



تحقیقات آب و خاک ایران | دوره ۵۲ | شماره ۱۲ | اسفند ۱۴۰۰ (ص ۳۰۷۲-۳۰۵۹)

<https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2022.328549.669047>

(مقاله علمی - پژوهشی)

## Investigation of the Effect of Biochar and Different Sources of Nitrogen on the Growth Characteristics of Rice (*Oryza sativa* L.)

SEYEDEH HAJAR BANIHASHEMIAN<sup>1</sup>, ALI EFTEKHARI<sup>1</sup>, MORTEZA NASIRI<sup>2\*</sup>, SEYED AMIR ABBAS MOUSAVI

MIRKALAEI<sup>1</sup>

1. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran.

2. Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Amol, Iran.  
(Received: Aug. 9, 2021- Revised: Dec. 16, 2021- Accepted: Jan. 15, 2022)

### ABSTRACT

This study was conducted to investigate the effects of biochar and nitrogen sources on agronomic traits and soil and plant nitrogen in rice Tisa in Tonekabon rice research station. The statistical design used was factorial in the form of randomized complete blocks with three replications. The treated treatments included biochar at three levels (control, 20 and 40 t ha<sup>-1</sup>) and nitrogen sources at three levels (control, nitrogen fertilizer at 200 kg ha<sup>-1</sup> and inoculation of seeds with nitrogen-fixing bacteria (*Azospirillum*, *Azotobacter* and *Pseudomonas*). The results showed that among different nitrogen sources, the application of nitrogen chemical fertilizer led to a significant increase in some yield components, grain yield and nitrogen concentration in the plant, so that the number of fertile tillers per hill, grain yield, and nitrogen concentration in the grain and straw were increased by about 20.4%, 33.6%, 17.8% and 24.7%, respectively, compared to the control or without use of nitrogen. The results showed that in field conditions the interaction of treatments (Nitrogen chemical fertilizer × 20 t ha<sup>-1</sup> biochar, nitrogen chemical fertilizer × t ha<sup>-1</sup> biochar, bacterial application × 20 t ha<sup>-1</sup> biochar, bacterial application × 40 t ha<sup>-1</sup> biochar) on straw nitrogen was significant. Nitrogen application in field conditions led to a significant increase in plant height, number of fertile tillers per mound, grain yield, biological yield and nitrogen concentration in grain. In greenhouse conditions the highest grain yield (90.71 g) in the interaction application of nitrogen fertilizer With 40 t ha<sup>-1</sup> biochar of and the highest concentration of grain nitrogen (0.64 mg kg<sup>-1</sup>) were observed in bacterial inoculation treatment with 40 t ha<sup>-1</sup>. According to the results of this study, the application of nitrogen fertilizer in the amount of 200 kg ha<sup>-1</sup> to achieve maximum rice grain yield and also the use of biochar in the amount of 20 and 40 t ha<sup>-1</sup> to improve soil fertility is recommended.

**Keywords:** Growth- Promoting Bacteria, Biochar, Yield, Plant Nitrogen Concentration.

\* Corresponding Authors' Email: sed.b20@gmail.com

## بررسی اثر بیوجار و منابع مختلف نیتروژن بر ویژگی‌های رشد و عملکرد گیاه برنج (*Oryza sativa L.*)

سیده هاجر بنی‌هاشمیان<sup>۱</sup>، علی افتخاری<sup>۱</sup>، مرتضی نصیری<sup>۲\*</sup>، سید امیرعباس موسوی میرکلایی<sup>۱</sup>

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران.

۲. مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، آمل، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۵/۱۸ - تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۹/۲۵ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۰/۲۵)

### چکیده

این پژوهش به منظور بررسی اثر بیوجار و منابع نیتروژن بر صفات زراعی و نیتروژن خاک و گیاه در برنج رقم تیسرا و در قالب دو آزمایش مزرعه‌ای و گلخانه‌ای در ایستگاه تحقیقات برنج تنکابن اجرا شد. طرح آماری مورد استفاده، به صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی و شامل سه تکرار بود. تیمارهای مورد آزمایش شامل بیوجار در سه سطح (صفر، ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار) و منابع نیتروژن در سه سطح (صفر، کود شیمیایی نیتروژن به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و تلقیح بذر با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن (آزوسپیریولوم، ازتوباکتر و سودوموناس) بود. نتایج آزمایش مزرعه‌ای نشان داد که در بین منابع مختلف نیتروژن، کاربرد کود شیمیایی نیتروژن منجر به افزایش معنی‌دار برخی از اجزای عملکرد، عملکرد دانه و غلظت نیتروژن در گیاه گردید، به طوری که تعداد پنجه بارور در کپه، عملکرد دانه و غلظت نیتروژن در دانه و کاه به ترتیب حدود ۲۰/۴، ۳۳/۶، ۱۷/۸ و ۲۴/۷ درصد در مقایسه با عدم مصرف نیتروژن افزایش یافت و اثر متقابل تیمارها (کود شیمیایی نیتروژن ۲۰× تن در هکتار بیوجار، کود شیمیایی نیتروژن ۴۰× تن در هکتار بیوجار، کاربرد باکتری ۲۰× تن در هکتار بیوجار، کاربرد باکتری ۴۰× تن در هکتار بیوجار) در میزان نیتروژن کاه معنی‌دار شد. در شرایط گلخانه بیشترین عملکرد دانه (۹۰/۱۷ گرم) در تیمار کاربرد کود شیمیایی نیتروژن ۴۰× تن در هکتار بیوجار و بیشترین غلظت نیتروژن دانه (۰/۶۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار کاربرد باکتری ۴۰× تن در هکتار بیوجار مشاهده شد. با توجه به نتایج این تحقیق، کاربرد کود شیمیایی نیتروژن در مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار برای دستیابی به حداکثر عملکرد دانه برنج و همچنین استفاده از بیوجار در مقادیر ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار جهت بهبود حاصلخیزی خاک مناسب ارزیابی گردید.

**واژه‌های کلیدی:** باکتری‌های محرک رشد، بیوجار، عملکرد، غلظت نیتروژن گیاه.

### مقدمه

بهبودی در مقایسه با سایر منابع نیتروژن بر عملکرد دانه برنج دارد. گزارش‌های به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که مصرف بیش از اندازه این عنصر موجب کاهش کارایی استفاده از نیتروژن و همچنین مشکلات زیست‌محیطی شده و اثرات منفی بر عملکرد دانه دارد (Jahan et al., 2020).

در سال‌های اخیر، باتوجه‌به بحران آلودگی‌های زیست محیطی، به‌ویژه آلودگی منابع آب‌و‌خاک که زنجیره‌وار به منابع غذایی روزمره انسان‌ها راه‌یافته و سلامت جوامع انسانی را مورد تهدید قرار داده‌اند، تلاش‌های گسترده‌ای به‌منظور یافتن راهکارهای مناسب برای بهبود کیفیت خاک و محصولات کشاورزی انجام شده است. به عقیده محققان، استفاده از روش‌های جایگزین مدیریت کود نیتروژن به‌منظور افزایش عملکرد محصول، بهبود کارایی مصرف نیتروژن و همچنین کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی امری ضروری است (Islam et al., 2016). یکی از روش‌های مؤثر در کاهش مصرف کودهای شیمیایی،

گیاه برنج به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات غذایی در جهان مطرح است که در تأمین انرژی، پروتئین و مواد مغذی بیش از نیمی از جمعیت جهان نقش دارد (Wei et al., 2018). برای نیل به خودکفایی در این محصول، لازم است تا میزان عملکرد در واحد سطح بیشتر از میزان فعلی افزایش یابد. مصرف صحیح و متناسب انواع کودها، مهم‌ترین و اساسی‌ترین راه حفظ و اصلاح شرایط حاصلخیزی خاک و افزایش میزان عملکرد محصولات کشاورزی است. عنصر نیتروژن در بین عناصر غذایی، بیشترین اهمیت را از نظر کمیت و کیفیت در رشد و عملکرد محصول برنج داراست (Djaman et al., 2018). اهمیت این عنصر به دلیل نقش مؤثر آن در فرآیند فتوسنتز، تجمع زیست‌توده، پنجه‌زنی و تشکیل خوشه چها می‌باشد (Yoshida et al., 2006). بررسی‌های به‌عمل‌آمده توسط (Mohammadian et al., 2019) نشان داد که در بین منابع مختلف نیتروژن مصرفی، کاربرد کود شیمیایی نیتروژن اثرات

آزاد شدن متان از شالیزارها و دی‌اکسیدکربن از سوزاندن بقایای کشاورزی و  $N_2O$  در اثر مصرف کودهای نیتروژن، نمونه‌های بارز از انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبط با کشاورزی می‌باشد. استفاده از بقایای کشاورزی به‌منظور تولید بیوچار علاوه بر افزایش حاصلخیزی خاک به‌عنوان روشی هوشمندانه جهت بازیافت مواد آلی و کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن نیز می‌باشد (Sohi et al., 2010). استفاده از زغال زیستی بهره‌وری خاک را در تولید برنج افزایش می‌دهد، اما اثر کاربرد زغال زیستی به‌شدت به حاصلخیزی خاک و مدیریت کود در مزرعه بستگی دارد (Asai et al., 2009). بیوچار از تجزیه حرارتی مواد آلی در یک محیط کم اکسیژن حاصل می‌شود که ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی آن موجب بهبود هوادهی خاک می‌شود (Shackley and Sohi, 2010). کاهش اسیدیته خاک، بهبود خصوصیات شیمیایی خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و همچنین نگهداری مواد غذایی در خاک از دیگر فواید این اصلاح‌کننده است (Oladele et al., 2019; 2016; Glaser et al., 2015; Ajayi and Horn Iqbal, 2019).

محققان استفاده از اصلاح‌کننده بیوچار را در سیستم‌های تولید برنج، به‌عنوان یک تکنیک مدیریت عناصر غذایی در کنار مصرف کودهای شیمیایی از نظر اقتصادی قابل‌توجه می‌دانند (Lai et al., 2017) و معتقدند با استفاده مداوم از بیوچار می‌توان کارایی استفاده از نیتروژن و عملکرد دانه را افزایش داده (Huang et al., 2018) و به بهبود کیفیت خاک، افزایش فتوسنتز و بهبود عملکرد و اجزای عملکرد دانه برنج کمک نمود (Ali et al., 2020). گزارش‌هایی نیز مبنی بر عدم تأثیر استفاده از بیوچار بر عملکرد دانه برنج ارائه شده است (Cui et al., 2017). با توجه به اثرات مفید بیوچار و کودهای زیستی در حاصلخیزی خاک، عملکرد محصول و ایجاد نظام‌های زراعی سالم و پایدار این مطالعه، باهدف بررسی اثرات بیوچار و منابع مختلف نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد برنج در ایستگاه چپرسر تنکابن انجام شد.

### مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت گلخانه‌ای و مزرعه‌ای در سال ۱۳۹۹ در ایستگاه تحقیقات برنج تنکابن با مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۱ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۴۶ دقیقه طول شرقی در ارتفاع ۲۲ متر از سطح دریای آزاد انجام شد. قبل از اجرای آزمایش، جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، اقدام به نمونه‌برداری از خاک مزرعه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری گردید. نتایج تجزیه خاک مزرعه آزمایشی (جدول ۱) و همچنین بیوچار مورد استفاده (جدول ۲) در جداول زیر ارائه شده است.

استفاده از کودهای زیستی (نظیر باکتری‌ها) به‌عنوان جایگزینی مناسب برای کودهای شیمیایی می‌باشد (Fathi et al., 2013) که از طریق تثبیت بیولوژیکی نیتروژن و تولید هورمون‌های رشد بر رشد گیاهان مؤثرند (Turan et al., 2006).

کودهای زیستی در حقیقت ماده‌ای شامل انواع مختلف زیر موجودات آزادی (Vessey, 2003) بوده که توانایی تبدیل عناصر غذایی اصلی را از فرم غیرقابل‌دسترس به فرم قابل‌دسترس طی فرآیندهای زیستی دارند (Chen, 2006). باشان و همکاران (Bashan et al., 2004) نشان دادند که استفاده از کودهای زیستی موجب بهبود ساختار فیزیکی در خاک و افزایش مواد معدنی و نیتروژن در همزیستی گیاه می‌شود. کاربرد باکتری‌های محرک رشد به دلیل سازوکارهایی مانند تثبیت نیتروژن، حل فسفات‌های کم محلول، تأمین آهن از طریق تولید سیدروفورهای میکروبی، تولید فیتوهورمون‌هایی چون اکسین، سیتوکینین‌ها، جیبرلین‌ها و کاهش اتیلن باعث بهبود و افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شوند (Egamberdieva et al., 2014). باکتری‌ها با چنین سازوکارهایی می‌توانند گیاهان را در برابر اثرات مضر تنش‌های محیطی چون فلزات سنگین، غرقاب، پاتوزن‌های گیاهی، خشکی و شوری محافظت کنند (Egamberdieva et al., 2014).

با توجه به اینکه مصرف افراطی کودهای شیمیایی ضمن افزایش هزینه‌های تولید تخریب منابع خاکی، آبی و بیولوژیکی را به همراه داشته این امر موجب علاقه‌مندی متخصصین به نظام‌های زراعی سالم و بادوام از نظر اکولوژیکی توسعه سیستم‌های پایدار کشاورزی گردید. به‌منظور حفظ حاصلخیزی خاک، بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و ایجاد توازن در عوامل زیستی محیطی مصرف کودهای زیستی (Wu et al., 2005) و ترکیباتی تحت عنوان اصلاح‌گرهای خاک از جمله بیوچار هم‌راستا با اهداف کشاورزی پایدار در سالیان اخیر مورد توجه قرار گرفته است. سالانه مقدار زیادی بقایای گیاهی برنج در نظام‌های کشت و کار ایران تولید می‌شوند، که گاهی به‌عنوان ضایعات، سوزانده شده و یا در مزرعه رها می‌گردند. استفاده زیاد از کودهای شیمیایی به‌ویژه هنگامی که با عملیات مدیریتی نامناسب مثل سوزاندن بقایای گیاهی همراه باشد، ماده آلی خاک را به‌شدت کاهش می‌دهد (Pirasteh et al., 2010). در سال‌های اخیر استفاده از بیوچار نیز به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خاک به دلیل دارا بودن خصوصیات نگهداری مواد مغذی و همچنین بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک از جمله ساختمان خاک مورد توجه قرار گرفته است (Lehmann et al., 2007). بیوچار انتشار گازهای گلخانه‌ای مهم از خاک را کاهش می‌دهد (Karhu et al., 2011; Singh et al., 2010).

**جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش**

بافت خاک	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	ماده آلی (درصد)	کربن آلی (درصد)	فسفر قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم)
سیلتی لوم	۹	۱۸	۷۳	۲/۳۳	۵/۸۲	۳/۳۸	۱۳	۱۰۸

**جدول ۲- ویژگی‌های بیوجار مورد استفاده در آزمایش**

نسبت کربن به نیتروژن	پتاسیم (درصد)	فسفر (درصد)	نیتروژن (درصد)	ماده آلی (درصد)	کربن آلی (درصد)	اسیدیته
۴/۸	۰/۸۴	۰/۰۷	۰/۷۳	۴/۳	۲/۵	۶/۱۸

گلدان‌ها تا عمق ۲۰ سانتی‌متری خاک شالیزار پر شدند و هر گلدان ۳ نشا دریافت کرد. برای همه گلدان‌ها، کودهای فسفر و پتاسیم به ترتیب پایه به میزان ۰/۷ گرم سوپرفسفات تریپل و ۰/۸ گرم سولفات پتاسیم استفاده شد. کود نیتروژن از منبع اوره بر اساس تیمارهای تعریف شده در گلدان‌ها مانند مزرعه شامل سه سطح (صفر، ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار) و منابع نیتروژن در سه سطح (صفر، کود شیمیایی نیتروژن به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و تلقیح بذر با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن) آزوسپریلوم، از توباکتر و سودوموناس) به عنوان فاکتورهای آزمایش در نظر گرفته شدند. ماده اولیه جهت تهیه بیوجار در این آزمایش پوسته دانه برنج بود که از کارخانه‌های رشت جمع‌آوری در بشکه‌های فلزی در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس به مدت چهار ساعت در داخل کوره قرارداد شدند و بیوجار مورد نظر از حرارت غیرمستقیم پوسته در شرایط محدودیت اکسیژنی تولید شد. سپس در سطح خاک به طور یکنواخت پراکنده و تا عمق ۳۰ سانتی‌متری با خاک مخلوط شد. در این آزمایش از بذور رقم اصلاح‌شده تیسرا استفاده شد. جهت اعمال تیمارهای مربوط به تلقیح باکتری، ریشه‌نشاءها قبل از نشاکاری با آب شستشو گردیده و سپس ریشه‌ها با آزوسپریلوم، از توباکتر و سودوموناس تلقیح شدند.

در زمان رسیدگی فیزیولوژیک (رسیدگی کامل محصول)، در این مرحله، بوته‌های مزرعه زرد می‌شوند و از نظر فیزیولوژیک هیچ تبدالی بین بذر و گیاه مادری انجام نمی‌شود و دانه به بیشینه وزن خشک خود می‌رسد (Bewley et al., 2012). اندازه‌گیری صفات مورفولوژیکی و اجزای عملکرد (نظیر ارتفاع بوته، تعداد پنجه بارور در کپه، طول خوشه، تعداد دانه پر و پوک در خوشه، درصد باروری خوشه و وزن هزار دانه) در هر کرت به صورت جداگانه صورت گرفت. در آزمایش گلدانی، عملکرد دانه از هر بوته در هر تیمار تعیین و بر اساس ۱۴ درصد رطوبت محاسبه شد. برای تعیین عملکرد بیولوژیک، ۴ بوته از هر کرت کف‌بر گردید و پس از جدا کردن دانه از کاه و کلش برای تعیین وزن خشک در آن قرار گرفتند (۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد) و سپس عملکرد بیولوژیک بر اساس کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. شاخص برداشت نیز از نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک بر حسب درصد تعیین شد. غلظت نیتروژن در خاک و گیاه نیز با استفاده از روش کج‌دال تعیین شد (Jackson et al., 1973). به منظور تجزیه داده‌های آماری از نرم افزار SAS نسخه ۹/۲ استفاده شد و مقایسه میانگین نیز در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) انجام شد.

در شرایط گلخانه‌ای و مزرعه‌ای این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. بیوجار در سه سطح (صفر، ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار) و منابع نیتروژن در سه سطح (صفر، کود شیمیایی نیتروژن به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار (Erfani et al., 2020) و تلقیح بذر با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن (آزوسپریلوم، از توباکتر و سودوموناس) به عنوان فاکتورهای آزمایش در نظر گرفته شدند. ماده اولیه جهت تهیه بیوجار در این آزمایش پوسته دانه برنج بود که از کارخانه‌های رشت جمع‌آوری در بشکه‌های فلزی در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس به مدت چهار ساعت در داخل کوره قرارداد شدند و بیوجار مورد نظر از حرارت غیرمستقیم پوسته در شرایط محدودیت اکسیژنی تولید شد. سپس در سطح خاک به طور یکنواخت پراکنده و تا عمق ۳۰ سانتی‌متری با خاک مخلوط شد. در این آزمایش از بذور رقم اصلاح‌شده تیسرا استفاده شد. جهت اعمال تیمارهای مربوط به تلقیح باکتری، ریشه‌نشاءها قبل از نشاکاری با آب شستشو گردیده و سپس ریشه‌ها با آزوسپریلوم، از توباکتر و سودوموناس تلقیح شدند.

در شرایط مزرعه‌ای، آزمایش در کرت‌هایی به ابعاد ۵×۲ متر مربع انجام شد. نشاکاری با فواصل ۲۵×۲۵ سانتی‌متر و به تعداد سه نشاء در هر کپه انجام گرفت. کود سوپر فسفات تریپل (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) و سولفات پتاسیم (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) به صورت پایه باتوجه به نتایج آزمون خاک به طور یکنواخت در تمامی کرت‌های آزمایش مصرف شد. کود اوره (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) طی سه مرحله شامل ۵۰ درصد به صورت پایه، ۲۵ درصد در مرحله پنجه‌زنی (۲۵ روز بعد از نشاکاری) و ۲۵ درصد باقیمانده در مرحله تشکیل اولین جوانه خوشه در غلاف ساقه (۲۵ روز بعد از نشاکاری) به کرت‌های مورد نظر اضافه شد. سایر مدیریت‌های زراعی (کنترل علف‌های هرز و آفات و بیماری‌ها) بر اساس دستورالعمل مؤسسه تحقیقات برنج انجام شد.

در شرایط گلخانه‌ای، قطعات آزمایشی گلدان‌های پلاستیکی با قطر ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر بود.

## نتایج و بحث

## ارتفاع بوته

طبق نتایج به دست آمده از جدول تجزیه واریانس مشاهده شد که در شرایط مزرعه و گلخانه، تأثیر کود نیتروژن بر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد ( $P \leq 0/01$ )، اما اثر بیوجار و اثر متقابل منابع نیتروژن × بیوجار بر صفت ارتفاع بوته معنی دار نشد (جدول ۳ و ۴). در نتایج مشابهی، (Lai et al., 2017)، گزارش دادند که ارتفاع بوته برنج حدود ۶ الی ۱۰ هفته پس از نشاکاری در شرایط استفاده یا عدم استفاده از بیوجار اختلاف معنی داری از نظر آماری نداشت.

نتایج جدول مقایسه میانگین اثرات ساده منابع کود نیتروژن نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته ۱۱۲/۳ سانتی متر در

شرایط مزرعه و ۱۰۹/۷ سانتی متر در شرایط گلخانه، با کاربرد کود شیمیایی نیتروژن به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (جدول ۵۶). نیتروژن از طریق تولید و انتقال هورمون سیتوکینین از ریشه به اندام‌های هوایی، با افزایش سرعت تقسیم سلولی، موجب بهبود رشد رویشی شده و از این طریق موجب افزایش ارتفاع بوته و همچنین سرعت رشد محصول می‌گردد (Timothy and Joe., 2008) Fageria and Santos, 2008). گزارش کردند که افزایش ارتفاع بوته در مقادیر بالای نیتروژن، به دلیل نقش نیتروژن در افزایش طول میانگره‌ها و بهبود فرآیند فتوسنتز و متابولیسم است. سایر محققان نیز به نقش مؤثر نیتروژن در بهبود صفات مرفولوژیکی برنج اشاره داشتند، که مطابق با نتایج این تحقیق است (Dastan et al, 2012).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مرفولوژیکی و اجزای عملکرد برنج تحت تأثیر مقادیر بیوجار و منابع کود نیتروژن در شرایط مزرعه

منبع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	طول پانیکول	تعداد پنجه بارور در کپه	تعداد دانه پر در پانیکول	درصد باروری پانیکول	وزن هزار دانه
تکرار	۲	۰/۹۳	۰/۵۹	۱۰/۵۳	۱۳۷/۵۳	۲۸۹/۳۱	۱/۵۶
بیوجار	۲	۱۲/۰۳ <sup>ns</sup>	۲/۳۵ <sup>ns</sup>	۱/۸۲ <sup>ns</sup>	۱۳۸۷/۶۱ <sup>ns</sup>	۱۵۸/۱۸ <sup>ns</sup>	۰/۳۹ <sup>ns</sup>
منابع نیتروژن	۲	۳۰/۱۵۶ <sup>**</sup>	۱/۰۷ <sup>ns</sup>	۳۲/۳۱ <sup>**</sup>	۲۰۸/۱۰ <sup>ns</sup>	۳۱/۶۴ <sup>ns</sup>	۱/۱۰ <sup>ns</sup>
اثر متقابل	۴	۲۴/۸۴ <sup>ns</sup>	۰/۷۰ <sup>ns</sup>	۱/۹۰ <sup>ns</sup>	۲۶۷/۷۰ <sup>ns</sup>	۵۵/۲۳ <sup>ns</sup>	۰/۴۰ <sup>ns</sup>
خطا	۱۶	۲۱/۸۶	۱/۰۰	۳/۰۹	۸۴۲/۰۸	۲۲۰/۱۳	۰/۵۱
ضریب تغییرات	-	۴/۴۲	۳/۴۸	۱۵/۸۹	۲۳/۴۶	۱۹/۳۸	۲/۴۱

ادامه جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مرفولوژیکی و اجزای عملکرد برنج تحت تأثیر مقادیر بیوجار و منابع کود نیتروژن در شرایط مزرعه

منبع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	غلظت نیتروژن خاک	غلظت نیتروژن کاه	غلظت نیتروژن دانه
تکرار	۲	۵۲۴۸۲/۴۴	۸۲۲۳۳۹/۴۵	۱۶/۱۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۲۷
بیوجار	۲	۴۶۲۲۹۷/۱۶ <sup>ns</sup>	۱۹۴۰۰۰/۱۵ <sup>ns</sup>	۳/۳۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۱۳ <sup>**</sup>	۰/۰۰۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۴ <sup>ns</sup>
منابع نیتروژن	۲	۱۱۴۴۸۱۳۸/۳۳ <sup>**</sup>	۳۵۷۷۰۱۶۸/۸۹ <sup>**</sup>	۸۷/۰۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۴ <sup>*</sup>	۰/۱۵ <sup>**</sup>
اثر متقابل	۴	۳۲۱۶۶۶/۸۸ <sup>ns</sup>	۴۵۹۵۵۸۱/۸۰ <sup>ns</sup>	۱۰/۷۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۳ <sup>*</sup>	۰/۰۲۱ <sup>ns</sup>
خطا	۱۶	۹۸۴۷۰۴/۶۲	۲۲۳۱۸۳۰/۹	۳۴/۳۶	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۵۳
ضریب تغییرات	-	۲۲/۵۶	۱۷/۷۴	۱۰/۶۰	۹/۵۷	۲۰/۵۲	۱۱/۹۵

ns و \* و \*\*: به ترتیب عدم معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مرفولوژیکی و اجزای عملکرد برنج تحت تأثیر مقادیر بیوجار و منابع کود نیتروژن در شرایط گلخانه

منبع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	طول پانیکول	تعداد پنجه بارور در کپه	تعداد دانه پر در پانیکول	درصد باروری پانیکول	وزن هزار دانه
تکرار	۲	۵۷/۳۳	۴/۷۳	۹۰/۷۴	۶۵/۸۷	۴۰/۷۰	۱/۷۶
بیوجار	۲	۲۲/۳۳ <sup>ns</sup>	۲/۱۶ <sup>ns</sup>	۱۹۷/۱۸ <sup>ns</sup>	۴۵/۸۷ <sup>ns</sup>	۲۱/۸۱ <sup>ns</sup>	۰/۹۳ <sup>ns</sup>
منابع نیتروژن	۲	۲۸۳/۱۱ <sup>**</sup>	۱۰/۶۹ <sup>*</sup>	۳۲۵/۵۴ <sup>ns</sup>	۳۶۵/۲۴ <sup>**</sup>	۴۷۸/۳۷ <sup>**</sup>	۴/۹۰ <sup>ns</sup>
اثر متقابل	۲	۴۶/۹۴ <sup>ns</sup>	۲/۵۹ <sup>ns</sup>	۱۱۱۱/۸۸ <sup>*</sup>	۲۵۴/۴۶ <sup>**</sup>	۴۷/۳۱ <sup>**</sup>	۰/۳۳ <sup>ns</sup>
خطا	۱۶	۲۸/۱۶	۲/۴۳	۳۴۸/۶۱	۳۹/۱۷	۶/۸۷	۲/۴۰
ضریب تغییرات	-	۵/۱۳	۵/۸۳	۱۵/۱۲	۸/۰۲	۱۴/۵۹	۵/۳۰

ادامه جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مرفولوژیکی و اجزای عملکرد برنج تحت تأثیر مقادیر بیوجار و منابع کود نیتروژن در شرایط گلخانه

منبع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت	غلظت نیتروژن کاه	غلظت نیتروژن دانه
تکرار	۲	۱۹۷/۹۲	۱۰۰۳/۹۳	۲۲/۷۷	۰/۰۰۰۹۲	۰/۰۰۰۱۸
بیوجار	۲	۸۸/۲۸ <sup>ns</sup>	۲۲۵/۹۹ <sup>ns</sup>	۱/۲۴	۰/۰۰۲۶ <sup>**</sup>	۰/۰۳۳ <sup>**</sup>
منابع نیتروژن	۲	۳۹۹۹/۶۶ <sup>**</sup>	۱۳۷۹۴/۲۶ <sup>**</sup>	۳/۷۲	۰/۱۶ <sup>**</sup>	۰/۰۸۶ <sup>**</sup>
اثر متقابل	۲	۴۰۸/۵۲*	۹۶۹/۷۹*	۱۰/۴۲	۰/۰۰۷۸ <sup>**</sup>	۰/۰۰۵۶ <sup>**</sup>
خطا	۱۶	۹۰/۰۵	۲۶۹/۱۶	۱۵/۵۵	۰/۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۲
ضریب تغییرات	-	۱۹/۷۰	۱۸/۹۴	۷/۰۸	۱/۹۷	۲/۶۴

ns و \* و \*\*: به ترتیب عدم معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر منابع کود نیتروژن بر صفات مورد بررسی در شرایط مزرعه

منابع نیتروژن	ارتفاع بوته (سانتی متر)	تعداد پنجه بارور عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	غلظت نیتروژن در دانه (درصد)	طول پانیکول
شاهد	۱۰۱/۳b	۱۰/۵b	۳۷۸۰/۷b	۷۵۸۴/۸b	۲۸/۸۰a
کود شیمیایی نیتروژن	۱۱۲/۳a	۱۳/۲a	۵۶۹۸/۹a	۱۰۶۹۱/۹a	۲۹/۱۰a
تلقیح بذر با باکتری	۱۰۳/۶b	۹/۵b	۳۷۱۱/۹b	۶۹۷۴/۳b	۲۸/۴۱a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی داری ندارند.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر منابع کود نیتروژن بر صفات مورد بررسی در شرایط گلخانه

منابع نیتروژن	ارتفاع بوته (سانتی متر)	تعداد پنجه بارور در کپه	عملکرد دانه (گرم)	عملکرد بیولوژیک (گرم)	غلظت نیتروژن در دانه (درصد)	طول پانیکول
شاهد	۹۹/۵b	۱۴/۵b	۳۶/۲a	۶۴/۵a	۱/۱۱b	۲۵/۹ b
کود شیمیایی نیتروژن	۱۰۹/۷a	۲۶/۳a	۷۲/۴a	۱۳۱/۸a	۱/۳۵a	۲۸/۰a
تلقیح بذر با باکتری	۱۰۰/۶b	۱۳/۰b	۳۵/۶a	۶۳/۴a	۱/۱۳b	۲۶/۲b

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی داری ندارند.

### طول پانیکول

پانیکول می‌شود. هر چند علت اثرات مختلف بیوجار و نیتروژن به‌درستی مشخص نیست، اما به عقیده محققان می‌تواند مرتبط با زمان استفاده از بیوجار و منابع نیتروژن در گیاه برنج باشد (Xiaohong et al., 2020).

### تعداد پنجه بارور در کپه

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس، در شرایط مزرعه اثر کود نیتروژن بر تعداد پنجه بارور در کپه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود، اما استفاده از بیوجار تأثیر معنی داری بر این صفت نداشت. در شرایط گلخانه نیز، از نظر تعداد پنجه بارور در هر کپه، بین بیوجار و منابع نیتروژن اثر متقابل معنی داری در سطح احتمال پنج درصد وجود داشت (جدول ۳ و ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین تعداد پنجه بارور در کپه، با میانگین ۱۳/۲ عدد پنجه با کاربرد کود شیمیایی نیتروژن در شرایط مزرعه حاصل شد (جدول ۵). این نتیجه نقش مثبت و مؤثر نیتروژن را در بهبود رشد رویشی و افزایش تعداد پنجه در گیاه برنج نشان می‌دهد (Bagayoko et al., 2012). گزارش‌های

طبق نتایج تجزیه واریانس، در شرایط مزرعه با تغییر مقادیر بیوجار و تغییر منابع کود نیتروژن اختلاف معنی داری در طول خوشه ایجاد نشد، اما در شرایط گلخانه اختلاف بین سطوح منابع نیتروژن از نظر طول پانیکول در سطح احتمال پنج درصد ( $P \leq 0.05$ ) معنی دار بود (جدول ۳ و ۴). در نتایج مشابهی، مطالعات سایر محققان نیز حاکی از عدم تأثیر بیوجار (Hassanzadeh et al., 2007) و کود نیتروژنه (Lai et al., 2017) بر طول پانیکول گیاه برنج است. بیشترین طول خوشه در شرایط گلخانه در تیمار کود شیمیایی نیتروژن با میانگین ۲۸ سانتی‌متر به دست آمد (جدول ۶). (Hassanzadeh et al., 2007) در نتایج مشابه بیان کردند که طول پانیکول چندان تحت تأثیر باکتری‌ها قرار نگرفت. (Lai et al., 2017) گزارش کردند که تفاوت معنی داری بین کاربرد نیتروژن (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) به تنهایی و کاربرد ترکیبی نیتروژن (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و بیوجار از نظر طول خوشه وجود ندارد، اما (Ali et al., 2020) گزارش کردند که افزودن بیوجار و نیتروژن به خاک باعث افزایش قابل توجه طول

کاربرد جداگانه نیتروژن (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و مصرف ترکیبی نیتروژن (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و بیوجار اختلاف معنی‌داری از نظر تعداد خوشه در کپه مشاهده نشد.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثرات متقابل مقادیر بیوجار و منابع کود نیتروژن در شرایط مزرعه

مقدار بیوجار (تن در هکتار)	منابع نیتروژن	غلظت نیتروژن کاه (درصد)
	شاهد	۰/۴۸ab
۰	کود شیمیایی نیتروژن	۰/۶۳a
	تلقیح بذر با باکتری	۰/۳۲b
۲۰	شاهد	۰/۳۲b
	کود شیمیایی نیتروژن	۰/۴۸ab
	تلقیح بذر با باکتری	۰/۴۸ab
۴۰	شاهد	۰/۴۰b
	کود شیمیایی نیتروژن	۰/۴۸ab
	تلقیح بذر با باکتری	۰/۴۸ab

به‌دست آمده حاکی از آن است که کاربرد نیتروژن در مراحل رشد رویشی و زایشی به‌خصوص مرحله پنجه‌زنی از طریق بهبود فرآیند فتوسنتز و افزایش سطح برگ موجب بهبود رشد برنج می‌شود (Fallah et al., 2018) که می‌تواند به دلیل افزایش شاخص سطح برگ، کلروفیل و همچنین بهبود فرآیند فتوسنتز باشد (Kheyri et al., 2018). این نتایج توسط سایر محققان نیز مورد تأیید قرار گرفت (Jahan et al., ; Lai et al., 2017 ; Ali et al., 2020).

در آزمایش گلخانه‌ای، حداکثر تعداد پنجه بارور (۳۳ پنجه) با استفاده ترکیبی از بیوجار (۴۰ تن در هکتار) و نیتروژن (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد (جدول ۸). محققان افزایش تعداد پنجه‌های بارور در هر کپه را با استفاده ترکیبی نیتروژن و بیوجار به دلیل بهبود خواص فیزیکی‌شیمیایی خاک و افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاه دانسته‌اند (Lai et al., 2017). لای و همکاران (Lai et al., 2017) نیز گزارش دادند که بین

جدول ۸- مقایسه میانگین اثرات متقابل مقادیر بیوجار و منابع کود نیتروژن در شرایط گلخانه

مقدار بیوجار (تن در هکتار)	منابع نیتروژن	تعداد پنجه بارور در کپه	تعداد دانه در پانیکول	درصد باروری پانیکول	عملکرد دانه (گرم)	عملکرد بیولوژیک (گرم)	غلظت نیتروژن کاه (درصد)	غلظت نیتروژن دانه (درصد)
۰	شاهد	۱۶/۶۶ c	۹۶/۱۱ b	۶۹/۱۵ cd	۴۰/۵۸ c	۷۱/۰۸ c	۰/۳۱f	۰/۴۷e
	کود شیمیایی نیتروژن	۲۳/۶۶ b	۱۳۹/۲۲ a	۷۸/۰۲ bc	۶۱/۰۶ b	۱۱۳/۳۲ b	۰/۵۱d	۰/۶۳c
	تلقیح بذر با باکتری	۱۳/۳۳ c	۱۲۰/۳۳ ab	۸۴/۹۷ ab	۳۳/۹۹ c	۵۹/۳۱ c	۰/۵۸c	۰/۶۰d
۲۰	شاهد	۱۴/۶۶ c	۱۴۷/۵۶ a	۸۷/۲۰ ab	۴۰/۸۳ c	۷۲/۱۷ c	۰/۴۷e	۰/۳۸g
	کود شیمیایی نیتروژن	۲۲/۳۳ b	۱۱۷/۵۶ ab	۶۳/۹۹ d	۶۶/۲۴ b	۱۲۳/۷۳ b	۰/۶۱b	۰/۶۸b
	تلقیح بذر با باکتری	۱۲/۳۳ c	۱۱۸/۵۶ ab	۷۷/۳۹ bc	۳۶/۳۱ c	۶۶/۳۹ c	۰/۶۳ab	۰/۶۸b
۴۰	شاهد	۱۲/۳۳ c	۱۱۵/۴۴ ab	۸۸/۹۸ a	۲۷/۴۵۷ c	۵۰/۳۲ c	۰/۵۱d	۰/۴۳f
	کود شیمیایی نیتروژن	۳۳/۰۰ a	۱۳۴/۳۳ a	۷۰/۰۶ cd	۹۰/۱۷ a	۱۵۸/۳۸ a	۰/۵۸c	۰/۶۶b
	تلقیح بذر با باکتری	۱۳/۳۳ c	۱۲۱/۷۸ ab	۸۲/۶۵ ab	۳۶/۷۱۳ c	۶۴/۷۸ c	۰/۶۴a	۰/۷۱a

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی‌داری ندارند.

### تعداد دانه پر در پانیکول

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، در شرایط مزرعه؛ صفت تعداد دانه پر در پانیکول تحت تأثیر اثرات ساده بیوجار، منابع نیتروژن و اثر متقابل فاکتورهای آزمایش قرار نگرفت (جدول ۳). نتایج سایر محققان نیز نشان داد که با کاربرد مقادیر مختلف نیتروژن تفاوت معنی‌داری در تعداد دانه پر در پانیکول در مناطق مورد مطالعه ایجاد نشده است (Xiaohong et al., 2020 ; et al., 2011). (Waqas ; et al., 2017 Cui ; Hirzel et al., 2020).

در بیان علت عدم تأثیر بیوجار بر تعداد دانه پر گیاه برنج، در منابع مختلف، به مدت‌زمان تأثیر بیوجار بر رشد گیاهان اشاره شده و گزارش شده است که با گذشت زمان اثرات مثبت بیوجار

بیشتر مشخص خواهد شد (Schulz et al., 2014).

اما در شرایط گلخانه، این صفت از نظر منابع نیتروژن و اثرات متقابل بین بیوجار و نیتروژن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). حداکثر تعداد دانه‌های پر شده در هر پانیکول (۱۴۷/۵ دانه) با استفاده از تیمار شاهد× بیوجار ۲۰ تن در هکتار به دست آمد. همچنین، بیشترین درصد باروری پانیکول (۸۸/۹ درصد) با استفاده از تیمار شاهد× بیوجار ۴۰ تن در هکتار به دست آمد، درحالی‌که کمترین باروری پانیکول (۶۹/۱ درصد) در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۸). این نتایج نشان داد که در تمام تیمارهایی که بیوجار یا یکی از منابع نیتروژن به‌تنهایی یا به‌صورت ترکیبی استفاده شده است، تعداد دانه‌های پر شده در





مقادیر بیشتر تأثیر معنی‌داری بر وزن دانه نخواهد داشت. این نتایج در مطالعات کوئی و همکاران نیز تأیید شد (Cui et al., 2017).

#### عملکرد دانه

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که در شرایط مزرعه اثرات اصلی منابع کود نیتروژن بر عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد ولی عملکرد تحت تأثیر اثرات ساده مقدار بیوجار و اثر متقابل بیوجار و منابع نیتروژن قرار نگرift (جدول ۳). مقایسه میانگین نیز نشان داد که حداکثر عملکرد دانه با میانگین ۵۶۹۸/۹ کیلوگرم در هکتار در تیمار کود شیمیایی نیتروژن در شرایط مزرعه به‌دست‌آمده است و در شرایط عدم مصرف نیتروژن و همچنین کاربرد باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، عملکرد به ترتیب حدود ۳۳/۶ و ۳۴/۸ درصد کاهش یافت (جدول ۵).

در شرایط گلخانه نیز تأثیر اصلی منابع نیتروژن و همچنین اثر متقابل بین بیوجار و منابع نیتروژن بر عملکرد دانه برنج معنی‌دار شد (جدول ۴). و حداکثر عملکرد دانه (۹۰/۱ گرم) با استفاده ترکیبی از بیوجار (۴۰ تن در هکتار) و کود شیمیایی نیتروژن (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) بدست آمد (جدول ۶). طبق مطالعات صورت گرفته علت این امر می‌تواند به واسطه بهبود پارامترهای رشد از جمله افزایش اجزای عملکردی به‌خصوص تعداد پنجه بارور به عنوان یکی از صفات اجزای عملکرد دانه برنج باشد (Jafari et al., 2013; Che et al., 2015). نتایج حاصل از بررسی‌های به عمل آمده توسط سایر محققان در زمینه تأثیر کود نیتروژن بر عملکرد برنج با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد (Iqbal et al., 2019; Mohammadian et al., 2019).

نیتروژن با تعیین ظرفیت عملکرد در هر دو مرحله رویشی و زایشی و همچنین افزایش سطح برگ بر عملکرد برنج تأثیر می‌گذارد (Faraji et al., 2012). افزایش عملکرد دانه در اثر مصرف نیتروژن در میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط مزرعه را می‌توان به بهبود غلظت نیتروژن در دانه برنج و به دلیل افزایش ویژگی‌های عملکردی، به‌ویژه تعداد پنجه بارور در هر کپه، نسبت داد. کاربرد ترکیبی نیتروژن و بیوجار عملکرد دانه را در آزمایش گلدان با تأمین مواد مغذی برای گیاه باروری و همچنین بهبود حاصلخیزی خاک افزایش داد. بیوجار با افزایش جمعیت میکروبی خاک، افزایش مواد آلی خاک و همچنین افزایش فعالیت آنزیم-های خاک بر رشد محصول تأثیر می‌گذارد (Yao et al., 2017). در تحقیق حاضر، استفاده از بیوجار به تنهایی اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه برنج نداشت. کاهش عملکرد دانه در شرایطی که

پانیکول افزایش می‌یابد. (Ali et al., 2020) گزارش کرد که استفاده از بیوجار به میزان ۶۰ تن در هکتار به همراه کود نیتروژن به طور معنی‌داری درصد دانه پر را افزایش داد. برخی از محققان گزارش کردند که بینمصرف بیوجار و تیمار شاهد یا عدم مصرف بیوجار اختلاف معنی‌داری از نظر تعداد خوشه بارور در خوشه برنج وجود نداشت (Cui et al., 2017)، که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

#### درصد باروری پانیکول

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، در شرایط مزرعه؛ صفت درصد باروری پانیکول تحت تأثیر اثرات ساده بیوجار، منابع نیتروژن و اثر متقابل فاکتورهای آزمایش قرار نگرift (جدول ۳). این نتایج مشابه نتایج به‌دست‌آمده در مطالعات سایر محققان است (Cui et al., 2017; Waqas et al., 2020).

اما در شرایط گلخانه، این صفت از نظر منابع نیتروژن و اثرات متقابل بین بیوجار و نیتروژن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). حداکثر میانگین درصد باروری پانیکول در سطح شاهد نیتروژن و بیوجار ۴۰ تن در هکتار با میانگین ۸۸/۹۸ به‌دست‌آمده که البته با تلقیح بذر با باکتری × دو سطح بیوجار شاهد و ۴۰ تن در هکتار و همچنین بیوجار ۲۰ تن در هکتار × شاهد نیتروژن اختلاف آماری معنی‌داری نداشت (جدول ۸). در مطالعات انجام شده، محققان شرایط کنترل‌شده گلخانه را در تأثیر باکتری بر صفات زراعی در مقایسه با شرایط مزرعه مؤثر دانسته‌اند (Cui et al., 2017). به نظر می‌رسد استفاده ترکیبی نیتروژن و بیوجار با تأمین مواد مغذی برای گیاه و همچنین بهبود حاصلخیزی خاک باعث افزایش درصد باروری پانیکول در آزمایش گلخانه‌ای شده است. عدم تأثیر استفاده از بیوجار به‌تنهایی ممکن است به دلیل عدم دسترسی به مواد مغذی ضروری مانند نیتروژن و فسفر حاصل از بیوجار برای جذب توسط گیاه باشد (Oladele et al., 2019).

#### وزن هزار دانه

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر هیچ یک از تیمارهای مورد آزمایش در شرایط مزرعه و گلخانه بر وزن هزار دانه معنی‌دار نشد (جدول ۳ و ۴). از نظر محققان، اندازه دانه در برنج توسط پوسته کنترل می‌شود به همین دلیل تغییرات وزن هزار دانه با مصرف مواد مغذی تغییر چندانی نکرده است (Saha et al., 1998).

(Pramanik and Bera., 2013) نیز نشان دادند که مصرف نیتروژن تا یک مقدار مشخصی (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) موجب افزایش وزن هزار دانه و در نهایت عملکرد دانه برنج می‌شود و در



حدود ۲۹/۱ و ۳۴/۸ درصد کاهش یافت (جدول ۵). در شرایط گلخانه حداکثر عملکرد بیولوژیک (۳/۱۵۸ گرم) با استفاده ترکیبی از بیوجار (۴۰ تن در هکتار) و کود شیمیایی نیتروژن (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد (جدول ۸). محققان علت این امر را فراهمی نیتروژن مورد نیاز گیاه و افزایش رشد رویشی و زایشی گیاه دانستند که در نتیجه آن عملکرد بیولوژیک افزایش می‌یابد.

(Oladele et al., 2019; et al., 2009 Asai ; Iqbal et al., )

در نتایج مشابهی در خصوص عدم تأثیر بیوجار به تنهایی بر عملکرد بیولوژیک (Waqas et al. 2020) گزارش کردند که تأثیر بیوجار بر روی خاک‌های مختلف متفاوت است و به دسترسی عناصر مغذی موجود در خاک وابسته است.

#### شاخص برداشت

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که شاخص برداشت تحت تأثیر اثرات اصلی مقدار بیوجار، منابع کود نیتروژن و اثر متقابل فاکتورهای آزمایش در شرایط مزرعه و گلخانه قرار نگرفت (جدول ۳ و ۴). این نتایج در مطالعات سایر محققان نیز اثبات شده است (Ali et al., 20; Iqbal et al., 2019 ; Oladele et al., 2019).

(Huang et al., 2019) در این خصوص گزارش کردند که

دلیل عدم تأثیر بیوجار بر عملکرد گیاه برنج هنوز به درستی مشخص نشده است، اما طبق مطالعات صورت گرفته بیوجار در برنج تنها موجب افزایش بیوماس می‌شود و شاخص برداشت در برنج افزایش نمی‌یابد. محققان در گزارش‌های مشابه دیگری این مسئله را مرتبط با میزان حضور عناصر غذایی و حاصلخیزی خاک دانسته‌اند و دریافته‌اند تأثیر بیوجار بر روی خاک‌هایی با حاصلخیزی کمتر بیشتر خواهد بود و در این خاک‌ها، باید اثرات طولانی مدت بیوجار را بررسی کرد (Butnan Wang et al., 2016; et al., 2015).

#### غلظت نیتروژن خاک

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد در شرایط مزرعه که از نظر غلظت نیتروژن خاک، اختلاف آماری معنی‌داری بین سطوح بیوجار در سطح احتمال یک درصد بود، اما از نظر منابع نیتروژن اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳)، هرچند میزان نیتروژن خاک با استفاده از کود شیمیایی بیشتر شد اما میزان این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نبود. نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی بیوجار نشان داد که بیشترین غلظت نیتروژن خاک با میانگین ۰/۴۵ و ۰/۴۳ درصد با کاربرد بیوجار در مقادیر ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار به دست آمد (جدول ۹). محققان استفاده

بیوجار به تنهایی استفاده می‌شود ممکن است به دلیل عدم دسترسی به مواد مغذی ضروری مانند نیتروژن و فسفر از بیوجار برای جذب گیاه باشد (Oladele et al., 2019). برخی از محققان به تأثیر زمان و طولانی بودن زمان جهت تأثیر بیوجار بر رشد گیاهان اشاره داشتند و گزارش کردند که اثرات مثبت بیوجار با گذشت زمان نمایان می‌شود (Xiaohong et al., 2020; Gebremedhin et al., 2015). کاربرد مداوم و طولانی مدت بیوجار می‌تواند از طریق افزایش کارایی نیتروژن سبب بهبود عملکرد دانه برنج گردد (Huang et al., 2018). طبق مطالعات صورت گرفته حتی در شرایط استفاده از بیوجار، وابستگی برنج به کود نیتروژن کاهش پیدا نمی‌کند (Cui et al., 2017 ; Oladele et al., 2019) ; (Dong et al., 2015 ;

مطالعه‌ای بر مبنای کاربرد زغال زیستی در اراضی شالیزاری در شهر یانگان استان هونان، چین، طی دو سال نشان داد که عملکرد دانه (۴ تا ۱۰ درصد)، تعداد خوشه چه در مترمربع (۱۱ تا ۱۲ درصد)، زیست توده (۸ تا ۱۳ درصد)، تعداد خوشه در مترمربع (۵ تا ۱۳ درصد) و تعداد خوشه چه در خوشه (متوسط ۸ درصد) افزایش داشت (Huang et al., 2019). همچنین نتایج مطالعه دیگر در ارتباط با برنج نشان داد که مصرف هم‌زمان ۱۲ تن در هکتار زغال زیستی به همراه کود نیتروژن (اوره) سبب افزایش ۷۱ درصدی تعداد خوشه در مترمربع، ۲۴ درصدی دانه پر، ۷۸ درصدی عملکرد دانه و ۱۶ درصدی وزن هزار دانه در مقایسه با شاهد شده است (Oladele et al., 2019). وی علت این اثرات مثبت را علاوه بر تأثیر مستقیم زغال زیستی در تأمین عناصر ضروری گیاه برنج، ناشی از بهبود شرایط خاک و تغییرات شیمیایی و فیزیکی ناشی از مصرف زغال زیستی و در نهایت افزایش کارایی مصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم قابل جذب در خاک‌های مورد مطالعه دانست (Jeffery et al., 2011; Lai et al., 2017).

#### عملکرد بیولوژیک

طبق نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس در شرایط مزرعه اثر منابع کود نیتروژن بر عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، اما اثر سایر تیمارها از نظر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار نشد (جدول ۳). در شرایط گلخانه علاوه بر منابع کود نیتروژن، اثر متقابل بیوجار و نیتروژن نیز بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین منابع کود نیتروژن در شرایط مزرعه نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک با میانگین ۱۰۶۹۱/۹ کیلوگرم در هکتار با مصرف کود شیمیایی نیتروژن حاصل شد در حالی که با عدم کاربرد نیتروژن و کاربرد باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، عملکرد بیولوژیک به ترتیب

گردید. محققان افزایش مقدار نیتروژن در اثر مصرف بیوپچار را در نتیجه افزایش قابلیت دسترسی به عناصر نیتروژن در این شرایط دانستند، که به نظر می‌رسد در شرایط گلخانه به دلیل کنترل شرایط دما و رطوبت تأثیر باکتری مؤثر بوده و عناصر غذایی حاصل از بیوپچار به خوبی در دسترس گیاه قرار گرفته است (Mavi et al., 2018; Azhar et al., 2017; Huang et al., 2018).

#### غلظت نیتروژن دانه

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که از نظر غلظت نیتروژن دانه در شرایط مزرعه، اثرات اصلی کود نیتروژن در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد و اثرات اصلی بیوپچار و اثر متقابل بیوپچار و منابع نیتروژن در این صفت معنی دار نشد (جدول ۳). اما در شرایط گلخانه، اثرات اصلی منابع نیتروژن، بیوپچار و اثر متقابل بیوپچار و منابع نیتروژن در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۴). نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد که حداکثر غلظت نیتروژن دانه در شرایط مزرعه با میانگین ۱/۳۵۰ درصد با کاربرد کود شیمیایی نیتروژن به دست آمد، در حالی که حداقل غلظت نیتروژن دانه در شرایط عدم مصرف نیتروژن (۱/۱۱۰ درصد) و مصرف باکتری (۱/۱۳۶ درصد) مشاهده شد (جدول ۸). در شرایط گلخانه حداکثر غلظت نیتروژن دانه با میانگین (۰/۶۴ میلی گرم بر کیلوگرم) با کاربرد باکتری × بیوپچار ۴۰ تن در هکتار به دست آمد، که تفاوت معنی داری با کاربرد بیوپچار به میزان ۲۰ تن در هکتار (۰/۶۳ میلی گرم بر کیلوگرم) نداشت (جدول ۶). طبق مطالعات انجام شده، جذب نیتروژن در برنج به دسترسی یا عدم دسترسی نیتروژن در خاک مرتبط می‌باشد (Huang et al., 2019) و فراهمی نیتروژن در مرحله رشد زایشی به دلیل انتقال نیتروژن موجود در ساقه و برگ به پانیکول و دانه‌های در حال نمو موجب افزایش غلظت نیتروژن در دانه می‌گردد (Moslehi et al., 2018; Razavipour et al., 2018).

#### نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با کاربرد کود شیمیایی نیتروژن به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در شرایط مزرعه تعداد پنجه بارور در کبه، عملکرد دانه و غلظت نیتروژن در دانه و کاه به ترتیب حدود ۲۰/۴، ۳۳/۶، ۱۷/۸ و ۲۴/۷ درصد در مقایسه با عدم مصرف نیتروژن افزایش یافت. کاربرد جداگانه بیوپچار در شرایط مزرعه و گلخانه تغییر معنی داری ایجاد نکرد ولی مصرف آن در مقادیر ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار در شرایط مزرعه منجر به افزایش حدود (۲۵ درصدی) غلظت نیتروژن در خاک گردید. و اثرات متقابل تیمارها در شرایط مزرعه در میزان نیتروژن کاه معنی دار بود. همچنین به

از بیوپچار را یکی از مهمترین روش‌های مدیریتی برای تنظیم وضعیت نیتروژن در خاک دانسته‌اند (Lehmann et al., 2003). بررسی‌های انجام شده توسط سایر پژوهشگران نیز حاکی از اثرات مثبت بیوپچار بر خصوصیات خاک می‌باشد (Ghorbani et al., 2019). محققان توانایی فراوان بیوپچار را در نگهداری مواد غذایی و جلوگیری از آبشویی نیتروژن را از دلایل تأثیر مثبت بیوپچار بر نیتروژن خاک دانسته‌اند (Jemal et al., 2016).

جدول ۹- مقایسه میانگین اثرات مقادیر بیوپچار بر غلظت نیتروژن خاک در

شرایط مزرعه	
غلظت نیتروژن خاک (درصد)	مقدار بیوپچار (تن در هکتار)
۰/۳۶b	۰
۰/۴۵a	۲۰
۰/۴۳a	۴۰

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشابه در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD اختلاف معنی داری ندارند.

#### غلظت نیتروژن کاه

طبق نتایج به دست آمده از جدول تجزیه واریانس، در شرایط مزرعه تأثیر منابع کود نیتروژن و همچنین اثر متقابل بیوپچار و منابع نیتروژن بر غلظت نیتروژن کاه در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود (جدول ۳). در شرایط گلخانه اثر ساده منابع کود نیتروژن و بیوپچار و همچنین اثر متقابل بیوپچار و منابع نیتروژن بر غلظت نیتروژن کاه در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۴). نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها نیز نشان داد که در شرایط مزرعه حداکثر غلظت نیتروژن کاه با میانگین ۰/۶۳ کیلوگرم در هکتار در تیمار مصرف کود شیمیایی نیتروژن و عدم مصرف بیوپچار حاصل شد. در شرایط گلخانه نیز حداکثر غلظت نیتروژن کاه در تیمار تلفیح بذر با باکتری × بیوپچار به میزان ۴۰ تن در هکتار با میانگین ۰/۷۱ میلی گرم بر کیلوگرم به دست آمد (جدول ۸). طبق این نتایج مصرف جداگانه کود شیمیایی نیتروژن در شرایط مزرعه منجر به حصول بیشترین غلظت نیتروژن کاه گردید و در شرایط ترکیب بیوپچار با کود شیمیایی نیتروژن، از غلظت نیتروژن در کاه کاسته شد، هرچند این کاهش از نظر آماری معنی دار نبود. افزایش غلظت نیتروژن در کاه برنج با مصرف کود شیمیایی نیتروژن در نتایج (Moslehi et al., 2016) نیز گزارش شده است که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. هوآنگ و همکاران (Huang et al., 2018) بیان داشتند که کاربرد بیوپچار موجب افزایش نیتروژن خاک و کاهش جذب نیتروژن در برنج شد. از طرفی ماوی و همکاران (Mavi et al., 2018) گزارش دادند که افزایش مقدار مصرف بیوپچار منجر به افزایش قابلیت دسترسی به عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم

استفاده از بیوجار برای افزایش باروری خاک مناسب می‌باشد. استفاده از باکتری جهت افزایش حاصلخیزی خاک نیز در شرایط کنترل شده می‌تواند نتایج مطلوب داشته باشد. طبق نتایج به دست آمده پژوهشگران بیوجار در اثر کاربرد بلندمدت نتایج بهتری می‌دهد در نتیجه محیط زیست سالم تری را فراهم می‌نماید و مصرف کودهای زیستی در صورت همراهی با کود شیمیایی نیتروژنی می‌تواند به عنوان کودهای مکمل نیتروژن جهت کاهش مقدار مصرف کود شیمیایی نیتروژن و به تبع آن کاهش اثرات زیست محیطی مناسب باشند که این موضوع خود حرکتی در راستای اهداف کشاورزی پایدار می‌باشد. پیشنهاد می‌شود مطالعات و آزمایش‌های بیشتری در مدت زمان طولانی به خصوص در شرایط مزرعه بر روی ارقام برنج مورد بررسی قرار گیرد.

### سپاس‌گزاری

بدین وسیله از کارکنان و رئیس ایستگاه تحقیقات برنج شهید شیرودی شهرستان تنکابن و کلیه کسانی که در مراحل اجرای این پژوهش همکاری کردند، سپاس‌گزاری می‌نمایم.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

### REFERENCES

- Ajayi, A. E. and Horn, R. (2016). Modification of chemical and hydrophysical properties of two texturally differentiated soils due to varying magnitudes of added biochar. *Soil Tillage Research*. 164, 34-44.
- Ali, I., He, L., Ullah, S., Quan, Z., Wei, S., Iqbal, A., Munsif, F., Shah, T., Xuan, Y., Luo, Y., Tianyuan, L., and Ligeng, J. (2020). Biochar addition coupled with nitrogen fertilization impacts on soil quality, crop productivity, and nitrogen uptake under double-cropping system. *Food and Energy Security* 9(3), 1-20.
- Asai, H., Samson, B. K., Stephan, H. M., Songyikhangsuthor, K., Homma, K., Kiyono, Y., Inoue, Y., Shiraiwa, T., and Horie, T. (2009). Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Research*. 111(1-2), 81-84.
- Azhar, A., Muhammad, Y., Muhammad, K., Muhammad, N., Muhammad, Z., Yasir, H., and Saleem, M. (2017). Effect of Biochar Amended Urea on Nitrogen Economy of Soil for Improving the Growth and Yield of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Under Field Condition, *Journal of Plant Nutrition*, 40, 2303-2311.
- Bagayoko, M. (2012). Effects of plant density, organic matter and nitrogen rates on rice yields in the system of rice intensification (SRI) in the "office du niger" in Mali. *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*. 7(8), 620-632.
- Bashan, Y., Holguin, G., and de-Bashan, L. E. (2004). Azospirillum-plant relationships: Physiological, molecular, agricultural and environmental advances. *Canadian Journal of Microbiology* 50, 521-577.
- Bewley, J. D., Bradford, K., and Hilhorst, H. (2012). Seeds: physiology of development, germination and dormancy. Springer Science & Business Media.
8. Butnan, S., Deenik, J. L., Toomsan, B., Antal, M. J., and Vityakon, P. (2015). Biochar characteristics and application rates affecting corn growth and properties of soils contrasting in texture and mineralogy. *Geoderma* 237, 105-106.
9. Che, S. G., Zhao, B. Q., Li, Y. T., Yuan, L., Li, W., Lin, Z. A., Hu, S.W., and Shen B. (2015). Review grain yield and nitrogen use efficiency in rice production regions in China. *Journal of Integrative Agriculture*. 14(12), 2456-2466.
10. Chen, J. (2006). The combined use of chemical and organic fertilizers and biofertilizer for crop growth and soil fertility. International Workshop on Sustained Management of the Soil-Rhizosphere System for Efficient Crop Production and Fertilizer Use. Thailand. 11pp.
11. Cui, Y. F., Meng, J., Wang, Q. X., Zhang, W. M., Cheng, X. Y., and Chen, W. F. (2017). Effect of straw and biochar addition on soil nitrogen, carbon, and super rice yield in cold waterlogged



- paddy soils of north China. *Journal of Integrative Agriculture*. 16(5), 1064-1074.
12. Dastan, S., Siavoshi, M., Zakavi, D., Ghanbari Malidarreh, A., Yadi, R., Ghorbannia, E., and Nasiri, A. (2012). Application of nitrogen and silicon rates on morphological and chemical lodging related characteristics in rice (*Oryza sativa*) north of Iran. *Journal of Agriculture Science*. 4(6), 12-18.
  13. Djaman, K., Mel, V.C., Ametonou, F. Y., El-Namaky, R., Diallo, M. D., and Koudahe, K. (2018). Effect of nitrogen fertilizer dose and application timing on yield and nitrogen use efficiency of irrigated hybrid rice under semi-arid conditions. *Journal of Agricultural Science and Food Research*. 9(2), 223.
  14. Dong, D., Feng, Q., McGrouther, K., Yang, M., Wang, H., and Wu, W. (2015). Effects of biochar amendment on rice growth and nitrogen retention in a waterlogged paddy field. *Journal of Soils and Sediments*. 15, 153-162.
  15. Erfani, R., Abadian, H., Amooghli Tabari, M., Nasiri, M., and Maleki, A. (2020). New rice cultivation instructions Tisa, pp. 1516. Egamberdieva, D., and Lugtenberg, B. (2014). Use of plant growth-promoting rhizobacteria to alleviate salinity stress in plants. In: Miransari, M. (Ed.) *Use of microbes for the alleviation of soil stresses*. Springer. New York. pp. 73-96.
  17. Fageria, N. K., and Santos, A. B. (2008). Yield physiology of dry Bean. *Journal of Plant Nutrition*. 31, 983-1004.
  18. Fallah A., Mohammadian, M., Fathai, N., and Elyasi, H. (2018). Interactive effect of nitrogen and variety on agronomical characteristics, yield and quality of grain of rice in replanting. *Journal of Applied Research of plant Echophysiology*. 4(2), 29-48. (In Persian).
  - Faraji, F., Esfehiani, M., Kavooosi, M., Nahvi, M. and B, Rabiyyi. )2012(. Effects of split application and levels of nitrogen fertilizer on growth indices and grain yield of rice (*Oryza sativa* Cv. Khazar). *Iranian Journal of Field Crop Science*. 43(2): 323-333.
  - Fathi, A., Farnia, A., and Maleki, A. (2013). Effects of nitrogen and phosphorous biofertilizers on yield and yield components of corn AS71 in Darehshahr, Iran. *Journal of Crop Ecophysiology*. 7(1), 105-114. (In Persian).
  21. 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.
  22. Ghorbani, M., Asadi, H., and Abrishamkesh, S. (2019). Effects of rice husk biochar on selected soil properties and nitrate leaching in loamy sand and clay soil. *International Soil and Water Conservation Research*. 7, 258-265.
  23. Glaser, B., Wiedner, K., Seelig, S., Schmidt, H., and Gerber, H. (2015). Biochar organic fertilizers from natural resources as substitute for mineral fertilizers. *Agronomy for Sustainable Development* 35, 667-678.
  24. Hassanzadeh, E., Mazaheri, D., Chaichi, M. R., and Khavazi, K. (2007). Efficiency of phosphorus solubilizing bacteria and phosphorus chemical fertilizer on yield and yield components of barley cultivar (Karoon Dar Kavir). *Pajouhesh and Sazandegi*. 77, 111-118. (In Persian).
  25. Hirzel, J., Pedreros, A., and Cordero K. (2011). Effect of nitrogen rates and split nitrogen fertilization on grain yield and its components in flooded rice. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 71(3), 437-444.
  26. Huang, M., Fan, L., Chen, J., Jiang, L., and Zou, Y. (2018). Continuous applications of biochar to rice: Effects on nitrogen uptake and utilization. *Scientific Reports*. 8(1), 11461.
  27. Huang, M., Fan, L., Jiang, L. G., Yang, S. Y., Zou, Y. B., and Norman, U. (2019). Continuous applications of biochar to rice: Effects on grain yield and yield attributes. *Journal of Integrative Agriculture*. 3, 563-570.
  28. Huang, M., Fan, L., Jiang, L., Yang, S., Zou, Y., and Uphoff, N. (2019). Continuous applications of biochar to rice: Effects on grain yield and yield attributes. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(3), 563-570.
  - Iqbal, T., Ortaş, I., Isik, A., and Islam, M. (2019). Rice straw biochar amended soil improves wheat productivity and accumulated phosphorus in grain. *Journal of Plant Nutrition*. 42, 1605-1623.
  - Islam, S.M.M., Gaihre, Y. K., Shah, A.L., Singh, U., Sarkar, M.I.U., Satter, M. A., Sanabria, J., and Biswas, J.C. (2016). Rice yields and nitrogen use efficiency with different fertilizers and water management under intensive lowland rice cropping systems in Bangladesh. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 106,143-156.
  - Jackson, M.L. (1973). *Soil Chemical Analysis*. Prentice Hall Grice, Englewood Cliffs. <https://doi.org/10.1002/jpln.19590850311>.
  - Jafari, H., Dastan, S., Moshtaghian, M. R., Mohammadi, B., and Valaei, L. (2013). Effects of weeds control and nitrogen application on weeds and rice characteristics in Iranian paddy field. *Electronic Journal of Biology*. 9(4) :77-83.
  - Jahan, A., Islam, A., Sarkar, M.D.I.U., Iqbal, M., Ahmed, M.D.N., and Islam, M.D.R. (2020). Nitrogen response of two high yielding rice varieties as influenced by nitrogen levels and growing seasons. *Geology, Ecology, and Landscapes*.1-8.
  34. Jeffery, S., Verheijen, F., van der Velde, M., and Bastos, A. (2011). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, ecosystems & environment*, 144(1), 175-187.
  35. Jemal, K., and Abebe, A. (2016). Determination of bio-char rate for improved production of Lemmon grass. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research* 4 (2), 149-

- 157.
36. Karhu, K., Mattila T., Bergstrom, I., and Regina, K. (2011). Biochar addition to agricultural soil increased CH<sub>4</sub> uptake and water holding capacity—results from a short-term pilot field study. *AgricEcosyst Environ.* 140, 309–313.
37. Kheyri, N., Niknejad, Y., and Abbasalipour, M. (2018). The effects of using organic and biological fertilizer along with lower rate of chemical nitrogen fertilizer on quality and quantity of rice yield. *Journal of Crop Ecophysiology.* 12(3), 445-460. (In Persian).
38. Lai, L., Ismail, M. R., Muharam, F. M., Yusof, M. M., Ismail, R., and Jaafar, N. M. (2017). Effect of rice straw biochar and nitrogen fertilizer on rice growth and yield. *Asian Journal of Crop Science.* 9(4), 159-166.
39. Lehmann, J. (2007). A handful of carbon. *Nature.* 447, 143–144.
40. Lehmann, J., Silva, J.P.D., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., and Glaser, B. (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological anthrosol and a ferralsol of the Central Amazon Basin: Fertiliser, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil.* 249, 343–357.
41. Mavi, M. S., Singh, G., Singh, B. P., Sekhon, B. S., Choudhary, O. P., Sagi, S., and BERRY, R. (2018). Interactive effects of rice-residue biochar and N-fertilizer on soil functions and crop biomass in contrasting soils. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition.* 18(1), 41-59.
42. Mohammadian, M., Astaraie, A., Lakzian, A., Emami, H., and Kavousi, M. (2019). Effect of nitrogen supplying sources on nitrogen use efficiency in rice (*Oryza sativa* L. cv. Shiroudi). *Iranian Journal of Crop Sciences.* 21(1), 82-95. (In Persian).
43. Moslehi, N., Niknejad, Y., Fallah Amoli, H., and Kheyri, N. (2016). Effect of integrated application of chemical, organic and biological fertilizers on some of the morphophysiological traits of rice (*Oryza sativa* L.) Tarom Hashemi cultivar. *Crop Physiology Journal.* 8(30), 87-103.
44. Oladele, S., Adeyemo, A., Awodun, M., Ajayi, A., and Fasina, A. (2019). Effects of biochar and nitrogen fertilizer on soil physicochemical properties, nitrogen use efficiency and upland rice (*Oryza sativa*) yield grown on an Alfisol in Southwestern Nigeria. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture.* 8, 295-308.
45. Oladele, S., Adeyemo, A., and Awodun, M. (2019). Influence of rice husk biochar and inorganic fertilizer on soil nutrients availability and rain-fed rice yield in two contrasting soils. *Geoderma,* 336, 1-11.
46. Pirasteh Anosheh, H., Emam, Y., and Jamali Ramin, F. (2010). Comparative effect of biofertilizer with chemical fertilizers on sunflower (*Helianthus annuus* L.) growth, yield and oil percentage in different drought stress levels. *Agroecology,* 2(3), 492-501. (in Persian)
47. Pramanik, K., and Bera, A. K. (2013). Effect of seedling age and nitrogen fertilizer on growth, chlorophyll content, yield and economics of hybrid rice (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Agronomy and Plant Production.* 4(8), 3489-3499.
48. Razavipour, T., Khaledian, M., and Rezaei, M. (2018). Effects of nitrogen levels and its splitting on rice yield and nutrient uptake in rice, Hashemi variety. *Human and Environment.* 16(2), 153-164.
49. Saha, A., Sarkar, R. K., and Yamagishi, Y. (1998). Effect of time of nitrogen application on spikelet differentiation and degeneration of rice. *Botanical Bulletin of Academia Sinica.* 39, 119-123.
50. Schulz, H., Dunst, G., and Glaser, B. (2014). No effect level of co-composted biochar on plant growth and soil properties in a greenhouse experiment. *Agronomy,* 4, 34-51.
51. Shackley, S., and Sohi. (2010). Benefits and Issues Associated with the Application of Biochar to Soil. *Department for Environment, Food and Rural Affairs, UK Government, London.*
52. Singh, B. P., Hatton, B. J., Singh, B., Cowie A. L., and Kathuria, A. (2010). Influence of biochars on nitrous oxide emission and nitrogen leaching from two contrasting soils. *J Environ Qual.* 39, 1224–1235.
53. Sohi, S. P., Krull, E., Lopez-Capel, E., and Bol, R. (2010). A review of biochar and its use and function in soil. *Advances in Agronomy* 105, 47-82
54. Timothy, W., and E. Joe. (2003). Rice fertilization Mississippi. *Agricultural and Forestry Experiment Station.* 1341, 1-4.
55. Turan, M., Ataoglu, N., and Sahin, F. (2006). Evaluation of the capacity of phosphate solubilizing bacteria and fungi on different forms of phosphorus in liquid culture. *Journal of Sustainable Agriculture.* 28, 99-108.
56. Wang, J., Xiong, Z., and Kuzyakov, Y. (2016). Biochar stability in soil: Meta-analysis of decomposition and priming effects. *GCB Bioenergy.* 8 (3), 512–23.
57. Waqas, A. Mubshar, Noman, M., Nawaz, A., Sami, U., Muhammad, S., and Zeshan, H. (2020). Synergetic use of biochar and synthetic nitrogen and phosphorus fertilizers to improve maize productivity and nutrient retention in loamy soil. *Journal of plant nutrition.* 43, 1356-1368.
58. Wei, H. Y., Zhu, Y., Qiu, S., Han, C., Hu, L., Xu, D., Zhou, N. B., Xing, Z. P., Hu, Y.J., Cui, P. Y., Dai, Q. G., and Zhang, H. C. (2018). Combined effect of shading time and nitrogen level on grain filling and grain quality in japonica super rice. *Journal of Integrative Agriculture.* 17(11), 2405-2417.
59. Xiaohong, Y., Jiana, C., Fangbo, C., Zui, T., and Huang, M. (2020). Short-term application of biochar improves post-heading crop growth but reduces pre-heading biomass translocation in rice. *Plant Production Science,* 23(4), 522-528.
60. Xu, H., Zhong, G. J., Lin, Y., Ding, G., Li, S., Wang,



Z., Liu, S., Tang, and Ding, C. (2015). Effect of nitrogen management during the panicle stage in rice on the nitrogen utilization of rice and succeeding wheat crops. *European Journal of Agronomy*. 70, 41-47.

61. Yao, Q., Liu, J., Yu, Z., Li, Y., Jin, J., Liu, X., and Wang, G. (2017). Changes of bacterial community compositions after 3 years of biochar application in a black soil of northeast China. *Applied Soil Ecology*. 113, 11-21.