‌سو میزان اختلاف عملکرد خوشه‌چه را بین دو روش آبیاری کم‌تر کرده است و از سوی دیگر موجب کاهش مصرف کود نیتروژن شده که این امر نشان‌دهنده تأثیر مثبت آن می‌باشد (جدول ۴).

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

تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و به همراه مصرف باکتری توانست موجب افزایش ۶۲ تایی تعداد خوشه در واحد سطح در آبیاری غرقاب و افزایش ۱۲۵ تایی در آبیاری تناوبی نسبت شاهد (۱۰۰ درصد نیتروژن + بدون مصرف بایوچار و باکتری) شود (جدول ۷). به نظر می‌رسد تلفیق بایوچار به عنوان کود آلی و اوره به عنوان کود شیمیایی با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و عناصر غذایی موجب بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک و در پی آن افزایش رشد و شاخص‌های عملکردی گیاه به‌ویژه تعداد خوشه در مترمربع شده است، که البته این افزایش در تعداد خوشه در واحد سطح نسبت به شاهد در آبیاری تناوبی به مراتب بیش‌تر و چشم‌گیرتر بوده است.

بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی خاک با افزودن بایوچار کاه برنج به خاک تحت کشت برنج موجب بهبود رشد گیاه برنج و هم‌چنین افزایش ارتفاع، تعداد پنجه، تعداد ساقه بارور و زیست‌توده کل برنج شده است. در ضمن، افزایش عناصر غذایی با افزایش کاربرد بایوچار نیز موجب افزایش رشد گیاه شد (Masulili & Utomo, 2010).

۳.۵. عملکرد خوشه‌چه

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

مقایسه میانگین برهم‌کنش سه‌گانه (جدول ۴) مشخص کرد که در حالت آبیاری غرقاب، مصرف ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار، به همراه مایه‌زنی با باکتری، بالاترین عملکرد خوشه‌چه را تولید نمود، هرچند با تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن به همراه ۲۰ تن بایوچار با مصرف باکتری تفاوت معنی‌داری نداشت، این درحالی

اثر کاربرد هم‌زمان بایوچار، باکتری آزوسپریلیوم لیوفوروم و نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) در دو شیوه آبیاری غرقابی و تناوبی

کمپوست و کود شیمیایی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم مشخص شد که بیش‌ترین تأثیر بایوچار در کاربرد آن به‌همراه کود شیمیایی و کمپوست است. هم‌چنین *Glaser et al.* (2002) گزارش کردند که با افزودن بایوچار عملکرد محصول برنج نسبت به شاهد به‌طور قابل توجهی افزایش یافت. هم‌راستا با این مطالعه، هانگ مین و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که عملکرد دانه در ابتدا با استفاده از بایوچار در سه فصل اول به‌دلیل کاهش وزن دانه و شاخص برداشت کاهش یافت. اگرچه کاهش نسبی بیش‌تری در وزن دانه و شاخص برداشت برای برنج وجود داشت، در فصل چهارم تا ششم، عملکرد دانه (به میزان ۴-۱۰ درصد) به‌دلیل افزایش اندازه سنبلچه در مترمربع و زیست‌توده کل افزایش یافت.

۳.۶. عملکرد کاه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت

با توجه به جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) مشخص شد که پیامدهای ساده آبیاری، کود و باکتری و برهم‌کنش دوگانه کود × باکتری و برهم‌کنش سه‌گانه آبیاری × کود × باکتری در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد کاه و زیستی و شاخص برداشت معنی‌دار بود.

با مقایسه میانگین‌ها (جدول ۵) در هر دو روش آبیاری غرقاب (۶۹۴۴ کیلوگرم در هکتار) و تناوبی (۵۶۰۱ کیلوگرم در هکتار) مشخص شد که بیش‌ترین عملکرد کاه مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و به‌همراه مصرف باکتری بود، که البته در آبیاری غرقاب تفاوت معنی‌داری با تیمار ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و به‌همراه مصرف باکتری نداشت. کم‌ترین میزان عملکرد کاه در هر دو روش آبیاری غرقاب (۲۷۰۰ کیلوگرم در هکتار) و تناوبی (۲۳۵۰ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون مصرف باکتری بود. جدول (۵) حاکی از آن است که در آبیاری غرقاب اختلاف بین کم‌ترین (۵۰ درصد نیتروژن +

غرقاب) نشان از کاهش ۱۲/۶ درصدی مصرف آب داشت، درحالی‌که همین مقایسه در آبیاری تناوبی کاهش ۵۲/۴ درصدی مصرف آب را نشان داد. در واقع در هر دو روش 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 (داده‌ها نشان داده نشده است). به‌نظر می‌رسد بایوچار با افزایش گنجایش نگهداری آب در خاک توانسته است کاهش عملکرد خوشه‌چه برنج در شرایط آبیاری تناوبی نسبت غرقاب را جبران کند. در همین زمینه *Cornelissen et al.* (2013) 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 قابل‌دسترس گیاه در هر سه خاک مورد آزمایش به‌ویژه خاک شنی شد.

هم‌چنین جدول (۴) نشان می‌دهد که در آبیاری غرقاب تفاوت میزان عملکرد خوشه‌چه بین کم‌ترین (۵۰ درصد نیتروژن + بدون بایوچار و بدون باکتری) و بیش‌ترین (۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار و با باکتری) میزان این شاخص، ۵۳/۶ درصد می‌باشد. در سوی دیگر، در روش 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. همان‌گونه که بیان شد در هر دو شرایط آبیاری، تیمار ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۰ تن بایوچار توانسته موجب افزایش عملکرد خوشه‌چه شود، اما میزان این تأثیر در شرایط آبیاری تناوبی به مراتب بیش‌تر از غرقاب بوده است. گمان می‌رود کاربرد هم‌زمان کود شیمیایی و بایوچار به‌دلیل فراهمی بهتر آب و عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن سبب تحریک رشد و بهبود وزن خشک گیاه و در پی آن افزایش عملکرد برنج شده است. در پژوهشی با عنوان بررسی پیامد بایوچار،

بدون بایوچار و بدون باکتری) و بیشترین (۱۰۰ درصد نیتروژن+ ۲۰ تن بایوچار و با باکتری) عملکرد کاه ۵۸ درصد می‌باشد. از طرفی در آبیاری تناوبی تفاوت بین حداقل (۵۰ درصد نیتروژن+ بدون بایوچار و بدون باکتری) و حداکثر (۱۰۰ درصد نیتروژن+ ۲۰ تن بایوچار و با باکتری) این شاخص ۶۱ درصد بود. همان‌گونه که نشان داده شد در هر دو روش آبیاری، تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن+ ۲۰ تن بایوچار و با مصرف باکتری توانسته موجب افزایش عملکرد کاه شود، اما میزان این تأثیر در شرایط آبیاری تناوبی بیش‌تر از غرقاب بوده است.

در عملکرد زیستی تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن+ ۲۰ تن بایوچار و به‌همراه مصرف باکتری در آبیاری غرقاب حداکثر مقدار عملکرد زیستی (۱۲۴۹۹ کیلوگرم در هکتار) را نشان داد، که البته تفاوت معنی‌داری با تیمار ۷۵ درصد نیتروژن+ ۲۰ تن بایوچار و به‌همراه مصرف باکتری نداشت و حداقل مقدار عملکرد زیستی (۵۴۵۵ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار ۵۰ درصد نیتروژن و بدون مصرف بایوچار و باکتری بود. درحالی‌که بیشینه عملکرد زیستی (۱۰۵۵۴ کیلوگرم در هکتار) در آبیاری تناوبی مربوط به تیمار ۷۵ درصد نیتروژن+ ۲۰ تن بایوچار و بدون مصرف باکتری به‌دست آمد، که تفاوت معنی‌داری با تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن+ ۲۰ تن بایوچار و به‌همراه مصرف باکتری نشان نداد. و کمینه عملکرد زیستی (۳۶۰۸ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار ۵۰ درصد نیتروژن+ بدون بایوچار و بدون مصرف باکتری بود. در آبیاری غرقاب اختلاف بین کم‌ترین (۵۰ درصد نیتروژن+ بدون بایوچار و بدون باکتری) و بیش‌ترین (۱۰۰ درصد نیتروژن+ ۲۰ تن بایوچار و با باکتری) عملکرد زیستی ۵۶ درصد می‌باشد. از طرفی در آبیاری تناوبی تفاوت بین کمینه (۵۰ درصد نیتروژن+ بدون بایوچار و بدون باکتری) و بیشینه (۷۵ درصد نیتروژن+ ۲۰ تن بایوچار و بدون

افزایش عملکرد در تیمارهای دارای بایوچار و کود به‌دلیل تأثیر بایوچار در نگه‌داری عناصر غذایی و جلوگیری از آب‌شویی و تصعید نیتروژن و در نتیجه دسترسی بهتر 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 مانند *Aref et al.* (2012) روی گیاه ذرت و *Chaudhry et al.* (2016) روی گیاه گندم هم نتایج مشابه‌ای نشان داده شده است. در همین راستا *Aref et al.* (2012) نیز بالاترین عملکرد زیستی را در تیمار بایوچار به‌همراه کود شیمیایی و کم‌ترین عملکرد زیستی را در تیمار بایوچار تنها گزارش کردند.

بیش‌ترین میزان شاخص برداشت (۵۵) در آبیاری غرقاب مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن و بدون مصرف بایوچار و باکتری و کم‌ترین میزان (۴۰) در آبیاری غرقاب مربوط به تیمار ۵۰ درصد نیتروژن و ۱۰ تن بایوچار و بدون مصرف باکتری بوده است. درحالی‌که بیش‌ترین میزان شاخص برداشت (۵۴) در آبیاری تناوبی مربوط به تیمار ۵۰ درصد نیتروژن+ بدون بایوچار و با مصرف باکتری به‌دست آمد. که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای ۱۰۰ درصد نیتروژن+ بدون بایوچار و به‌همراه

اثر کاربرد هم‌زمان بایوچار، باکتری آزوسپریلیوم لیپوفروم و نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) در دو شیوه آبیاری غرقابی و تناوبی

۱۰۰ درصد نیتروژن می‌تواند کاهش عملکرد ناشی از کاهش مصرف آب در آبیاری تناوبی را نسبت به آبیاری غرقاب تا اندازه زیادی جبران کند. برای تعیین فرایندهای فیزیولوژیکی برای ایجاد پاسخ‌های مرتبط با کاربردهای مداوم تیمارهای مورد استفاده در این مطالعه، مطالعات پیش‌تری لازم است. هم‌چنین، باید عملکرد کاربرد بایوچار و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن همراه با سایر روش‌های مدیریتی ارزیابی شود، به‌ویژه مواردی که می‌توانند وزن دانه و شاخص برداشت را در تولید برنج افزایش دهند.

۵. تشکر و قدردانی

از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و هم‌چنین از تمام افرادی که ما را در انجام این طرح پژوهشی یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

- Abbas, Q., Liu, G., Yousaf, B., Ali, M. U., Ullah, H., & Ahmed, R. (2019). Effects of biochar on uptake, acquisition and translocation of silver nanoparticles in rice (*Oryza sativa* L.) in relation to growth, photosynthetic traits and nutrients displacement. *Environmental Pollution*, 250, 728-736.
- Abbas, Q., Liu, G., Yousaf, B., Ali, M. U., Ullah, H., Munir, M. A. M., & Liu, R. (2018). Contrasting effects of operating conditions and biomass particle size on bulk characteristics and surface chemistry of rice husk derived-biochars. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 134, 281-292.
- Afifi, M.H., Manal, F.M., & Gomaa, A.M. (2003). Efficiency of applying biofertilizers to maize crop under different levels of mineral fertilizers. *Annul Agricultural Science*, 41(4), 1411-1420.
- Arabzadeh, B., & Aghajani, S. (2002). *Rice Plant growth, water requirements, pests and diseases and grass management Weeds*. Deputy Director of the Rice Research Institute, Amol. (In Persian).

مصرف باکتری و ۷۵ درصد نیتروژن+ بدون بایوچار و بدون مصرف باکتری نشان نداد. کم‌ترین میزان شاخص برداشت (۳۴) در آبیاری تناوبی مربوط به تیمار ۵۰ درصد نیتروژن+ بدون بایوچار و بدون مصرف باکتری بود. در واقع شاخص برداشت نسبت بین عملکرد اقتصادی و عملکرد زیستی را نشان می‌دهد، با بررسی جدول مقایسه میانگین (جدول ۷) مشخص شد که در تیمارهایی که بیش‌ترین میزان عملکرد خوشه‌چه و کاه (تیمار ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیتروژن و ۲۰ تن بایوچار) به‌دست آمد، میزان شاخص برداشت بالا نبوده در واقع می‌توان گفت تیمارهای مذکور تأثیر یکسانی بر عملکرد خوشه‌چه و کاه داشته است و هر دو را به یک نسبت افزایش داده و یا تأثیر بیش‌تری بر عملکرد زیستی داشته است، اما در سایر تیمارها این نسبت برقرار نبوده است. Ashuri et al. (2012) نیز گزارش نمودند، اگرچه مصرف مکمل‌های کود آلی باعث افزایش عملکرد زیستی می‌شود، اما به‌دلیل کاهش قدرت انتقال مواد پرورده به خوشه‌چه‌ها به دلایلی از جمله پایین‌بودن قدرت مخزن، ظرفیت کم مخزن و کاهش فعالیت مخزن، پایین باقی می‌ماند، لذا شاخص برداشت به همان نسبت افزایش پیدا نمی‌کند.

۸. نتیجه‌گیری

در این مطالعه، اثر کاربرد هم‌زمان بایوچار، باکتری آزوسپریلیوم لیپوفروم و نیتروژن در دو شیوه آبیاری غرقابی و تناوبی بر اجزای عملکردی برنج بررسی شد. براساس یافته‌ها، مصرف ۲۰ تن بایوچار همراه با ۷۵ تا ۱۰۰ درصد نیتروژن بیش‌ترین تأثیر را بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج در هر دو روش آبیاری تناوبی و غرقابی نشان داد، که البته میزان این تأثیرگذاری در شیوه آبیاری تناوبی به مراتب چشم‌گیرتر بود، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد ۲۰ تن بایوچار همراه با ۷۵ تا

- Aref, M., Ali, A., Umair, M., Munsif, F., Ali K., Inamullah, M.S., & Ayub, G. (2012). Effect of biochar FYM and mineral nitrogen alone and in combination on yield and yield components of maize, *Sarhad Journal of Agriculture*, 28(2), 191-195.
- Bindra, A. D., Kalia, B. D., & Kumar, S. (2000). Effect of N-levels and dates of transplanting on growth, yield and yield attributes of scented rice, *Advances in Agricultural Research in India*, 10, 45-48.
- Bouman, B.A.M., Peng, S., Castaneda, A.R., & Visperas, R.M. (2005). Yield and water use of irrigated tropical aerobic rice systems. *Agricultural Water Management*, 74, 87-105.
- Bouman, B.A.M., & Tuong, T.P. (2001). Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice, *Agricultural Water Management*, 49, 11-30.
- Brassard, P., Godbout, S., Levesque, V., Palacios, J.H., Raghavan, V., Ahmed, A., Hogue, R., Jeanne, T., & Verma, M., (2019). *Biochar for soil amendment. In: Char Carbon Mater. Deriv. from Biomass*, pp. 109e146. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814893-8.00004-3>.
- Cornelissen, G., Martinsen, V., Shitumbanum, V., Alling, V., Gijs, D., Breedveld, G. D., Rutherford, D. W., Sparrevik, M., Hale, S. E., Obia, A., & Mulder, A. (2013). Biochar effect on maize yield and soil characteristics in five conservation farming sites in Zambia. *Agronomy*, 3, 256-274.
- Chaudhry, U.K., Shahzad, S., Naqqash, M.N., Saboor, A., Yaqoob S., Abbas M.S., & 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.
- Chaturvedi, I. (2005). Effect of nitrogen fertilizers on growth, yield and quality of hybrid rice (*Oryza sativa*). *Journal of Central European Agriculture*, 4, 611-618.
- Divsalar, R., Samdliri, M., Nasiri, M., Amirilarijani, B., Mousavimirkolaei, A.A., & Sadeghi, N. (2011). Investigation of the effect of combination of organic fertilizer and nitrogen on yield and grain yield components in modern rice cultivation management system. *Journal of Crop Research*, 3(2), 217-229. (In Persian).
- Dobbelaere, S., Vanderleyden, J., & Okon, Y. (2003). Plant growth-promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 22(2), 107-149.
- Egamberdiyeva D., Juraeva D., Poberejskaya S., Myachina O., Teryuhova P., Seydaliyeva L., & 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, 2004. P. 58-66.
- Fageria, N. K., & Baligar, V. C. (2005). Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy*, 88, 97-185.
- Faraji, F., Esfahani, M., Kavooosi, M., Nahvi, M., & Rabiei. B. (2011). Effect of nitrogen fertilizer application on grain yield and milling recovery of rice (*Oryza sativa* cv. Khazar). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 13(1), 61-77. (In Persian).
- FAO. (2014). Crop Prospects and Food Situation. <http://www.fao.org/3/a-14256E.pdf>.
- FAO. (2014). World food situation. Cereal Supply and Demand Brief <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en>.
- Farahdahr, F., Amiri, E., Daneshian, J., & Kaloorazi, M. J. (2015). Effect of irrigation and azolla compost on rice (*Oryza sativa*). *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, 5(8S), 129-135.
- Gale, N.V., & Thomas, S.C. (2019). Dose-dependence of growth and ecophysiological responses of plants to biochar. *Science of the Total Environment*, 658, 1344e1354. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.12.239>.
- Gharavi Baygi, M., Pirdashti, H., Abbasian, A., & Aghajaniye Mazandarani, Gh. (2014). Response the yield and yield component of rice (*Oryza sativa* L.) var. Tarom Hashemi in intercropping of rice, duck and azolla. *Journal of Agroecology*, 6(3), 477-487. (In Persian).
- Glaser, B., Lehmann, J., & Zech, W. (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal-a review. *Biology and Fertility of Soils*, 35, 219-230.
- Hua, L., Lu, Z., Ma, H., & 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.
- Islam, M.S., Paul, A. K., Fazle Bari, A. S. M., Shahrar, S., Sharmin Sultana, M., & Hosain, M. T. (2014). Integrated effect of organic manures and nitrogen on yield contributing characters and yield of rice (BRRI dhan29). *International Journal of Scientific and Research Publications*, 4(11), 1-6.
- IRRI. (2002). Standard evaluation system for rice (SES). International Rice Research Institute, p. 54.
- IRRI, PhilRice, NIA., & BASC. (2005). Aerobic Rice: A water-saving technology in development. www.irri.org.
- Karballayi Agha Maleki, M. H. (1993). *Investigation on the effect of controller materials (Etefon and Yunikonazol) on two rice cultivars (Tarom and Rashti) in two growth stages*. M.Sc. Thesis in Agronomy, Agriculture Faculty, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran. 127 pp. (In Persian).

- Khademi, Z., Malekoti, M., & Golchin, A. (2000). Maximizing wheat protein in order to bread quality improvement and wheat balanced nourishment. *Journal of Soil and Water Sciences*, 6(12), 23-35. (In Persian).
- Khorshidi, Y. R., Ardakani, M. R., Ramezanzpour, M. R., Khavazi, K., & Zargari, K. (2011). Response of yield and yield components of rice (*Oryza sativa* L.) to *Pseudomonas fluorescens* and *Azospirillum lipoferum* under different nitrogen levels. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 10(3), 387-395.
- Lehmann, J., da Silva, J. P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., & Glaser, B. (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil*, 249(2), 343-357.
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2009). Biochar for Environmental Management- an Introduction. In: Lehmann J. and Joseph S. (Eds). *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. Earthscan, London, 1-11.
- Lehmann, J., Rillig, M.C., Thies, J., Masiello, C.A., Hockaday, W.C., & Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota- a review. *Soil Biology and Biochemistry*, 43, 1812-1836.
- Liang, J. S., Zhang, J. H., & Cao, X. Z. (2001). Grain sink strength may be related to the poor grain filling of indica-japonica rice (*Oryza sativa*) hybrids. *Physiologia Plantarum*, 112(4), 470-477.
- Lyu, S., Du, G., Liu, Z., Zhao, L., & Lyu, D. (2016). Effects of biochar on photosystem function and activities of protective enzymes in *Pyrus ussuriensis* Maxim under drought stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38, 220. <https://doi.org/10.1007/s11738016-2236-1>.
- Masulili, A., Utomo, W. H., & Syechfani, M. S. (2010). Rice husk biochar for ricebased cropping system in acid soil 1. The characteristics of rice husk biochar and its influence on the properties of acid sulfate soils and rice growth in West Kalimantan, Indonesia. *Journal of Agricultural Science*, 2(1), 39.
- Mohaddesi, A., Abbasian, A., Bakhshipour, S., & Mohammad Salehi, M. (2010). Effects of nitrogenous fertilizer and planting space on yield and yield components of 843 rice line. *Journal of Crop Ecophysiology*, 2(3), 198-208. (In Persian).
- Mohammadian, M. (2002). Final installment review report nitrogen in soils with nitrogen capacity different in rice cultivar Nemat, *Institute Publications Research of Rice in the Iran*. P. 9. (In Persian).
- Martinsen, V., Mulder, J., Shitumbanuma, V., Sparrevik, M., Børresen, T., & 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(5), 681-695.
- Major, J., Rondon, M., Molina, D., Riha, S. J., & Lehmann, J. (2010). Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant and Soil*, 333(1-2), 117-128.
- Maleki, A., Bazdar, A., Lotfi, Y., & Tahmasebi, A. (2010). Effect of biofertilizer on *Tobacter* and different levels of nitrogen fertilizer on yield and yield components in three numbers of bread Wheat. *Journal of Ecophysiology of Crop and Weeds*, 164, 121-132. (In Persian).
- 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.
- Obiero, O. B. P. (2010). *Analysis of economic efficiency of irrigation water-use in mwera irrigation scheme, kirinyaga district, kenya* Doctoral dissertation. M.Sc. thesis, Kenyatta University.
- Pirdashti, H., Sarvestani, Z. T., Nematzadeh, G., & Ismail, A. (2004, September). Study of water stress effects in different growth stages on yield and yield components of different rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. In *The 4th International Crop Science Congress*. Brisbane, Australia.
- Rizwan, M., Ali, S., Qayyum, M. F., Ibrahim, M., Zia-ur-Rehman, M., Abbas, T., & Ok, Y. S. (2016). Mechanisms of biochar-mediated alleviation of toxicity of trace elements in plants: a critical review. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(3), 2230-2248.
- Satyanarayana, A., Thiagarajan, T.M., & Uphoff, N. (2007). Opportunities for Water Saving with Higher Yield from the System of Rice Intensification. *Irrigation Science*, 25, 99-115. <http://dx.doi.org/10.1007/s00271-006-0038-8>.
- Sharma, A.K. (2003). *Biofertilizers for sustainable agriculture*. Agrobios, India.
- She, D., Sun, X., Gamareldawla, A. H., Nazar, E. A., Hu, W., & Edith, K. (2018). Benefits of soil biochar amendments to tomato growth under saline water irrigation. *Scientific Reports*, 8(1), 1-10.
- Sima, X. F., Shen, X. C., Fang, T., Yu, H. Q., & Jiang, H. (2017). Efficiently reducing the plant growth inhibition of CuO NPs using rice husk-derived biochar: experimental demonstration and mechanism investigation. *Environmental Science: Nano*, 4(8), 1722-1732.
- Tao, H., Brueck, H., Dittert, K., Kreye, C., Lin, S., &

- Sattelmacher, B. (2006). Growth and yield formation of rice (*Oryza sativa* L.) in the water-saving ground cover rice production system (GCRPS). *Field Crops Research*, 95(1), 1-12.
- Tavakoli, A. (2002). *Low irrigation*. Publication of Iran National Irrigation and Drainage Committee.
- Weber, J., Karczewska, A., Drozd, J., Licznar, M., Licznar, S., Jamroz, E., & Kocowicz, A. (2007). Agricultural and ecological aspects of a sandy soil as affected by the application of municipal soild waste composts. *Journal of Soil Biology & Biochemistry*, 39, 1294-1302.
- Wu, S. C., Cao, Z. H., Li, Z. G., Cheung, K. C., & Wong, M. H. (2005). Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma*, 125(1-2), 155-166.
- Zahir, Z. A., Arshad, M., & Frankenberger, W. T. (2004). Plant growth promoting rhizobacteria: applications and perspectives in agriculture. *Advances in Agronomy*, 81(1), 98-169.
- Zayed, B. A., Elkhoby, W. M., Salem, A. K., Ceesay, M., & Uphoff, N. T. (2013). Effect of integrated nitrogen fertilizer on rice productivity and soil fertility under saline soil conditions. *Journal of Plant Biology Research*, 2(1), 14-24.
- Zeng, L., & Shannon, M. C. (2000). Salinity effects on seedling growth and yield components of rice. *Crop Science*, 40, 996-1003.
- Zhang, A., Bian, R., Pan, G., Cui, L., Hussain, Q., Li, L., & Yu, X. (2012). Effects of biochar amendment on soil quality, crop yield and greenhouse gas emission in a Chinese rice paddy: a field study of 2 consecutive rice growing cycles. *Field Crops Research*, 127, 153-160.