Archive of SID
DOI: 10.22059/ijswr.2021.315776.668843

تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۲، شماره ۳، خرداد ۱۴۰۰ (ص ۷۱۹-۷۰۷)

# Simultaneous Application Effect of Rice Husk Biochare and Zinc Sulfate Fertilizer on Yield, Yield Components of Rice (*Oryza sativa L.*) Hashemi Cultivar and Some Soil Chemical Properties

**SHAHRAM MAHMOUD SOLTANI[1*], ABOUZAR ABBASIAN[2]**

1. Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.
2. Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tonekabon, Iran.

(Received: Dec. 21, 2020- Revised: Jan. 29, 2021- Accepted: Feb. 3, 2021)

## ABSTRACT

Simultaneous application of biochar and chemical fertilizers has been shown to be a new sustainable and environmental friendly technology for the improvement of soil fertility, nutrient use efficiency and rice crop yield. However, simultaneous application of biochar and zinc have been rarely studied. Therefore, the current field study was conducted to investigate the effects of rice husk biochar and Zn-fertilizer applications on rice yield and the most important chemical properties of soils through factorial in randomized complete block design with three replications at farm stations of rice research institute of Iran, Rasht and Tonekabon in 2019. The experimental factors were biochar at three levels (0, 20 and 40 $tha^{-1}$) and zinc at three levels (0, 10 and 20 kg $ha^{-1}$). The highest plant height (144/33 cm), filled grain per panicle (81.65), 1000 grain weight (32.37 g) and grain yield (4112 kg $ha^{-1}$) were recorded at 40 $tha^{-1}$ biochar treatment. Moreover, the maximum grain yield with average of 4220 kg $ha^{-1}$ was observed at 20 kg $ha^{-1}$ Zn sulfate treatment (13% more than the control). The application of 40 $tha^{-1}$ biochar of rice husks and 20 kg $ha^{-1}$ Zn significantly increased the available P, K and Zn by about 2 times, 43.15% and 3 times, respectively.

**Keywords**: Biochar, Phosphorus, Potassium, Zinc, Local Varieties.

*Corresponding Author's Email: shmsoltani@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID



# اثر مصرف همزمان زغال زیستی (بیوچار) پوسته برنج و کود سولفات روی بر عملکرد، اجزای عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) رقم هاشمی و برخی خصوصیات شیمیایی خاک

**شهرام محمود سلطانی[1*] و ابوذر عباسیان[2]**

۱. موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

۲. موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تنکابن، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۱/۱۰- تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۱/۱۵)

## چکیده

کاربرد همزمان زغال زیستی و کودهای شیمیایی فناوری نوینی است که ضمن حفظ پایداری در سیستم‌های تولید، به دوستداری محیط‌زیست، به افزایش حاصلخیزی خاک، کارایی مصرف کود و در نتیجه به افزایش تولید پایدار برنج کمک شایانی می‌کند. با این حال کاربرد زغال زیستی و کودهای حاوی روی ندرتاً در کانون توجه بوده است. بنابراین پژوهش مزرعه‌ای حاضر با هدف بررسی اثر مصرف همزمان زغال زیستی پوسته برنج و روی بر عملکرد برنج رقم هاشمی و خصوصیات شیمیایی خاک به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۸ در مزرعه‌های پژوهشی موسسه تحقیقات برنج کشور در رشت و ایستگاه تحقیقات برنج تنکابن انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل زغال زیستی در سه سطح (عدم مصرف، ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار) و کود سولفات روی نیز در سه سطح (صفر، ۱۰ و ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار) بود. بیشترین ارتفاع بوته (۱۴۴/۳۳ سانتی‌متر)، بیشترین تعداد دانه پر در خوشه (۸۱/۶۵ عدد)، حداکثر وزن هزار دانه (با میانگین ۳۲/۳۷ گرم)، بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۴۱۱۲ کیلوگرم در هکتار، متعلق به تیمار ۴۰ تن در هکتار زغال زیستی بود. همچنین بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۴۲۲۰/۲ کیلوگرم در هکتار متعلق به تیمار کاربرد ۲۰ کیلوگرم کود سولفات روی در هکتار (۱۳ درصد افزایش) بود. مصرف ۴۰ تن در هکتار زغال زیستی پوسته برنج به همراه ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی ۲۲ درصد به‌طور معنی‌داری مقدار فسفر قابل‌جذب، پتاسیم قابل‌جذب و روی قابل‌جذب را به ترتیب تا دو برابر، ۴۳/۱۵ درصد و سه برابر افزایش داده است.

**واژه‌های کلیدی:** زغال زیستی، فسفر، پتاسیم، روی، ارقام محلی.

## مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) غذای اصلی نزدیک به نیمی از جمعیت جهان و تأمین‌کننده ۲۱ درصد از انرژی و ۱۵ درصد از پروتئین موردنیاز ساکنان مناطق برنج‌خیز جهان است (FAO, 2018; Depar *et al.*, 2011). آمارهای سازمان خواروبار جهانی (فائو) نشان می‌دهد که با توجه به روند رو به افزایش جمعیت جهان، تا سال ۲۰۲۵ به ۷۶۰ میلیون تن شلتوک برای پاسخگویی به نیاز غذایی رو به رشد جمعیت جهان به این منبع راهبردی غذایی نیاز می‌باشد. این در حالی است که افزایش قابل اتکای سطح اراضی شالیزاری امکان‌پذیر نبوده و تنها بایستی به روش‌های به‌زراعی روی آورد که منجر به افزایش عملکرد در واحد سطح می‌شوند (FAO, 2018). برای تولید پایدار و اقتصادی برنج نه‌تنها به آب آبیاری کافی نیاز است بلکه عرضه متعادل عناصر پرمصرف و کم‌مصرف و توجه به راهبردهای کشاورزی پایدار همانند ثبات در ماده آلی خاک اهمیت بسیار زیادی دارد چرا که ذخیره ماده آلی خاک نقش کلیدی در خاک کشاورزی داشته و بسیاری از این عملکردها مانند حاصلخیزی خاک، چرخه عناصر غذایی، درجه حرارت و تعادل pH خاک با آن واکنش داده و بهبود می‌یابد (Arunrat *et al.*, 2020).

در سیستم‌های کشت بر پایه برنج[1] هر ساله درصد زیادی از زیست‌توده تولیدی (کاه و کلش و ضایعات خرمن‌کوبی) در شالیزارهای برنج رها شده یا برای سهولت در انجام کشت بعدی سوزانده می‌شوند. حالت اول سبب برهم خوردن تعادل عناصر غذایی در کشت بعدی بخصوص نیتروژن شده و در حالت دوم علاوه بر هدرروی عناصر غذایی مانند نیتروژن و گوگرد با ایجاد آلودگی هوا باعث بروز مشکلات بهداشتی برای کشاورزان و

* نویسنده مسئول: shmsoltani@gmail.com

1 Rice Based Cropping Systems

www.SID.ir

Archive of SID


ساکنان اطراف شالیزارها می‌شود (Tipayarom and Oanh, 2007). طبق آمار فائو در هر سال حدود ۶۲۳ میلیون تن کاه و ۱۲۵ میلیون تن پوسته برنج، با شاخص برداشت ۰/۵ (۵۰ درصد) و نسبت پوسته به شلتوک ۰/۲ (۲۰ درصد)، تولید می‌شود (FAOSTAT online database, 2018). این در حالی است که هرگاه بقایای برنج چه به‌صورت فرآوری‌شده (کمپوست و ...) و چه به‌صورت کاربرد مستقیم در خاک به درستی با خاک مخلوط و بازیافت شوند با تجزیه سریع و آزادسازی عناصر غذایی و افزودن مقدار زیادی مواد آلی به خاک‌ها به حفظ باروری و پایداری آنها کمک شایانی می‌کند. در یک دهه‌ی اخیر کاربرد زغال زیستی که در اثر تجزیهٔ حرارتی زیست‌توده، از قبیل چوب، برگ گیاهان، باقی‌مانده‌های کشاورزی و کود حیوانی و تحت حرارت زیاد و در شرایط فاقد اکسیژن یا دارای اکسیژن محدود، تولید می‌شود (Lu *et al*., 2016; Vithanage *et al*., 2016; Jin *et al*., 2017) به‌عنوان رویکرد جایگزین، گزینه مناسبی برای اهدافی مانند بهبود ترسیب کربن (Khorram *et al*., 2016)، فراهمی عناصر غذایی (Xu *et al*., 2013) و ویژگی‌های هیدرولیکی خاک (Xiao *et al*., 2016)مطرح شده است. مطالعات زیادی اثرات سودمند زغال زیستی، به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خاک، بر بهبود کیفیت خاک و قابلیت تولید گیاهان زراعی گزارش کرده‌اند. در یک آزمایش ثابت شد که 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 داشت (Asai *et al*., 2009). در مطالعه¬ای بر روی تأثیر افزودن زغال زیستی بر عملکرد برنج و خصوصیات خاک توسط (Liu et al., 2016) مقدار قابل‌جذب فسفر و پتاسیم موجود در خاک¬های اصلاح‌شده با زغال زیستی، به‌ویژه زغال زیستی کاه و کلش برنج، نسبت به خاک¬های شاهد افزایش چشمگیری در حدود ۳۳ و ۹۹ درصد (سال اول) و ۱۵/۳ و ۲۸/۶ درصد (در سال دوم) داشت. Wang et al. (2013; 2015) گزارش نمود که مصرف زغال زیستی پوسته دانه برنج سبب افزایش عملکرد دانه، زیست توده برنج در مناطق برنج خیز سرد چین شده که عمدتا ناشی از بهبود محیط رشد ریشه و افزایش جذب عناصری مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم توسط گیاه برنج است.(2019) .Huang et al گزارش نمود که با کاربرد زغال زیستی پوسته برنج در اراضی شالیزاری طی سالهای ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷ عملکرد دانه به طور متوسط ۱۰ درصد، تعداد خوشه چه در مترمربع ۱۲ درصد، زیست‌توده ۱۳ درصد، تعداد خوشه در مترمربع ۱۳ درصد) و تعداد خوشه¬چه در خوشه ۸ درصد افزایش داشت.

عنصر روی پس از عناصر پرمصرف اصلی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) مهم‌ترین عنصری می‌باشد که کمبود آن اثرات جبران-ناپذیر تغذیه‌ای بر عملکرد کمی و کیفی گیاه برنج در اراضی شالیزاری جهان ایجاد می‌کند (Malakooti and Kavoosi 2004). روی در بسیاری از فرآیندهای مؤثر در رشد و نمو برنج دخیل بوده و در تعداد زیادی از فرایندهای فیزیولوژیکی رشد گیاه و مکانیزم‌های سوخت‌وساز آن از جمله فعال‌سازی ۳۰۰ آنزیم، سنتز پروتئین‌ها، متابولیسم‌های درگیر در تولید کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها، اکسین و اسیدهای نوکلئیک، بیان ژن و تنظیم لقاح (تشکیل دانه گرده) دخالت دارد (Chang *et al*., 2005). نتایج آزمون خاک کشاورزان پیشرو که در بانک اطلاعات آزمایشگاه شیمی بخش تحقیقات خاک و آب موسسه تحقیقات برنج کشور ثبت شده است (نتایج تا سال ۱۳۹۶)، نشان از بروز بحرانی جدی و روبه گسترش کمبود روی در اراضی شالیزاری در آینده نزدیک دارد، زیرا بیش از ۶۰۰ نمونه از خاک‌های مزارع شالیزاری از مجموعه مزارع مورد آزمون حاوی روی قابل‌جذب کمتر از حد بحرانی (دو میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) هستند (Dobermann and Fairhurst, 2000). Chakeralhosseini *et al*. (2009) با بررسی اثرات میزان، منبع و روش مصرف کود سولفات روی بر صفات کمی و کیفی برنج رقم چرام گزارش کردند که مصرف روی به‌طور معنی‌داری باعث افزایش عملکرد (۵۶/۹ درصد) شده و بیشترین میزان افزایش عملکرد با محلول‌پاشی سولفات روی (با غلظت سه گرم در لیتر) توأم با مصرف ۴۰ کیلوگرم سولفات روی در خاک، حاصل شد. علی و همکاران (Ali *et al*., 2019) نشان دادند که استفاده از نانوذرات اکسید روی به تنهایی و یا ترکیب با زغال زیستی، زیست‌توده و فتوسنتز گیاه برنج را بهبود می‌بخشد. وو و همکاران (Wu *et al*., 2018) گزارش نمودند که اصلاح خاک-های زراعی با زغال زیستی باعث افزایش مقدار کلی روی در خاک می‌شود. با مصرف مقادیر بالای زغال زیستی به میزان ۱۲۴ و ۲۷۰ تن در هکتار، غلظت روی در دانه گندم (۳۶/۶ و ۳۷/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) به سطح کمبود، کمتر از غلظت توصیه‌شده ۴۵ میلی‌گرم در کیلوگرم، رسید. آزمایش نشان داد که مصرف زغال زیستی به میزان تجمعی ۱۰/۵، ۱۵/۸، ۳۱/۵، ۱۲۴ و ۲۷۰ تن در هکتار به‌طور معنی‌داری میزان pH خاک و ماده آلی خاک را افزایش داد و در نتیجه منجر به جذب بیشتر و واجذب کمتر روی گردید (We *et al*., 2018). علی‌رغم مطالعات بسیار در خصوص تأثیر مجزای زغال زیستی و روی، کارهای بسیار کمی در زمینه اثر متقابل این دو به‌خصوص در شرایط اراضی شالیزاری کشور انجام شده است؛ این مطالعه با این فرضیات که افزودن

www.SID.ir

Archive of SID



زغال زیستی و مصرف کودهای شیمیایی کم مصرف به طور قابل توجهی می تواند بر بسیاری از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مانند اسیدیته، محتوای کربن آلی خاک تاثیر مثبت گذاشته و در نتیجه منجر به بهبود رشد گیاه، افزایش کمی و کیفی عملکرد دانه برنج بیانجامد و از طرف دیگر مصرف مواد آلی که حاوی و مقدار قابل جذب عناصر غذایی پر و کم مصرف است در راستای کشاورزی پایدار به غنای غذایی لایه شخم، افزایش حاصلخیزی خاک و در نهایت افزایش عملکرد دانه برنج می شود، طراحی و با اهداف بررسی اثر مصرف زغال زیستی پوسته برنج بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم هاشمی، بررسی اثر مصرف کود سولفات روی بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم هاشمی، تأثیر زغال زیستی بر خصوصیات شیمیایی خاک، بررسی اثر متقابل مصرف زغال زیستی و سولفات روی بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم هاشمی و تعیین بهترین مقدار مصرف زغال زیستی پوسته برنج و کود سولفات روی جهت افزایش عملکرد دانه برنج رقم هاشمی تدوین و اجرا شده است.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه‌های پژوهشی موسسه تحقیقات برنج کشور در رشت و ایستگاه چپرسر تنکابن در سال زراعی ۱۳۹۸ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل زغال زیستی در سه سطح (عدم مصرف زغال زیستی، مصرف زغال زیستی به مقدار ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار) (Seyedghasemi *et al*. 2020) و کود سولفات روی نیز در سه سطح (صفر، ۱۰ و ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار از منبع سولفات روی ۲۲ درصد) (Mahmoudsoltani *et al*., 2020) می باشند. تعداد کرت‌های آزمایشی در این آزمایش با احتساب سه سطح زغال زیستی و سه سطح کود سولفات روی و در ۳ تکرار برابر با ۲۷ کرت به ابعاد ۱۲ مترمربع (۴×۳) می‌باشد. رقم مورد استفاده در این آزمایش رقم محلی برنج (هاشمی) است.

برای تهیه زغال زیستی پوسته برنج مورد آزمایش، پوسته‌های برنج از کارخانجات شهرستان رشت جمع‌آوری و در بشکه‌های فلزی قرار داده و به مدت چهار ساعت در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس در داخل کوره قرار داده شدند تا فرایند آتشکافت (فرآیند سوختن کند و آرام مواد آلی در شرایط کم یا عدم وجود اکسیژن) (Uddin and Phuong, 2012) صورت پذیرد. سپس بر اساس تیمارهای موردنظر در سطح خاک به‌طور یکنواخت پراکنده و تا عمق ۳۰ سانتی‌متری با خاک مخلوط شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک کرت‌های مورد آزمایش (جدول ۱) و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی زغال زیستی (جدول ۲) مورد استفاده اندازه‌گیری شد.

**جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مزارع آزمایشی پیش از شروع آزمایش**

| | pH | EC | SP (رطوبت اشباع) | کربن آلی | ماده آلی | نیتروژن کل | فسفر قابل‌جذب | پتاسیم قابل‌جذب | روی قابل جذب | رس | سیلت | شن | بافت خاک |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | dS/m | | درصد | | | میلی‌گرم بر کیلوگرم | | | درصد | | | |
| چپرسر | ۶/۶۲ | ۰/۵۲ | ۶۴ | ۳/۶۰ | ۶/۲۰ | ۰/۲۰ | ۵/۴ | ۱۱۸ | ۰/۸۸ | ۲۵ | ۴۱ | ۳۴ | لومی |
| رشت | ۷/۱۱ | ۰/۴۵ | ۷۰ | ۱/۴۰ | ۲/۴۱ | ۰/۱۳ | ۱۰ | ۱۹۸ | ۰/۹۵ | ۴۷ | ۴۱ | ۱۲ | رسی |

**جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی زغال زیستی مورد استفاده**

| pH | هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) | کربن آلی (٪) | ماده آلی (٪) | نیتروژن کل (٪) | نسبت کربن به نیتروژن (٪) | فسفر قابل جذب (٪) | پتاسیم قابل جذب (٪) | گنجایش تبادل کاتیونی (سانتی مول در کیلوگرم) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۸/۳ | ۰/۱۸ | ۴۷/۶ | ۱۳۰/۲۴ | ۰/۷۳ | ۶۵/۲۰ | ۰/۰۷ | ۰/۸۴ | ۴۱/۷ |

در این آزمایش بر مبنای دستورالعمل‌های به‌زراعی موسسه برنج کشور کود فسفره به میزان ۴۵ کیلوگرم در هکتار پنتا اکسید فسفر ($P_2O_5$) از منبع سوپر فسفات تریپل، کود پتاسیمی به میزان ۱۰۰ کیلوگرم اکسید پتاسیم ($K_2O$) در هکتار از منبع سولفات پتاسیم و کود نیتروژنه به میزان ۶۰ کیلوگرم نیتروژن از منبع اوره پیش از نشاکاری به کرت‌ها اضافه و به خوبی با خاک مخلوط شد. همچنین تیمارهای روی نیز در هنگام آماده‌سازی زمین و به همراه کودهای پایه به خاک افزوده و به خوبی با خاک لایه شخم مخلوط شد. سپس کرت بندی به ابعاد ۵×۴ متر (۲۰ مترمربع) انجام و برای جلوگیری از اختلاط تیمارهای کودی با یکدیگر، فاصله بین کرت‌های آزمایشی را ۷۵ سانتی‌متر و مرزهای جداکننده تیمارهای آزمایشی با نایلون پوشیده شد. گیاهچه‌های یکدست رقم هاشمی با فواصل ۲۰ در ۲۰ سانتی‌متر و سه گیاهچه در هر کپه کاشته و کلیه عملیات داشت مانند مبارزه با آفات، بیماری‌ها، وجین و آبیاری طبق روش‌های توصیه‌شده توسط موسسه تحقیقات برنج کشور در کلیه کرت‌ها به‌صورت یکسان

www.SID.ir

Archive of SID


اعمال شد. تلاش شد تا ارتفاع آب در تمامی کرت‌ها ۵±۰/۵ سانتی‌متر حفظ شود. در زمان رسیدگی محصول برنج، پنج مترمربع از مرکز هر کرت برداشت و عملیات خرمن‌کوبی و توزین دانه و ساقه انجام گرفت. در طول اجرای آزمایش و در انتهای دوره رویش صفات و خصوصیات مهم گیاهی شامل: تعداد پنجه کل، تعداد پنجه بارور و غیربارور، ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، طول خوشه (سانتی‌متر) و صفات عملکردی (تعداد خوشه کل بارور و غیربارور در بوته، تعداد دانه پر و پوک در خوشه، وزن هزار دانه، عملکرد ماده خشک و عملکرد دانه (با رطوبت ۱۴ درصد)) و شاخص برداشت اندازه‌گیری شد. همچنین خصوصیات شیمیایی مهم خاک مانند مقدار نیتروژن، فسفر، پتاسیم و عنصر روی در زمان برداشت اندازه‌گیری شد. پس از اندازه‌گیری و گردآوری داده‌ها ابتدا از آزمون آماری کولموگرف-اسمیرونوف برای نرمال بودن داده‌ها استفاده شد. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین نیز با روش حداقل اختلافات معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

## نتایج و بحث

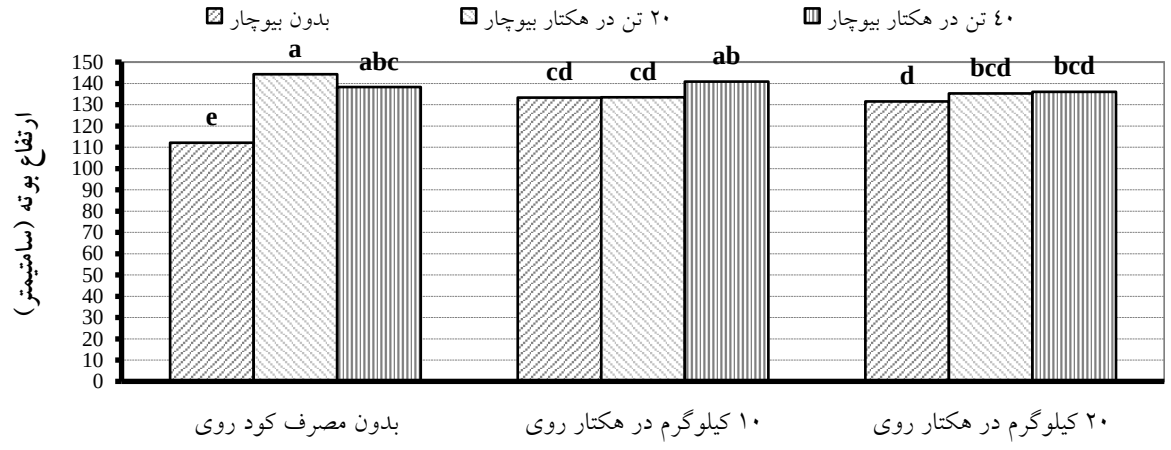
### الف. اثر مصرف زغال زیستی پوسته برنج و کود سولفات روی بر عملکرد و اجزای عملکرد

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که زغال زیستی بر اغلب صفات به‌جز تعداد پنجه، باروری خوشه و عملکرد شلتوک معنی‌دار بود. کود سولفات روی تأثیر معنی‌داری بر وزن هزار دانه و عملکرد شلتوک در سطح یک درصد ($P\leq0.01$) داشت. در بین اثرات متقابل بیوچار و کود سولفات روی تنها بر ارتفاع بوته در سطح یک درصد ($P\leq0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۳).

کاربرد ۲۰ و ۴۰ تن زغال زیستی در هکتار به تنهایی سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته شده در کاربرد ۱۰ کیلوگرم روی در هکتار کاربرد ۲۰ تن زغال زیستی تأثیری نداشته و کاربرد ۴۰ تن زغال زیستی ارتفاع بوته را افزایش داده است. همچنین در کاربرد ۲۰ کیلوگرم در هکتار روی، زغال زیستی تأثیری بر ارتفاع داشته است.

از طرف دیگر کاربرد روی بدون افزودن زغال زیستی سبب افزایش ارتفاع گردیده در حالی که در تیمار ۲۰ تن در هکتار زغال زیستی، کاربرد روی سبب حتی کاهش ارتفاع گردیده است و این تأثیر با کاربرد ۴۰ تن در هکتار زغال زیستی بی‌تأثیر بوده است.

نتایج مقایسه میانگین عامل‌های اصلی (جدول ۳) نشان داد که کاربرد ۲۰ و ۴۰ تن زغال زیستی در هکتار به تنهایی سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته به ترتیب به میزان ۹/۵ و ۱۰ درصد شده است که تفاوت معنی‌داری با هم ندارد. همچنین اگرچه مصرف کود سولفات روی به تنهایی و به مقدار ۱۰ کیلوگرم روی در هکتار سبب افزایش ۳/۳ درصدی ارتفاع بوته در مقایسه با شاهد (عدم مصرف روی) شده است ولی مصرف ۲۰ کیلوگرم روی در هکتار اگرچه از نظر عددی در مقایسه با شاهد سبب افزایش ۳ درصدی ارتفاع بوته شده است ولی نسبت به تیمار ۱۰ کیلوگرم روی در هکتار اندکی کاهش داشته است و این دو اختلاف معنی داری با هم نشان نداده‌اند. نتایج مربوط به برهمکنش مصرف زغال زیستی و روی (شکل ۱) حاکی از آن است که بیشترین مقدار افزایش در صفت ارتفاع بوته مربوط به تیمار کاربرد ۲۰ تن زغال زیستی در هکتار (۱۴۴/۳ سانتی‌متر) بوده که البته با تیمار ترکیبی کاربرد ۴۰ تن زغال زیستی در هکتار به همراه ۱۰ کیلوگرم در هکتار روی (۱۴۰/۸۹ سانتیمتر) تفاوت معنی‌دار ندارد (شکل ۱).




**شکل ۱- تأثیر سطوح مختلف بیوچار پوسته برنج و کود سولفات روی بر ارتفاع بوته برنج**

بیشترین تعداد دانه پر در خوشه متعلق به تیمارهای مصرف ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار زغال زیستی (۸۱/۶۵ عدد) بود که با تیمار

www.SID.ir

Archive of SID



عدم مصرف زغال زیستی (۷۰/۵۶ عدد) تفاوت آماری معنی‌داری نشان داد. در صورت عدم مصرف زغال زیستی، تعداد دانه پر در خوشه به میزان ۱۳/۵۸ درصد کاهش یافت. حداکثر وزن هزار دانه با میانگین ۳۲/۳۷ گرم متعلق به تیمار مصرف ۴۰ تن در هکتار زغال زیستی بود که با تیمارهای مصرف ۲۰ تن در هکتار زغال زیستی (۳۰/۹۸ گرم) و عدم مصرف زغال زیستی (۲۸/۵۶ گرم) تفاوت آماری معنی‌داری نشان داد. مصرف ۴۰ تن در هکتار زغال زیستی موجب افزایش وزن هزار دانه به میزان ۱۳/۳۴ درصد نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف زغال زیستی) گردید. بیشترین وزن هزار دانه متعلق به تیمار ۲۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات روی (۳۲/۳۴ گرم) بود و کمترین مقدار صفت یاد شده نیز با ۱۰/۰۸ درصد کاهش در وزن هزار دانه متعلق به تیمار شاهد (عدم مصرف سولفات روی) بود (جدول ۳).

نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۴۲۲۰/۲ کیلوگرم در هکتار متعلق به تیمار کاربرد ۲۰ کیلوگرم کود سولفات روی در هکتار بود که با تیمار ۱۰ کیلوگرم کود سولفات روی در هکتار در یک گروه آماری قرار گرفت. کمترین میزان صفت یاد شده نیز با حدود ۳۷۳۸/۷ کیلوگرم در هکتار به تیمار عدم مصرف کود سولفات روی تعلق داشت. مصرف ۲۰ کیلوگرم کود سولفات روی در هکتار موجب افزایش ۱۲/۸۸ درصدی عملکرد دانه برنج نسبت به تیمار شاهد یا عدم مصرف کود گردید (جدول ۳).

بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک ناشی از مصرف زغال زیستی و سولفات روی اثرش را در افزایش صفات مورفولوژیک، تا حدودی عملکرد و اجزای عملکرد منعکس، و مصرف همزمان زغال زیستی و کودهای شیمیایی بیش از اثر ساده آنها می‌تواند منجر به افزایش صفات اندازه‌گیری شده، شود چرا با این روش ظرفیت فراهمی عناصر غذایی موردنیاز گیاه تشدید (Schulz et al., 2013) و میزان جذب عناصر غذایی افزایش، هدرروی آنها کمتر و قابلیت فراهمی عناصری که به فرم کاتیومی جذب می‌شوند بهبود می‌یابد (Lehmann *et al*., 2003). سازوکار دیگری که در افزایش صفات رشد و نموی گیاه دخالت دارند این است که زغال زیستی و هر کود شیمیایی می‌تواند به‌طور مستقیم تأمین‌کننده عناصر غذایی موردنیاز گیاه باشند ( Jeffery *et al*., 2011). مطالعات متعددی نشان داد که مصرف زغال زیستی سبب افزایش عملکرد محصولات کشاورزی به‌ویژه برنج می‌شود (Atkinson *et al*., 2010; Jeffery *et al*., 2011; McHenry, 2011; Schulz *et al*., 2013). همچنین مطالعات متعددی نیز حاکی از تأثیر مصرف روی بر عملکرد برنج است (Mahmoudsoltani *et al*., 2016, 2017a,b, 2019, 2020a; Mahmoudsoltani, 2018). لیو و همکاران (Liu *et al*., 2016) گزارش کردند که مصرف زغال زیستی برنج سبب افزایش عملکرد دانه برنج به میزان ۱۱ درصد در سال اول و ۸/۵ درصد در سال دوم شد.

**جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر سطوح مختلف زغال زیستی پوسته برنج و کود سولفات روی بر برنج رقم هاشمی و برخی خصوصیات شیمیایی خاک**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ارتفاع بوته | تعداد پنجه | تعداد دانه پر در خوشه | باروری خوشه | وزن هزار دانه | عملکرد شلتوک | نیتروژن کل | فسفر | پتاسیم | روی |
| مکان | ۱ | ۲۷۱۶/۴۶** | ۱۴۱/۳۱** | ۱۶۰۸/۰۱** | ۹۶/۴۰ns | ۱۴۱/۲۹** | ۹۲۸۹۱/۶۹ns | ۰/۴۸۳۳۷** | ۱۱۷/۳۴** | ۲۳۷۳۴۰/۷۴** | ۲۹/۷۸** |
| مکان×تکرار | ۲ | ۱۱/۹۵ns | ۴/۲۶ns | ۸۰/۰۲ | ۲۴/۵۲ns | ۰/۵۷ | ۱۹۰۱۵۷/۹۰ns | ۰/۰۰۰۹ns | ۰/۲۹ns | ۲۶/۵۴ns | ۰/۲۱ns |
| زغال زیستی | ۲ | ۹۱۷/۴۱** | ۱۰/۸۸ns | ۷۳۸/۴۳** | ۳۱/۰۷ns | ۶۶/۶۵** | ۴۰۲۷۴۴/۵۰ns | ۰/۰۰۳۶۹** | ۱۳۲/۶۲** | ۵۹۴۴/۳۹** | ۵۶/۴۹** |
| مکان×زغال زیستی | ۲ | ۵۲۲/۹۷** | ۱۱/۷۱ns | ۱۷۷/۲۸ | ۴/۸۷ns | ۲۲/۵۴** | ۴۴۲۲۷/۴۶ns | ۰/۰۰۰۰۷ns | ۱۱/۷۸** | ۴۲۶/۹۱** | ۲۰/۸۴** |
| روی | ۲ | ۸۵/۶۹ns | ۴/۴۲ns | ۵۸/۰۵ | ۲۷/۴۴ns | ۴۸/۱۲** | ۱۰۴۵۷۲۱/۴۳** | ۰/۰۰۰۴ns | ۲۲/۶۴** | ۱۵۵۰/۰۶** | ۶۹/۷۱** |
| مکان×روی | ۲ | ۷۴/۳۴ns | ۲۸/۷۲** | ۲۴۳/۵۶* | ۱/۸۳ns | ۲۰/۶۱** | ۴۵۹۱۲۰/۲۸ns | ۰/۰۰۰۱۲ns | ۱۵/۷۴** | ۳۱۳/۶۹** | ۹/۷۳** |
| روی×زغال زیستی | ۴ | ۴۹۰/۲۶** | ۴/۰۴ns | ۲۰/۰۹ | ۱۷/۰۵ns | ۱/۵۴ns | ۴۶۰۳۰/۰۹ns | ۰/۰۰۰۰۹ns | ۲/۶۳** | ۲۳۶/۸۶** | ۳/۱۵** |
| مکان×زغال زیستی ×روی | ۴ | ۱۳۹/۲۹** | ۶/۳۶ns | ۴۸/۵۶ | ۱۸/۷۹ns | ۵/۰۰** | ۲۲۷۴۹۶/۱۹ns | ۰/۰۰۰۰۷ns | ۵/۲۶** | ۱۳۵/۹۴** | ۴/۵۶** |
| خطا | ۳۲ | ۳۱/۱۷ | ۴/۰۲ | ۶۲/۸۴ | ۲۶/۰۷ | ۰/۸۹ | ۱۸۹۰۸۵/۵۹ | ۰/۰۰۰۱۳ | ۰/۴۱ | ۱۷/۳۷ | ۰/۱۹ |
| ضریب تغییرات | | ۳/۱۷ | ۱۲/۷۹ | ۱۰/۱۷ | ۵/۷۷ | ۳/۰۸ | ۱۰/۹۵ | ۴/۳۶ | ۵/۷۵ | ۲/۳۱ | ۵/۴۰ |

**ns، * و ** به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد است.**

www.SID.ir

Archive of SID


**جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات ساده تأثیر سطوح مختلف زغال زیستی پوسته برنج و کود سولفات روی بر برنج رقم هاشمی و برخی خصوصیات شیمیایی خاک**

| صفات اندازه‌گیری شده | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| فاکتورها | ارتفاع بوته (cm) | تعداد پنجه | تعداد دانه پر در خوشه | باروری خوشه | وزن هزار دانه (g) | عملکرد شلتوک (kg ha$^{-1}$) | نیتروژن کل (٪) | فسفر (mg/kg) | پتاسیم (mg/kg) | روی (mg/kg) |
| مکان | | | | | | | | | | |
| رشت | ۱۲۶/۸۳b | ۱۴/۰۶b | ۷۲/۴۹b | ۸۹/۷۹a | ۲۹/۰۲b | ۴۰۱۴/۲a | ۰/۱۶۶b | ۹/۷۱b | ۲۴۶/۹۶a | ۸/۸۹a |
| چپرسر | ۱۴۱/۰۱a | ۱۷/۲۹a | ۸۳/۴۱a | ۸۷/۱۲a | ۳۲/۲۵a | ۳۹۳۱/۳a | ۰/۳۵۵a | ۱۲/۶۶a | ۱۱۴/۳۷b | ۷/۴۱b |
| زغال زیستی | | | | | | | | | | |
| بدون زغال زیستی | ۱۲۵/۶۹b | ۱۵/۴۱ab | ۷۰/۵۶b | ۸۶/۹۶a | ۲۸/۵۶c | ۳۸۱۵/۲b | ۰/۲۴۶c | ۸/۶۱c | ۱۶۳/۱۷c | ۶/۵۲c |
| ۲۰ تن در هکتار زغال زیستی | ۱۳۷/۷a | ۱۵/۰۷b | ۸۱/۶۵a | ۸۹/۴۰a | ۳۰/۹۸b | ۳۹۹۰/۲ab | ۰/۲۵۹b | ۱۰/۹۳b | ۱۷۹/۳۸b | ۷/۹۰b |
| ۴۰ تن در هکتار زغال زیستی | ۱۳۸/۳۷a | ۱۶/۵۶a | ۸۱/۶۵a | ۸۹/۰۱a | ۳۲/۳۷a | ۴۱۱۲/۸a | ۰/۲۷۵a | ۱۴/۰۲a | ۱۹۹/۴۴a | ۱۰/۰۳a |
| روی | | | | | | | | | | |
| بدون مصرف کود سولفات روی | ۱۳۱/۵۷b | ۱۵/۱۳a | ۷۵/۹۴a | ۸۸/۶۹a | ۲۹/۰۸c | ۳۷۳۸/۷b | ۰/۲۵۶b | ۹/۸۹b | ۱۷۱/۲۸c | ۶/۰۹c |
| ۱۰ کیلوگرم در هکتار روی | ۱۳۵/۸۹a | ۱۶/۰۹a | ۷۵/۵۰a | ۸۹/۵۶a | ۳۰/۴۹b | ۳۹۵۹/۳ab | ۰/۲۵۹ab | ۱۱/۹۲a | ۱۸۰/۸۹b | ۸/۳۴b |
| ۲۰ کیلوگرم در هکتار روی | ۱۳۴/۲۹ab | ۱۵/۸۲a | ۷۹/۴۱a | ۸۷/۱۲a | ۳۲/۳۴a | ۴۲۲۰/۲a | ۰/۲۶۵a | ۱۱/۷۴a | ۱۸۹/۸۳a | ۱۰/۰۲a |

**در هر ستون و برای هر جزء، حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.**

Huang *et al*. (2019) در مطالعه‌ای بر مبنای کاربرد زغال زیستی در اراضی شالیزاری طی دو سال نشان داد که عملکرد دانه (۴ تا ۱۰ درصد)، تعداد خوشه چه در مترمربع (۱۱ تا ۱۲ درصد)، زیست‌توده (۸ تا ۱۳ درصد)، تعداد خوشه در مترمربع (۵ تا ۱۳ درصد) و تعداد خوشه‌چه در خوشه (متوسط ۸ درصد) افزایش داشت. همچنین Oladele *et al*. (2019) نشان دادند که مصرف همزمان ۱۲ تن در هکتار زغال زیستی به همراه کود نیتروژنه (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. 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 قابل‌جذب در خاک‌های مورد مطالعه دانست (Jeffery *et al*., 2011; Lai *et al*., 2017). Kamara *et al*. (2015) نیز گزارش کرد که مصرف زغال زیستی بقایای برنج سبب افزایش ارتفاع بوته، تعداد کل پنجه و زیست‌توده تنها ۸ هفته پس از نشا برنج شد.

Mahmoudsoltani *et al (2020b)* نشان دادند که بالاترین تعداد خوشه در بوته، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده با کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و همچنین بالاترین محتوای روی برنج سفید با کاربرد خاکی ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی و بالاترین محتوای پروتئین برنج سفید نیز با کاربرد خاکی ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی به دست آمد. Chakeralhosseini *et al*. (2009) نشان داد که تمامی روش‌های مصرف و منابع کود سولفات روی بر عملکرد رقم چرام تأثیر داشته ولی بیشترین اثر (افزایش بیش از ۵۰ درصدی) را در تیمار مصرف خاکی (۴۰ کیلوگرم در هکتار) به همراه محلول‌پاشی سه در هزار سولفات روی به دست آورده بوده است. زو و همکاران (Zou *et al*., 2008) نیز گزارش کردند که مصرف سولفات روی، ارتفاع بوته، طول خوشه، افزایش وزن خوشه‌چه، وزن هزار دانه و عملکرد دانه را افزایش داد. اسلیتون و همکاران (Slaton *et al*., 2001) نشان دادند که محلول‌پاشی و مصرف خاکی کود روی به شکل گرانول، عملکرد برنج را ۳۳-۱۱ درصد افزایش داد که بیشترین عملکرد مربوط به مصرف خاکی گرانول روی بود. جمال امیدی و همکاران (Jamalomidi *et al*., 2006) گزارش دادند که اثر مقادیر مختلف کود روی بر تعداد دانه در خوشه در هشت رقم برنج در سطح یک درصد معنی‌دار بود. در آزمایشی گزارش شد که مصرف روی موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و اجزاء عملکرد برنج گردید که از بین این اجزاء تأثیر مصرف روی بر تعداد خوشه در مترمربع بیشتر بود (Ali *et al*., 2009).

### ب. اثر مصرف زغال زیستی پوسته برنج و کود سولفات روی بر خصوصیات شیمیایی خاک

نتایج مندرج در جدول (۱) حاکی از این است که میزان متوسط کربن آلی در خاک شالیزاری ایستگاه چپرسر تنکابن ۳/۶ درصد و در موسسه تحقیقات برنج کشور- رشت ۱/۴ درصد است. که این تفاوت ناشی از انجام عملیات تجهیز و نوسازی و یکپارچه سازی اراضی در مزرعه رشت می باشد که سبب شده مقدار ماده آلی کمتری داشته باشد. مصرف ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار زغال زیستی پوسته برنج به‌طور چشمگیری به ترتیب باعث افزایش ۲ و ۳/۵ برابری (مقدار متوسط کرتها )شده است (داده ها نشان داده

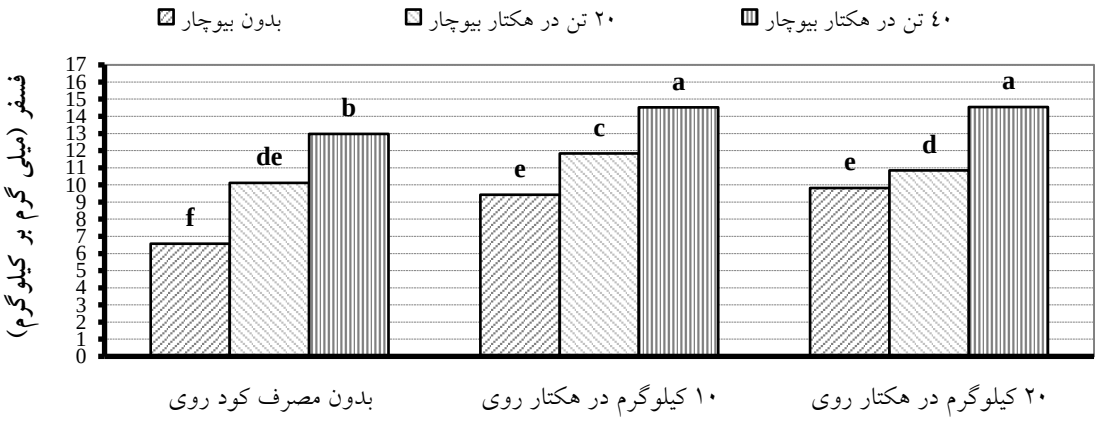
www.SID.ir

Archive of SID

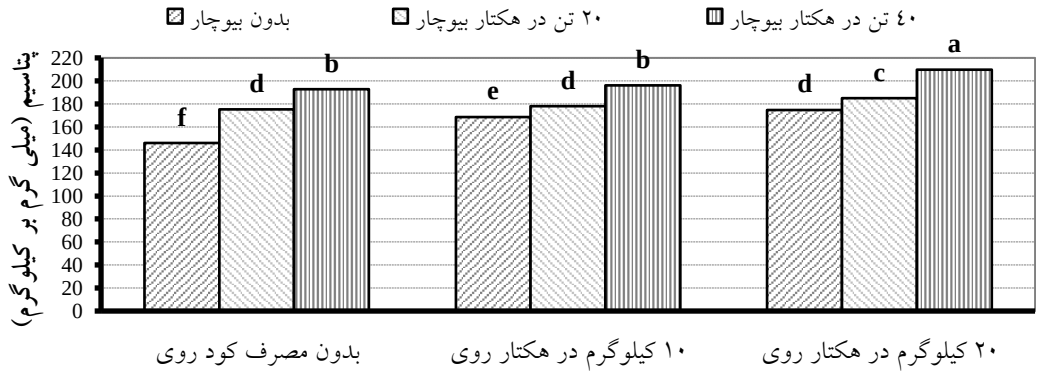


نشده است). این درحالی است که مصرف این مقادیر زغال زیستی بر روی اسیدیته خاک تاثیر قابل ملاحظه ای نداشته است.

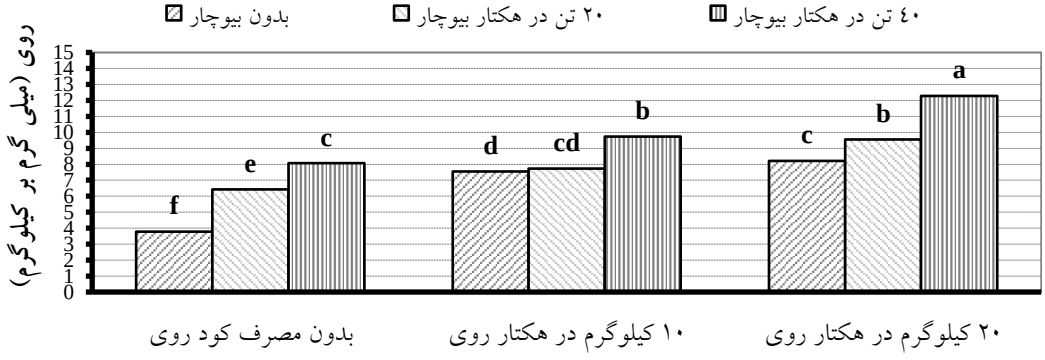
نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که زغال زیستی بر قابلیت استفاده عناصر غذایی (نیتروژن کل، فسفر، پتاسیم و روی) تأثیر معناداری در سطح یک درصد ($P\leq0.01$) داشت. کود سولفات روی تأثیر معنی‌داری بر فسفر، پتاسیم و روی در سطح یک درصد ($P\leq0.01$) داشت. اثرات متقابل بیوچار و کود سولفات روی بر فسفر، پتاسیم و روی در سطح یک درصد ($P\leq0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۳).




**شکل ۲- اثر متقابل بیوچار و کود روی بر میزان فسفر**




**شکل ۳- اثر متقابل بیوچار و کود روی بر میزان پتاسیم**




**شکل ۴- اثر متقابل بیوچار و کود روی بر میزان روی**

www.SID.ir

Archive of SID


نتایج مندرج در جدول (۴) مقایسه میانگین فاکتورهای اصلی و برهمکنش آنها نشان داد که مصرف ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار زغال زیستی پوسته برنج به‌طور معنی‌داری به ترتیب باعث افزایش ۸۲ و ۹۹ درصدی مقدار فسفر قابل‌جذب شد. همچنین مصرف کود سولفات روی در تیمارهای فاقد زغال زیستی نیز تأثیر معنی دار بر مقدار فسفر قابل‌جذب (در حدود ۲۰ درصد) داشت که می تواند ناشی از تأثیر کاهش اسیدیته خاک ناشی از مصرف سولفات روی باشد. ولی با افزایش مقدار زغال زیستی از ۰، ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار، با افزایش مصرف کود سولفات روی بر مقدار فسفر قابل‌جذب خاک نیز به‌طور معنی‌داری به‌طور متوسط ده درصد افزوده شده است. همچنین برهمکنش زغال زیستی و روی نیز به‌طور معنی‌داری سبب افزایش این صفت شد (جدول ۴). نتایج نشان می‌دهد که مناسب‌ترین ترکیب تیماری برای افزایش این صفت مصرف ۴۰ تن در هکتار زغال زیستی پوسته برنج به همراه ۱۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی ۲۲٪ بوده که به معنی‌داری سبب افزایش دو برابری مقدار فسفر قابل‌جذب شده است. اگرچه بین مصرف ۱۰ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی در تیمار ۴۰ تن در هکتار زغال زیستی تفاوت معنی‌داری دیده نمی‌شود (شکل ۲).

نتایج مندرج در شکل (۳) و جدول (۳) مقایسه میانگین فاکتورهای اصلی و برهمکنش آنها نشان داد که مصرف ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار زغال زیستی پوسته برنج به‌طور معنی‌داری به ترتیب باعث افزایش ۱۹/۸ و ۳۴/۹۷ درصدی مقدار پتاسیم قابل‌جذب شد. این در حالی است که مصرف کود سولفات روی در تیمارهای فاقد زغال زیستی نیز تأثیر معنی‌داری بر مقدار پتاسیم قابل‌جذب داشته و سبب افزایش ۱۹/۷ درصدی آن در تیمار ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی ۲۲ درصد شد؛ ولی با افزایش مقدار زغال زیستی از ۰، ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار، با افزایش مصرف کود سولفات روی بر مقدار پتاسیم قابل‌جذب خاک نیز به‌طور معنی‌داری به‌طور متوسط ده درصد افزوده شده است. همچنین برهمکنش زغال زیستی و روی نیز به‌طور معنی‌داری سبب افزایش این صفت شد (جدول ۴). نتایج نشان می‌دهد که مناسب‌ترین ترکیب تیماری برای افزایش این صفت مصرف ۴۰ تن در هکتار زغال زیستی پوسته برنج به همراه ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی بوده که به معنی‌داری سبب افزایش ۴۳/۱۵ درصدی مقدار پتاسیم قابل‌جذب شده است (شکل ۳).

مقایسه میانگین فاکتورهای اصلی و برهمکنش آنها نشان داد که مصرف ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار زغال زیستی پوسته برنج به‌طور معنی‌داری به ترتیب باعث افزایش ۶۹/۸ و ۲۱۱ درصدی مقدار روی قابل‌جذب شد. این در حالی است که مصرف کود سولفات روی در تیمارهای فاقد زغال زیستی نیز تأثیر معنی‌داری بر مقدار روی قابل‌جذب داشته و سبب افزایش سه برابری آن در تیمار ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی ۲۲ درصد شد ولی با افزایش مقدار زغال زیستی از ۰، ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار، با افزایش مصرف کود سولفات روی بر مقدار روی قابل‌جذب خاک نیز به‌طور معنی‌داری به‌طور متوسط بین ۱۵ تا ۲۵ درصد افزوده شده است. همچنین برهمکنش زغال زیستی و روی نیز به‌طور معنی‌داری سبب افزایش این صفت شد (جدول ۴). نتایج نشان می‌دهد که مناسب‌ترین ترکیب تیماری برای افزایش این صفت مصرف ۴۰ تن در هکتار زغال زیستی پوسته برنج به همراه ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی ۲۲٪ بوده که به معنی‌داری سبب افزایش سه برابری مقدار روی قابل‌جذب شده است (جدول ۳ و شکل ۴).

تعدادی از مطالعات نشان داده‌اند که کاربرد زغال زیستی می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی مقدار قابل‌جذب عناصر پرمصرف و کم‌مصرف خاک را بهبود بخشد (Liang *et* Laird *et al*., 2010a.; Masulili *et al*., 2010; *al*., 2014;). این موضوع تا حدی به دلیل افزودن مستقیم این مواد (پتاسیم و فسفر) توسط خود زغال زیستی است (Enders *et al*., 2012) و بخشی نیز به دلیل کاهش رواناب و آبشویی است (Laird *et al*., 2010b). در مطالعه‌ای بر روی تأثیر افزودن زغال زیستی بر عملکرد برنج و خصوصیات خاک توسط Liu *et al*., (2016) مقدار قابل‌جذب فسفر و پتاسیم موجود در خاک‌های اصلاح‌شده با زغال زیستی، به‌ویژه زغال زیستی کاه و کلش برنج، نسبت به خاک‌های شاهد افزایش چشمگیری در حدود ۳۳ و ۹۹ درصد (سال اول) و ۱۵/۳ و ۲۸/۶ درصد (در سال دوم) داشت. Lai *et al*., (2013) نیز نشان داد که اگرچه مصرف زغال زیستی سبب افزایش مقدار پتاسیم قابل‌جذب در خاک شده است ولی بر عملکرد تأثیر معنی‌دار نداشته است. مقدار افزایش مقدار قابل‌جذب عناصر پرمصرف به ترکیب ماده اولیه زغال زیستی و شرایط آماده‌سازی آن وابسته است (Hossain *et al*., 2011; Van Zwieten *et al*., 2010). سوجانا و همکاران (Sujana *et al*., 2014) با کاربرد زغال زیستی کود مرغی، زغال زیستی پوستهٔ برنج، کود مرغی و پوستهٔ برنج در سطوح مختلف گزارش کردند که فسفر قابل‌جذب افزایش معنی‌داری پیدا کرد. از جمله دلایل متناقض بودن نتایج محققان در زمینهٔ تأثیر زغال زیستی بر فراهمی فسفر می‌توان به متفاوت بودن نوع مادهٔ اولیه برای تولید زغال زیستی، درجه حرارت در زمان تولید، مدت زمان

www.SID.ir

Archive of SID



حرارت دادن، میزان دما و نوع خاکی که بیوچار در آن استفاده می‌شود اشاره کرد که در تجزیه‌پذیری زغال زیستی نقش مهمی دارند. مورالس و همکاران (Morales *et al*., 2013) در نتایج بررسی اثر زغال زیستی، کمپوست و ترکیب آنها بر بهبود فراهمی فسفر و اندازه‌گیری فسفر در سه زمان مختلف اظهار داشتند که اصلاح‌کننده‌های آلی در همهٔ زمان‌ها فسفر قابل‌جذب خاک را در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داد و علت افزایش فسفر قابل‌جذب را با معدنی شدن میکروبی فسفر آلی مرتبط دانستند. بیوچار با سطح ویژه بالایی دارد که در توزیع اندازه ذرات و تخلخل خاک تغییراتی را ایجاد کرده و آب و عناصر غذایی را در سطح خود جذب می‌کند و سپس به‌تدریج در اختیار ریشه گیاه قرار می‌دهد (Sun *et al*., 2014). افزودن این ماده به خاک سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی نیز می‌شود. ازآنجایی‌که زغال زیستی ظرفیت تبادل کاتیونی بالایی دارد این ویژگی زغال زیستی برخاسته از سطح ویژه زیاد آن در سطوح باردار و همچنین وفور گروه‌های کربوکسیل‌دار در آن است (Laird *et al*., 2010a). لهمن و همکاران (Lehmann *et al*., 2006) در نتایج بررسی‌های خود اظهار داشتند که زغال زیستی می‌تواند منبع مستقیم تأمین‌کننده برخی عناصر غذایی گیاه مانند پتاسیم، کلسیم، فسفر، روی و مس باشد. فراهمی عناصر غذایی بر اثر اضافه کردن زغال زیستی به خاک، می‌تواند از طریق افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، تغییر pH خاک و یا افزوده شدن مستقیم عنصر از زغال زیستی به خاک افزایش یابد. همچنین Peng *et al*. (2011) بیان داشتند اگرچه مصرف زغال زیستی به‌عنوان کود می‌تواند مقدار پتاسیم خاک را به علت وجود پتاسیم در ترکیبش افزایش دهد ولی زمانی که به‌عنوان اصلاح‌کننده مصرف می‌شود سبب افزایش کارایی استفاده از عناصر نیز می‌شود. ساختار خلل و فرجی آن می‌تواند به قابلیت دسترسی پتاسیم از طریق افزایش نگاهداری آب و تعادل آبی کمک شایانی نماید (Major *et al*., 2010; Oguntunde *et al*., 2008).

Ali *et al*. (2019) نشان دادند که استفاده از نانو ذرات اکسید روی به تنهایی و یا ترکیب با زغال زیستی، زیست‌توده و فتوسنتز گیاه برنج را بهبود می‌بخشد. وو و همکاران (Wu *et al*., 2018) گزارش نمودند که اصلاح خاک‌های زراعی با زغال زیستی باعث افزایش مقدار کلی روی در خاک می‌شود؛ اما غلظت روی قابل استخراج با نیترات کلسیم به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. همچنین جذب روی در دانه‌های گندم و برنج کاهش یافت. با مصرف مقادیر بالای زغال زیستی به میزان ۱۲۴ و ۲۷۰ تن در هکتار، غلظت روی در دانه گندم (۳۶/۶ و ۳۷/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) به سطح کمبود، کمتر از غلظت توصیه‌شده ۴۵ میلی‌گرم در کیلوگرم، رسید. آزمایش نشان داد که مصرف زغال زیستی به میزان تجمعی ۸/۵، ۱۵/۱۰، ۳۱/۵، ۱۲۴ و ۲۷۰ تن در هکتار به‌طور معنی‌داری میزان pH خاک و ماده آلی خاک را افزایش داد و در نتیجه منجر به جذب بیشتر و واجذب کمتر روی گردید. طیف‌سنجی ساختار جذب اشعه ایکس (EXAFS) نشان داد که فرم‌های اصلی جذب‌شده روی، کمپلکس‌های روی، الیت روی، کائولینیت روی و روی متصل به ماده آلی (Zn-OM) بودند. نسبت روی متصل به ماده آلی (Zn-OM) با افزایش مقدار مصرف زغال زیستی افزایش یافت. آنها پیشنهاد دادند که مقادیر بالاتر روی متصل به ماده آلی (Zn-OM) ممکن است در تثبیت روی مؤثرتر باشد که منجر به کاهش فراهمی زیستی روی برای گیاه می‌گردد (Alloway, 2009).

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش، نتایج حاکی از تأثیر مثبت افزودن زغال زیستی به تنهایی در هر دو تیمار ۲۰ و ۴۰ تن در هکتار و در ترکیب با کود سولفات روی بر عملکرد، اجزای عملکرد در برنج رقم هاشمی و برخی خصوصیات شیمیایی مهم خاک مانند عناصر کم و پرمصرف است. بیشترین ارتفاع بوته (۱۴۴/۳۳ سانتی‌متر)، بیشترین تعداد دانه پر در خوشه (۸۱/۶۵ عدد)، حداکثر وزن هزار دانه (با میانگین ۳۲/۳۷ گرم)، بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۴۱۱۲ کیلوگرم در هکتار، متعلق به تیمار ۴۰ تن در هکتار زغال زیستی بود. همچنین بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۴۲۲۰/۲ کیلوگرم در هکتار متعلق به تیمار کاربرد ۲۰ کیلوگرم کود سولفات روی در هکتار (۱۳ درصد افزایش) بود. مصرف ۴۰ تن در هکتار زغال زیستی پوسته برنج به همراه ۲۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی ۲۲ درصد به‌طور معنی‌داری مقدار فسفر قابل‌جذب، پتاسیم قابل‌جذب و روی قابل‌جذب را به ترتیب تا دو برابر، ۴۳/۱۵ درصد و سه برابر افزایش داده است. با این حال برای درک مناسب‌تر تأثیر این ماده آلی بایستی مطالعات بیشتری در مورد سازوکار اثر بیوچار مانند تأثیر آن در سال‌های دوم و سوم بر رشد برنج صورت گیرد. همچنین با توجه به اینکه مطالعات کمی در مورد اثر بیوچار بر رشد و نمو گیاه برنج در شرایط تنش‌های خشکی صورت گرفته است، پیشنهاد می‌شود آزمایش‌های زیادتری و با طول مدت اجرای بیشتر در شرایط مزرعه و با بیوچارهای حاصل از مواد اولیه دیگر و تولیدشده در دماهای مختلف بر روی ارقام برنج محلی و اصلاح‌شده صورت پذیرد.

**"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"**

www.SID.ir

Archive of SID


## REFERENCES


Ali, M. A., Lee, C. H., Lee, Y. B., & Kim, P. J. (2009). Silicate fertilization in no-tillage rice farming for mitigation of methane emission and increasing rice productivity. *Agriculture, ecosystems & environment*, *132*(1-2), 16-22.

Ali, S., Rizwan, M., Noureen, S., Anwar, S., Ali, B., Naveed, M., & Ahmad, P. (2019). Combined use of biochar and zinc oxide nanoparticle foliar spray improved the plant growth and decreased the cadmium accumulation in rice (Oryza sativa L.) plant. *Environmental Science and Pollution Research*, *26*(11), 11288-11299.

Alloway, B. J. (2009). Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. *Environmental Geochemistry and Health*, *31*(5), 537-548.

Arunrat, N., Pumijumnong, N., Sereenonchai, S., & Chareonwong, U. (2020). Factors Controlling Soil Organic Carbon Sequestration of Highland Agricultural Areas in the Mae Chaem Basin, Northern Thailand. *Agronomy*, *10*(2), 305.

Asai, H., Samson, B. K., Stephan, H. M., Songyikhangsuthor, K., Homma, K., Kiyono, Y., & 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.

Atkinson, C. J., Fitzgerald, J. D., & Hipps, N. A. (2010). Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant and soil*, *337*(1-2), 1-18.

Chakeralhosseini, M. R., Mohtashami, R., and Owliaie, H. R. (2009). Effects of rate, source, and method of zinc fertilizer application on quantitative and qualitative characteristics of rice (Choram 1). *Journal of Research in Agricultural Science*, 5 (1), 33-43. (In Persian with English abstract).

Chang, H. B., Lin, C. W., and Huang, H. J. (2005). Zinc-induced cell death in rice (Oryza sativa L.) roots. *Plant growth regulation*, 46(3), 261-266.

Depar, N., Rajpar, I., Memon, M.Y. and Imtiaz, M., (2011). Mineral nutrient densities in some domestic and exotic rice genotypes. *Pakistan Journal of Agriculture: Agricultural Engineering Veterinary Sciences (Pakistan)*.

Doberman, A., and Fairhurst, T. (2000). Nutriments Disorders and Nutriments Management. International Plant Nutrition Institute.

Enders, A., Hanley, K., Whitman, T., Joseph, S., & Lehmann, J. (2012). Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. *Bioresource technology*, *114*, 644-653.

FAO. (2018). Rice market monitor. Vol. XVI, *Trade and Markets Division*. Rome.

FAOSTAT, (2018). *FAOSTAT online database*.(2018).

Hossain, M. K., Strezov, V., Chan, K. Y., Ziolkowski, A., & Nelson, P. F. (2011). Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar. *Journal of environmental management*, *92*(1), 223-228.

Huang, M., Long, F. A. N., Jiang, L. G., Yang, S. Y., Zou, Y. B., & Uphoff, N. (2019). Continuous applications of biochar to rice: Effects on grain yield and yield attributes. *Journal of integrative agriculture*, *18*(3), 563-570.

Jamalomidi, M., Esfahani M. and Carapetin, J. (2006). Zinc and salinity interaction on agronomical traits, chlorophyll and prolin content in lowland Rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 9(7), 1315-1319.

Jeffery, S., Verheijen, F. G., van der Velde, M., & Bastos, A. C. (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.

Jin, J., Wang, M., Cao, Y., Wu, S., Liang, P., Li, Y., ... & Christie, P. (2017). Cumulative effects of bamboo sawdust addition on pyrolysis of sewage sludge: biochar properties and environmental risk from metals. *Bioresource technology*, *228*, 218-226.

Kamara, A., Kamara, H. S., & Kamara, M. S. (2015). Effect of rice straw biochar on soil quality and the early growth and biomass yield of two rice varieties. *Agricultural Sciences*, *6*(08), 798.

Khorram, M. S., Zhang, Q., Lin, D., Zheng, Y., Fang, H., & Yu, Y. (2016). Biochar: a review of its impact on pesticide behavior in soil environments and its potential applications. *Journal of environmental sciences*, *44*, 269-279.

Lai, L., Ismail, M. R., Muharam, F. M., Yusof, M. M., Ismail, R., & Jaafar, N. M. (2017). Effects of rice straw biochar and nitrogen fertilizer on rice growth and yield. *Asian J. Crop Sci*, *9*(4), 159-166.

Lai, W. Y., Lai, C. M., Ke, G. R., Chung, R. S., Chen, C. T., Cheng, C. H., ... & Chen, C. C. (2013). The effects of woodchip biochar application on crop yield, carbon sequestration and greenhouse gas emissions from soils planted with rice or leaf beet. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, *44*(6), 1039-1044.

Laird, D., Fleming, P., Wang, B., Horton, R., & Karlen, D. (2010b). Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma*, *158*(3-4), 436-442.

Laird, D. A., Fleming, P., Davis, D. D., Horton, R., Wang, B., & Karlen, D. L. (2010a). Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. *Geoderma*, *158*(3-4), 443-449.

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,


www.SID.ir

Archive of SID



manure and charcoal amendments. *Plant and soil*, *249*(2), 343-357.

Lehmann, J., Gaunt, J., & Rondon, M. (2006). Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems–a review. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, *11*(2), 403-427.

Liang, F., LI, G. T., LIN, Q. M., & ZHAO, X. R. (2014). Crop yield and soil properties in the first 3 years after biochar application to a calcareous soil. *Journal of Integrative Agriculture*, *13*(3), 525-532.

Liu, Y., Lu, H., Yang, S. and Wang, Y., (2016). Impacts of biochar addition on rice yield and soil properties in a cold waterlogged paddy for two crop seasons. *Field crops research*, *191*, pp.161-167.

Lu, G. Y., Ikeya, K., & Watanabe, A. (2016). Size distribution of carbon layer planes in biochar from different plant type of feedstock with different heating temperatures. *Chemosphere*, *163*, 252-258.

Mahmoudsoltani, S., Allaghoolipoor, M. and Kavoosi, M. (2019). Quantitative and qualitative improvement of rice grain in paddy field through macro and micronutrient management strategies (focus on phosphorus and zinc). *Final project report. Rice research institute of Iran.* Rasht. Iran.

Mahmoudsoltani S, Mohamed, M.H., Samsuri, A., Syed, M. and Sharifah, K. (2017b). Lime and Zn application effects on soil and plant Zn status at different growth stages of rice in tropical acid sulphate paddy soil. *Azarian Journal of Agriculture*, *4*(4), 127-138.

Mahmoudsoltani, S. (2020b). Zn biofortification, grain protein content, and zinc and phosphorus content of rice tissues at different growth stages affected by zinc and phosphorus foliar application. Iran J Soil Water Res. **(Accepted).**

Mahmoudsoltani, S. 2018. Zinc deficiency, causes, symptoms and solutions. *Technical Bulletin. Rice research institute of Iran*.31p.

Mahmoudsoltani, S., Allahgholipoor,M., Shakoori, M. and Poursafar tabalvandani, A. (2020a). Effect of basal and foliar application of zinc sulphate fertilizer on zinc uptake, yield and yield components of rice (Hashemi cultivar). Iranian Journal of Soil and Water Researches. (in press)(in Persian with English abstract).

Mahmoudsoltani, S., Hanafi, M. M., Samsuri, A. W., Muhammed, S. K. S. and Hakim, M. A. (2016). Rice growth improvement and grains bio-fortification through lime and zinc application in zinc deficit tropical acid sulphate soils. *Chemical Speciation & Bioavailability*, *28*(1-4), 152-162.

Mahmoudsoltani, S., Mohamed, M. H., Abdul, W. S. and Sharifah, K. (2017a). Lime and Zn interactions effects on yield, yield component, and quality of rice in Zn deficit tropical paddy soil. *Azarian Journal of Agriculture*, *4*(5), 185-192.

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.

Malakooti, M. J., and Kavoosi, M. (2004). Balance nutrition of rice. *SANA publication press.* Tehran, Iran.p 610.

Masulili, A., Utomo, W. H., & Syechfani, M. S. (2010). Rice husk biochar for rice based 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.

McHenry, M. P. (2011). Soil organic carbon, biochar, and applicable research results for increasing farm productivity under Australian agricultural conditions. *Communications in soil science and plant analysis*, *42*(10), 1187-1199.

Morales, M.M., Comerford, N., Guerrini, I.A., Falcão, N.P. and Reeves, J.B., (2013). Sorption and desorption of phosphate on biochar and biochar–soil mixtures. *Soil Use and Management*, *29*(3), pp.306-314.

Oguntunde, P. G., Abiodun, B. J., Ajayi, A. E., & van de Giesen, N. (2008). Effects of charcoal production on soil physical properties in Ghana. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *171*(4), 591-596.

Oladele, S. O., Adeyemo, A. J., & Awodun, M. A. (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.

Peng, X. Y. L. L., Ye, L. L., Wang, C. H., Zhou, H., & Sun, B. (2011). Temperature-and duration-dependent rice straw-derived biochar: Characteristics and its effects on soil properties of an Ultisol in southern China. *Soil and Tillage Research*, *112*(2), 159-166.

Schulz, H., Dunst, G., & Glaser, B. (2013). Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility. *Agronomy for sustainable development*, *33*(4), 817-827.

Seyedghasemi, S.M., Rezvani Moghaddam, P. and Esfahani, M. (2020). Optimization of biochar and nitrogen fertilizer in rice cultivation. Journal of plant nutrition. (Accepted).

Slaton, N.A., Wilson, C.E., Ntamatungiro, S., Norman, R.J. and Boothe, D.L., (2001). Evaluation of zinc seed treatments for rice. *Agronomy Journal*, *93*(1), pp.152-157.

Sohi, S., 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.

Sujana, I.P., Lanya, I., Subadiyasa, I.N.N. and Suarna, I.W. (2014). The effect of dose biochar and organic matters on soil characteristic and corn plants growth on the land degraded by garment liquid waste. *Journal of Biology, Agriculture and*

www.SID.ir

Archive of SID


*Healthcare*, *4*(5), pp.77-88.

Sun, Z., Bruun, E. W., Arthur, E., De-Jonge, L. W., Moldrup, P., Hauggaard-Nielsen, H. and Elsgaard, L. (2014). Effect of biochar on aerobic processes, enzyme activity, and crop yields in two sandy loam soils. *Biology and Fertility of Soils*, 50, 1087-1097.

Tipayarom, D. and Oanh, N.K., (2007). Effects from open rice straw burning emission on air quality in the Bangkok Metropolitan Region. *Science Asia*, *33*(3), pp.339-345.

Uddin, M. A., & Phuong, H. T. (2012). Development of technologies for the utilization of agricultural and forestry wastes: preparation of biochar from rice residues.

Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K. Y., Downie, A., Rust, J., & Cowie, A. (2010). Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and soil*, *327*(1-2), 235-246.

Vithanage, M., Herath, I., Joseph, S., Bundschuh, J., Bolan, N., Ok, Y.S., Kirkham, M. B. and Rinklebe, J. (2016). Interaction of arsenic with biochar in soil and water: A critical review. *Carbon*, 113, 219-230.

Wang, W., Zhang, X., Ling, G. (2013). Effects of biochar amendment on growth andyield of rice in cold water field. *J. Anhui Agric. Sci*,. 41, 6220–6221 (in Chinesewith English abstract).

Wang, J., Wang, X., Xu, M., Feng, G., Zhang, W., Lu, C. (2015). Crop yield and soilorganic matter after long-term straw return to soil in China. *Nutr. Cycl.Agroecosyst*, 102, 371–381.

Wu, P., Cui, P. X., Fang, G. D., Wang, Y., Wang, S. Q., Zhou, D. M., ... & Wang, Y. J. (2018). Biochar decreased the bioavailability of Zn to rice and wheat grains: insights from microscopic to macroscopic scales. *Science of the Total Environment*, *621*, 160-167.

Xiao, Q., Zhu, L.X., Shen, Y.F. and Li, S.Q., (2016). Sensitivity of soil water retention and availability to biochar addition in rainfed semi-arid farmland during a three-year field experiment. *Field Crops Research*, *196*, pp.284-293.

Xu, G., Wei, L.L., Sun, J.N., Shao, H.B. and Chang, S.X., (2013). What is more important for enhancing nutrient bioavailability with biochar application into a sandy soil: Direct or indirect mechanism?. *Ecological Engineering*, *52*, pp.119-124.

Zou, C., Gao, X., Shi, R., Fan, X. and Zhang, F., (2008). Micronutrient deficiencies in crop production in China. *In Micronutrient deficiencies in global crop production (pp. 127-148)*. Springer, Dordrecht.

www.SID.ir