Journal of Soil Management and Sustainable Production

Print ISSN: 2322-1267
Online ISSN: 2322-1275

Soil Science Society of Iran

The effect of foliar application and biochar enriched with zinc on some characteristics of vegetative growth, yield components and availability of zinc in wheat

Narjes Sousaraei[*1], Mojtaba Barani Motlagh[2], Seyed Ali Reza Movahedi Naeini[3]

1. Corresponding Author, Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: sousaraee@gmail.com
2. Associate Prof., Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: mbarani2002@yahoo.com
3. Associate Prof., Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: salirezam@yahoo.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 09.14.2023
Revised: 01.27.2024
Accepted: 01.29.2024

Keywords:
Organic-mineral composition,
Pellet,
Post-Pyrolysis,
Pre-Pyrolysis,
Zinc

ABSTRACT

Background and Objectives: Zinc is an essential micronutrient that is necessary for healthy plant growth and enzyme activity. Zinc deficiency occurs in most cereal cultivation lands. On the other hand, nutrient-rich biochars are deemed by researchers to improve nutrient use efficiency and plant growth. Biochars have high nutrient uptake capability. However, a limited number of studies have been done on their application as a nutrient carrier in organic-inorganic composite synthesis. Therefore, the present study was done to investigate the efficiency of zinc-enriched biochar pellets using two pre-pyrolysis and post- pyrolysis methods, and their effect on some vegetative characteristics, yield components and zinc availability in wheat.

Materials and Methods: Soil with zinc deficiency was collected from 0-30 cm depth under arable lands of Seyed Abad located in Azadshahr township, Golestan Province, Iran. To achieve the objectives of this study, a factorial experiment in a completely randomized design with three replications and 18 treatments (54 pots in total) was performed in the greenhouse of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Factors included three types of zinc fertilizers (zinc sulphate, zinc-rich biochar prepared using pre-pyrolysis and post-pyrolysis methods) in three levels (0, 10 and 20 mg/kg zinc) and foliar spraying (distilled water and 3:1000 zinc). Zinc foliar spraying was done during the 6-10 leaf stage in the early hours of the morning before sunrise. Irrigation and weeding operations were performed manually. At the end of the growing period (vegetative and reproductive), vegetative characteristics and yield components including plant fresh and dry weights (at two stages of flag leaf emergence and seed maturity, plant height (at two stages of flag leaf emergence and seed maturity, plant height), leaf number, stem diameter, spike length, 1000 grain weight and zinc concentration in grains were measured and then, biological yield and harvest index were determined.

Results: Based on the results, the interaction of type and level of treatments was significant on all the studied traits at $P<0.01$, except for leaf number. Comparison of means showed that the highest plant dry weight (2.60 g/pot), height (96.66 cm), spike length (13.36 cm) and stem diameter (3.5 cm) were related to post-pyrolysis biochar pellet at 20 mg/kg and zinc

Uncorrected Proof

sulphate foliar spraying. These values were higher than the pre-pyrolysis biochar pellet at 20 mg/kg and zinc sulphate foliar spraying treatment by 5.38, 0.7, 3.96 and 8 percent, respectively. Post-pyrolysis biochar pellet at 20 mg/kg and zinc sulphate foliar spraying treatment had the highest biological yield and harvest index with an average of 4.5 and 42.37% shoot dry weight, respectively, which was due to the high values of shoot dry weight (2.60), zinc concentration in grains (69.66 mg/kg) and 1000 grain weight (50.03 g).

Conclusion: Overall, the results indicate the positive role of biochar-zinc composites in the improvement of wheat growth characteristics and yield components. It may be concluded that post-pyrolysis biochar pellet at 20 mg/kg and zinc sulphate foliar spraying treatment had the highest effect on wheat vegetative growth and yield components.

Cite this article: Sousaraei, Narjes, Barani Motlagh, Mojtaba, Movahedi Naeini, Seyed Ali Reza. 2024. The effect of foliar application and biochar enriched with zinc on some characteristics of vegetative growth, yield components and availability of zinc in wheat. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 14 (3), 27-51.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/EJSMS.2024.21916.2126
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Uncorrected Proof

نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار
شاپا چاپی: ۱۲۶۷-۲۳۲۲
شاپا آنلاین: ۱۲۷۵-۲۳۲۲
انجمن علوم خاک ایران

اثر محلول‌پاشی و بیوچار (ذغال زیستی) غنی شده با روی بر برخی ویژگی‌های رشد رویشی، اجزای عملکرد و فراهمی روی در گیاه گندم

نرجس سوسرائی*[۱]، مجتبی بارانی‌مطلق[۲]، سید علیرضا موحدی نائینی[۳]

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: sousaraee@gmail.com
۲. دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: mbarani2002@yahoo.com
۳. دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: salirezam@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۲۳
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۹

واژه‌های کلیدی:
پس پیرولیز،
پیش پیرولیز،
پلت،
ترکیب آلی- معدنی،
روی

چکیده

سابقه و هدف: روی یک عنصر کم‌مصرف مهم است که برای رشد گیاه و فعالیت‌های آنزیمی مورد نیاز است. کمبود روی در اغلب اراضی زیرکشت غلات وجود دارد. امروزه برای بهبود کارایی مصرف عناصر غذایی و رشد گیاهان استفاده از بیوچارهای غنی از عناصر مورد توجه پژوهش‌گران قرار گرفته است. بیوچارها دارای ظرفیت جذب عناصر غذایی بالایی هستند، با این حال مطالعات بسیار معدودی کاربرد آنها را به عنوان یک حامل مواد مغذی در ساخت ترکیب آلی-معدنی بررسی کرده‌اند. بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی کارایی پلت بیوچارهای غنی شده با روی به دو روش پیش و پس پیرولیز و تأثیر آن‌ها بر برخی ویژگی‌های رشد رویشی، اجزای عملکرد و فراهمی روی در گیاه گندم انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: خاک با کمبود روی قابل استفاده، از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری مزارع کشاورزی روستای سیدآباد واقع در شهرستان آزادشهر استان گلستان تهیه شد. برای دستیابی به اهداف این پژوهش، آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار و با ۱۸ تیمار و در مجموع با ٥٤ گلدان در گلخانه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به اجرا درآمد. فاکتورها شامل سه نوع کود روی (سولفات روی، بیوچار غنی از روی به روش پیش پیرولیز (ابتدا زیست‌توده بارگذاری و سپس پیرولیز انجام شد) و پس پیرولیز (ابتدا بیوچار تهیه سپس بارگذاری صورت گرفت)، سه سطح (۰، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی) و محلول‌پاشی روی (محلول‌پاشی با آب مقطر و محلول‌پاشی سولفات روی ۳ در هزار) بود. آن‌گاه پس از پایان دوره رشد (رویشی و زایشی) ویژگی‌های رشد رویشی و اجزای عملکرد شامل وزن‌تر و وزن خشک گیاه (در دو مرحله ظهور برگ پرچم و رسیدگی دانه)، ارتفاع بوته (در دو مرحله

Uncorrected Proof

ظهور برگ پرچم و رسیدگی دانه)، تعداد برگ، قطر ساقه، طول خوشه، وزن هزاردانه، غلظت روی در دانه اندازه‌گیری و آن‌گاه عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت تعیین شدند.

یافته‌ها: بر پایه نتایج به دست آمده اثر متقابل نوع و سطوح تیمارهای مورد بررسی بر تمام صفات به جز تعداد برگ در سطح یک درصد (P<۰/۰۱) معنی‌دار شدند. نتایج حاصل از مقایسات میانگین داده‌ها نشان داد بیش‌ترین مقدار وزن خشک گیاه ۲/٦۰ گرم در گلدان، ارتفاع ۹٦/٦٦ سانتی‌متر، طول خوشه ۱۳/۳٦ سانتی‌متر و قطر ساقه ۳/۵ سانتی‌متر در بوته از تیمار پلت بیوچار پس پیرولیز ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی همراه با محلول‌پاشی به دست آمد که نسبت به تیمار پلت بیوچار پیش پیرولیز ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم همراه با محلول پاشی به ترتیب افزایشی معادل با ۵/۳۸، ۰/۷، ۳/۹٦ و ۸ درصد داشت. تیمار پلت بیوچار پس پیرولیز ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی همراه با محلول‌پاشی به دلیل بالا بودن وزن خشک اندام هوایی (۲/٦۰)، غلظت روی در دانه (٦۹/٦٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و وزن هزاردانه (۵۰/۰۳ گرم) بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت با میانگین ٤/۵ و ٤۲/۳۷ درصد را به خود اختصاص داد.

نتیجه‌گیری: به طور کلی، نتایج به دست آمده بیانگر نقش مثبت محلول‌پاشی و ترکیبات بیوچار- روی در افزایش ویژگی‌های رشد رویشی و اجزای عملکرد گیاه گندم بود. در مجموع می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که پلت بیوچار غنی از روی پس پیرولیز ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی همراه با محلول‌پاشی روی بیش‌ترین تأثیر را بر ویژگی‌های رشد رویشی و اجزای عملکرد گیاه گندم داشت.

استناد: سوسرائی، نرجس، بارانی‌مطلق، مجتبی، موحدی نائینی، سید علیرضا (۱۴۰۳). اثر محلول‌پاشی و بیوچار (ذغال زیستی) غنی شده با روی بر برخی ویژگی‌های رشد رویشی، اجزای عملکرد و فراهمی روی در گیاه گندم. *نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۱۴ (۳)، ۵۱-۲۷.

DOI: 10.22069/EJSMS.2024.21916.2126

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

Uncorrected Proof

مقدمه

روی عنصری ضروری برای گیاهان است که کمبود آن نه تنها بر رشد و عملکرد محصول، بلکه بر کیفیت محصولات برای مصرف انسان نیز تأثیر می‌گذارد. کمبود روی در خاک‌های با pH بالا با غلظت روی کم رایج است (۱). این موضوع نگران‌کننده است زیرا خاک‌های آهکی قلیایی یک سوم زمین‌های کشاورزی جهان را تشکیل می‌دهند (۲). بیش از سه میلیارد نفر در سراسر جهان از کمبود روی رنج می برند (۳). این امر را می‌توان به رژیم‌های غذایی وابسته به محصولات تولید شده در مناطقی با غلظت کم روی نسبت داد (٤). کاهش فراهمی روی در خاک‌های آهکی قلیایی ناشی از رسوب روی شامل کربنات روی (اسمیتسونیت $ZnCO_3$) یا هیدروکسید روی ($Zn(OH)_2$)، جذب اختصاصی و غیراختصاصی بر روی کربنات کلسیم و سایر اجزای خاک مانند اکسیدها است (۵). رسوب و کمپلکس توسط مواد آلی و جذب توسط مواد معدنی خاک واکنش‌های اصلی هستند که نگه‌داشت و در دسترس بودن روی در خاک را برای گیاهان تحت‌تأثیر قرار می‌دهند (۲ و ٦). این فرآیندها تعادل روی را بین فاز جامد و محلول خاک تنظیم می‌کنند (۲ و ٦). جذب روی توسط pH، کربنات‌ها، مواد آلی، محتوای رس، اکسیدهای آهن (Fe) و آلومینیوم (Al) و برهمکنش با سایر عناصر غذایی (به ویژه سایر فلزات و فسفات‌ها) کنترل می‌شود (۷). برای غلبه بر کمبود روی در محصولات زراعی نیاز به استفاده از کودهای معدنی روی است. سولفات روی ($ZnSO_4$) به دلیل حلالیت بالا و هزینه کم یکی از پرمصرف‌ترین کودهای روی است (۸). با این حال کودهای معدنی در تامین روی محصولات زراعی به دلیل واکنش تثبیت روی در خاک‌های آهکی ناکارآمد می‌باشند (۹). برای غلبه بر این مسائل، اکثر دانشمندان استفاده از کودهای معدنی را در ترکیب با مواد آلی پیشنهاد می‌کنند (۱۰ و ۱۱). از طرف دیگر استفاده از بیوچار تولید شده از زیست‌توده اضافی گیاهی راه‌حلی پایدار برای دفع پسماندهای کشاورزی است که نه تنها از نظر زیست‌محیطی و اکولوژیکی سالم است، بلکه ممکن است از نظر اقتصادی برای کاربرد در مقیاس کوچک تا بزرگ در سیستم‌های تولید کشاورزی نیز مقرون به صرفه باشد (۱۲). بیوچار یک ماده متخلخل غنی از کربن است که با تبدیل حرارتی مواد آلی در فضای بدون اکسیژن تولید می‌شود. بیوچار به عنوان یک فناوری برای ذخیره طولانی‌مدت کربن در خاک و هم‌چنین به عنوان یک اصلاح کننده می‌تواند مناطق از دست رفته برای کشاورزی را با جبران اسیدیته، کربن آلی بسیار کم و احتباس آب به بهره‌برداری بازگرداند (۱۲). گزارش شده است که بیوچارهای غنی شده علاوه بر تامین عناصر غذایی دارای پتانسیل بالا به عنوان حامل این عناصر هستند که می‌توان به پتانسیل توسعه کودهای کندرها مبتنی بر بیوچار اشاره نمود (۱۲). استفاده از بیوچار در کودهای آهسته رهش در حال افزایش است. بیوچار از طریق تجزیه در اثر حرارت مواد آلی ایجاد می‌شود و در نتیجه ماده‌ای با پایداری آروماتیک بالا و ساختار متخلخل ایجاد می‌شود (۱۳ و ١٤). کود کندرها به کودی گفته می‌شود که سرعت حل شدن آن در آب خاک کم‌تر از کودهای محلول در آب است. این کودها مدت طولانی‌تری عناصر غذایی را به ریشه گیاهان عرضه می‌کنند (۱۵). کودهای کندرها از دو راه ۱) بهبود فراهمی عناصر غذایی در نظام خاک- گیاه با اثر بر رقابت و یا برهمکنش میان ریشه‌های گیاه، ریز جاندارن خاک، واکنش‌های شیمیایی و مسیرهای هدررفت و ۲) هم‌زمانی آزادسازی عناصر غذایی با نیاز گیاه، جذب عناصر غذایی و رشد گیاه را بهبود می‌بخشند (۱۵ و ١٦). کودهای کندرها با کاربرد

Uncorrected Proof

یک‌بار در مزرعه دارای پتانسیل عرضه عناصر غذایی در طول فصل رشد می‌باشند که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می‌باشد (۱۷). علاوه بر این در کودهای ترکیبی معدنی موجود علاوه بر تامین عناصر غذایی از مواد حامل بی اثر مانند شن و ماسه استفاده می‌شود که هیچ اثر مفیدی بر کیفیت شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی خاک ندارد، اما استفاده از بیوچار به عنوان حامل عناصر غذایی علاوه بر افزایش کیفیت خاک مانند بهبود ظرفیت تبادل کاتیونی، جذب کربن و افزایش حفظ رطوبت، به دلیل تشکیل کمپلکس دورن کره‌ای عناصرغذایی به ویژه عناصر غذایی کم‌مصرف با گروه‌های عاملی کربوکسیل و هیدروکسیل باعث آزادسازی آهسته و طولانی‌مدت عناصر غذایی شده (۱۸ و ۱۹) که این ویژگی باعث فراهمی زیستی عنصر غذایی، افزایش رشد و عملکرد محصول می‌شود. در کمپلکس درون کره‌ای عناصر غذایی کم مصرف از جمله روی با گروه‌های عاملی، هیچ‌گونه مداخله‌ای از مولکول‌های آب صورت نمی‌گیرد زیرا پیوند این یون‌ها کووالانسی است (۲۰). بنابراین کاربرد کودهای کندرها می‌تواند کمبود عناصر غذایی کم‌مصرف در خاک‌ها را نیز کاهش و جذب عناصر غذایی و رشد گیاه را نیز افزایش دهد. ژوزف و همکاران (۲۰۱۳) بیان نمودند ترکیب فلز- بیوچار به دلیل واکنش‌های زیستی، غیر زیستی و چرخه عناصر غذایی منجر به پاسخ مطلوب گیاه از جمله جذب عناصر غذایی توسط گیاه می‌شود (۲۱). از فواید این ترکیبات برای فراهمی عناصر غذایی به مدت طولانی می‌توان به پایداری بیش‌تر مواد آلی، رهاسازی آهسته عناصر غذایی از موادآلی اضافه شده و نگه‌داشت بهتر عناصر غذایی به دلیل ظرفیت تبادل کاتیونی بالا اشاره کرد که در نتیجه باعث افزایش رشد گیاه و جذب عناصر غذایی از جمله روی توسط گیاه می‌شود (۲۲). در همین راستا گونزی و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که استفاده از کودهای کندرها باعث کاهش هدررفت عناصر غذایی، بهبود نگه‌داشت آب و افزایش عناصر غذایی گیاه در خاک می‌گردد (۱۹). هم‌چنین خواجوی شجاعی و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که استفاده از کودهای کندرها بر پایه بیوچار به‌طور معناداری ارتفاع، شاخص سطح برگ، وزن خشک ریشه و ساقه نیز افزایش می‌دهد (۲۳). بیوچار غنی شده با عناصر غذایی کم‌مصرف به طور قابل‌توجهی می‌تواند به عنوان یک کود کندرها عمل کند. با این حال، توجه محدودی به توسعه کودهای کندرها با استفاده از بیوچار به عنوان یک حامل عناصر غذایی شده است. از طرفی نوع ماده خام استفاده شده برای تولید بیوچار، روش اصلاح کردن و روشی که فلزات به بیوچار افزوده می‌گردد، ویژگی‌ها و ساختار ترکیب فلز- بیوچار را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (۲٤ و ۲۵). بنابراین این پژوهش با هدف بررسی ساخت ترکیب بیوچار- روی به دو روش پس و پیش پیرولیز (در پیش پیرولیز ابتدا بارگذاری روی توسط زیست‌توده صورت گرفته و پس از آن پیرولیز انجام می‌شود و در پس پیرولیز ابتدا پیرولیز زیست‌توده صورت گرفته و بعد از آن بارگذاری روی انجام می‌شود.)، و تأثیر آن بر رشد رویشی، اجزای عملکرد و فراهمی روی در گیاه گندم انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری و تعیین ویژگی‌های خاک: خاک مورد استفاده از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک‌های استان گلستان (N:37007'10.96 و E:55014'11.99) برداشته شد. پس از هوا خشک شدن، از الک دو میلی‌متری عبور داده شد و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مانند بافت خاک، کربنات کلسیم معادل pH و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع، کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، نیترژون کل، فسفر و پتاسیم

Uncorrected Proof

قابل استفاده (۲۶) و عناصر غذایی کم‌مصرف مانند آهن، روی، مس، منگنز با روش لیندزی و نورول اندازه‌گیری شدند (۲۷) (جدول ۱).

تهیه زیست‌توده و تولید بیوچار: تفاله نارنج مورد استفاده در تهیه بیوچار از باغ‌های مرکبات واقع در استان گلستان تهیه گردید. سپس به منظور حذف نمک‌های محلول چندین بار با آب مقطر شسته شدند. آن‌گاه خرد و از الک ۷۰ مش عبور داده شدند (۲۸). سپس در داخل کوره الکتریکی در دما ٤٥٠ با متوسط افزایش دما ۱۰ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه به مدت دو ساعت گرماکافت آهسته شد (۲۹).

تهیه بیوچار بارگذاری شده با روی: در این پژوهش تهیه بیوچار باگذاری شده با روی به دو روش انجام گرفت: در روش پیش پیرولیز به منظور اشباع‌سازی زیست‌توده از فرآیند جذب زیستی استفاده گردید. بدین منظور ابتدا یک محلول ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر روی از نمک سولفات روی ($ZnSO_4.7H_2O$) تهیه شد (۳۰). سپس مقدار معینی از زیست‌توده (تفاله نارنج) به این محلول اضافه شد و به مدت ٤ ساعت با استفاده از همزن مغناطیسی در دما ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه مخلوط شدند. پس از آن محتویات ظرف توسط فیلتر صاف و در آون قرار گرفتند. آن‌گاه در کوره الکتریکی در دما ٤٥٠ درجه سانتی‌گراد با متوسط افزایش دما ۱۰ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه به مدت دو ساعت گرماکافت آهسته شدند (۲۹). در روش پس پیرولیز، روش کار عیناً مشابه زیست‌توده بارگذاری شده با روی می‌باشد با این تفاوت که به جای زیست‌توده از بیوچار تهیه شده در دما ٤٥٠ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت استفاده شد (شکل ۱). درصد کاهش وزن بقایا بر اثر گرماکافت و تبدیل به بیوچار (درصد عملکرد بیوچار[1]) و محتوای خاکستر[2] از روش ASTM D-2866 به ترتیب با استفاده از رابطه‌های ۱ و ۲ محاسبه گردید که درصد عملکرد بیوچار برابر ۳۳/۷ درصد و محتوای خاکستر در زیست‌توده و بیوچار به ترتیب برابر ۵/۲۵ و ۱٦/۳۳ درصد به دست آمد (۳۱).

$$\text{درصد عملکرد بیوچار} = \frac{\text{وزن بیوچار } (g)}{\text{وزن خشک آون ماده آلی خام } (g)} \times 100 \quad (۱)$$

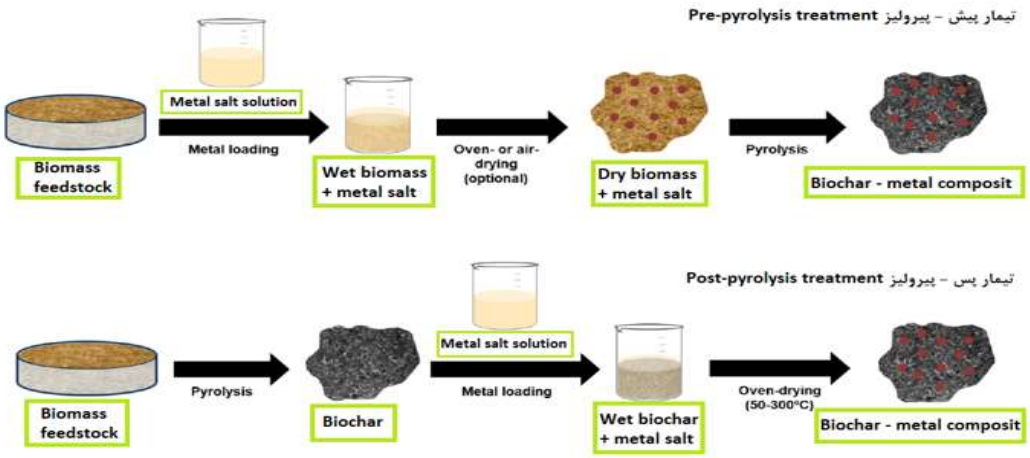
$$\text{درصد محتوای خاکستر} = \frac{\text{وزن خاکستر } (g)}{\text{وزن خشک بیوچار } (g)} \times 100 \quad (۲)$$

هم‌چنین مقادیر pH، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره ۱:۲۰ تعیین گردید (۳۲). برای تجزیه عنصری زیست‌توده و بیوچار از روش هضم نمونه‌های خاکستر با اسید نیتریک استفاده گردید. غلظت پتاسیم به ترتیب با میانگین ۲۷۰/۸٦ و ۳٦۱/۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم، غلظت سدیم به ترتیب با میانگین ۱۹۲ و ٦۳۵/۳۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم در عصاره‌ها با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر و غلظت فسفر به ترتیب با میانگین ۲۵۰۵/۹۵ و ۳۳۱٦/۹٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شدند (۳۳). برای اندازه‌گیری غلظت آهن، روی، مس و منگنز در زیست‌توده، بیوچار و پلت بیوچارهای غنی شده با روی از دستگاه جذب اتمی مدل UNICAM919 استفاده شد (۳۲). در زیست‌توده و بیوچار به ترتیب مقادیر روی (۳/۵ و ۱۲/۸۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، آهن (۳/۵ و ٦۳/۲۳ میلی‌گرم بر

1- Biochar Yeild
2- Ash Content

Uncorrected Proof

کیلوگرم)، مس (۱۳/۵۳ و ۱۷/۷۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و منگنز (۵/۱۳ و ۱۲/۳٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به دست آمد. کربن آلی قابل اکسایش نیز با استفاده از روش والکی–بلک (۳٤) تعیین شد (جدول ۲). ظرفیت تبادل کاتیونی زیست‌توده و بیوچار با استفاده از روش استات آمونیوم نرمال (۳۵) اندازه‌گیری شد (جدول ۲). از نشاسته ذرت به عنوان یک پلیمر زیستی و سازگار با محیط زیست که خواص ژله‌ای و از دی سدیم تترابورات سدیم جهت اتصال عرضی (Cross-link) این پلیمر طبیعی (چسب نشاسته–دی سدیم تترابورات) استفاده گردید. پس از بارگذاری روی، بیوچارهای بارگذاری شده در نسبت ۱:۲ با چسب نشاسته–دی سدیم تترا بورات توسط دستگاه اکسترودر در قطعات ۲–۵ میلی‌متری پلت گردیدند (۱۹ و ۳٦).



شکل ۱- نمودار کلی روش‌های پیش و پس پیرولیز سنتز کمپوزیت‌های فلز- بیوچار (۳۷).

آزمایش گلخانه‌ای: در این پژوهش تأثیر بیوچار بارگذاری شده با روی بر ویژگی‌های رشد رویشی گیاه گندم به صورت گلدانی مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تکرار و با ۱۸ تیمار و در مجموع با ٥٤ گلدان در گلخانه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به اجرا درآمد. فاکتور اول نوع کود روی (سولفات روی، بیوچار پیش پیرولیز، بیوچار پس پیرولیز)، فاکتور دوم سطوح مختلف کود (صفر، ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم) و فاکتور سوم محلول‌پاشی روی در دو سطح (محلول‌پاشی با آب مقطر به عنوان شاهد و محلول‌پاشی با محلول سولفات روی با غلظت ۳ در هزار) می‌باشد. لازم به ذکر است مقدار ۱۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم مطابق توصیه آزمون خاک و ۲۰ میلی‌گرم روی بر کیلوگرم دو برابر توصیه آزمون خاک می‌باشد. محلول‌پاشی روی در مراحل ٦–۱۰ برگی و در ساعات اولیه صبح قبل از طلوع آفتاب انجام شد. به منظور افزایش مدت زمان ماندگاری ترکیب محلول‌پاشی شده بر روی بوته‌ها از مویان (توین ۲۰) با نسبت ۰/۵ درصد حجمی استفاده گردید. واحدهای آزمایشی گلدان‌های پلاستیکی حاوی ۵ کیلوگرم خاک بود. سپس تعداد ۱۰ عدد بذر گندم رقم آراز در هر گلدان با عمق ۲ سانتی متری خاک کاشته که پس از سبز شدن و گذشت ۲ هفته تعداد بوته‌ها به ٤ عدد در هر گلدان تقلیل یافت. جهت حذف اثرات محیطی در طول دوره رشد جای گلدان‌ها دوبار در هفته به صورت تصادفی تغییر داده شد. عملیات آبیاری و وجین علف‌های هرز با دست انجام

گرفت. رطوبت خاک گلدان‌ها در طول دوره رشد گیاه در حدود ظرفیت زراعی به روش وزنی تامین شد. پس از پایان دوره رشد (رویشی و زایشی) ویژگی رشدی شامل ارتفاع در دو مرحله (ظهور برگ پرچم و رسیدگی دانه)، تعداد برگ، طول خوشه، قطر ساقه، تعداد دانه وزن هزاردانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت تعیین شد. سپس گیاهان در دو مرحله برداشته شدند و با آب شهری و آب مقطر شسته و بر روی تورهای پلاستیکی پخش شدند تا آب اضافی موجود در سطح آن‌ها حذف گردد. پس از اندازه‌گیری وزن تر، نمونه‌ها داخل آون در دما ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤٨ ساعت قرارگرفتند و بعد از آن وزن خشک آن‌ها در دو مرحله (ظهور برگ پرچم و رسیدگی دانه) اندازه‌گیری شد. برای تعیین غلظت روی در دانه، نمونه‌ها آسیاب شدند و پس از هضم به روش اکسیداسیون خشک (۳۸) توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. تجزیه آماری مقایسه بین تیمارهای مختلف با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش.

Table 1. Some physico-chemical properties of soil used in the experiment.

ویژگی Property	مقدار Value	ویژگی Property	مقدار Value	ویژگی Property	مقدار Value
بافت خاک Texture	سیلت-لوم Silt-Loam	فسفر قابل‌جذب ($mg\ kg^{-1}$)	7.1	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC ($Cmol\ kg^{-1}$)	13.58
pH	7.1	پتاسیم قابل‌جذب ($mg\ kg^{-1}$)	228		
هدایت الکتریکی $EC(ds\ m^{-1})$	0.62	آهن قابل‌جذب ($mg\ kg^{-1}$)	17.28		
کربن آلی %OC	1.42	مس قابل‌جذب ($mg\ kg^{-1}$)	1.99		
کربنات کلسیم معادل %CCE	15	روی قابل‌جذب ($mg\ kg^{-1}$)	0.64		
نیتروژن کل %N	0.12	منگنز قابل‌جذب ($mg\ kg^{-1}$)	30.04		

نتایج و بحث

ویژگی‌های زیست‌توده، بیوچار و پلت بیوچارهای غنی شده: برخی از ویژگی‌های زیست‌توده، بیوچار و پلت بیوچارهای غنی شده در جدول ۲ ارائه شده است. در اثر تبدیل زیست‌توده به بیوچار pH و محتوای خاکستر نیز افزایش یافت. pH زیست‌توده و بیوچار عمدتاً به دو عامل مربوط می‌شود: (۱) گروه‌های عاملی اسیدی (گروه‌های فنولی و کربوکسیلیک)، محتوای بالای گروه‌های عاملی اسیدی که منجر به pH پایین می‌شود (۲). محتوای خاکستر (حاوی مواد معدنی قلیایی) بالا منجر به مقدار pH بالا می‌شود (۹). افزایش pH در بیوچار پس از تجزیه در اثر حرارت می‌تواند به طور کلی به از دست دادن گروه‌های عاملی اسیدی در طی گرماکافت نسبت داد. با این حال، محتوای نسبی خاکستر می‌تواند یک عامل اساسی در تغییرات pH باشد. هم‌چنین کم‌تر بودن

Uncorrected Proof

pH می‌تواند پایین‌تر بودن محتوای خاکستر را بیان کند که رابطه مثبتی بین محتوای خاکستر و pH وجود دارد. نتایج CEC و درصد کربن آلی در جدول ۲ ارائه شده است که با تبدیل زیست‌توده به بیوچار به ترتیب مقادیر آن‌ها افزایش و کاهش یافت. که علت آن را می‌توان به از دست‌دهی هیدروژن و کربن ناپایدار گروه‌های عاملی اسیدی نیز نسبت داد که باعث افزایش ترکیبات معدنی در بیوچار می‌گردد. با توجه به pH بالای بیوچار به دلیل محتوای خاکستر بالا، ترکیب کردن بیوچار با عناصر معدنی برای عملکرد بهینه و استفاده حداکثری صورت می‌گیرد. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌گردد با غنی‌سازی بیوچار با روی به روش پس و پیش پیرولیز مقدار pH به ترتیب ۱/٦۹ و ۱/۱۳ واحد کاهش یافت. علت آن را می‌توان به وجود یون سولفات در نمک سولفات روی به دلیل خاصیت اسیدی و نحوه پیرولیز کردن آن نسبت داد. قابلیت هدایت الکتریکی نیز با تبدیل زیست‌توده به بیوچار و پلیت بیوچار غنی از روی افزایش یافت. چنین افزایشی بر شوری خاک و پتانسیل اسمزی نیز تأثیرگذار است. از طرفی دیگر شاخص شوری میزان آسیب کود از لحاظ شوری به محصول را تعیین می‌کند. هرچه این شاخص افزایش یابد آسیب به محصولات زراعی بیش‌تر و میزان عملکرد اقتصادی نیز کاهش می‌یابد. در مقایسه با حد قابل تحمل شاخص شوری یعنی ۲، شاخص شوری پلت بیوچار غنی از روی بسیار پایین بود (۰/۰٥٤ و ۰/۰٥٥) که در این پژوهش برای استفاده در خاک و محصول براساس محیط زیستی و کشاورزی پایدار مناسب بودند (۳۹). در همین راستا داس و همکاران (۲۰۱٥) گزارش کرد بیوچار دارای پتانسیل بالایی برای ذخیره و نگه‌داشت عناصر غذایی از طریق جذب فیزیکی یا جذب شیمیایی دارد. چنین ویژگی در بیوچار برای تولید کودهای کندرها مبتنی بر بیوچار استفاده می‌گردد (۳۹). زیرا دسترسی عناصر غذایی را به صورت طولانی‌مدت برای محصولات فراهم می‌کند و از طرفی کیفیت خاک را نیز افزایش می‌دهد (٤۰).

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی زیست‌توده، بیوچار و بیوچارهای پلت شده.

Table 2. Some physicochemical properties of biomass, biochar and Pelletized biochars.

ویژگی	pH	EC	OC	شاخص شوری Salt Index	CEC	Total Zn	Total Fe	Total Cu	Total Mn	Total K	Total Na	Total P
	–	dS/m	٪		me/100g	٪	mg/kg					
زیست‌توده Biomass	4.16	1.5	50.51	–	17.23	0.00035	3.5	13.5	5.13	270.86	192	2505.95
بیوچار Biochar	8.3	2.8	46.12	–	23.3	0.001283	63.32	17.73	12.36	361.35	635.32	3316.96
پلت بیوچار پیش‌پیرولیز Pelletized Pre-pyrolysis biochar	6.61	2.14	46.80	0.055	–	6.04	–	–	–	–	–	–
پلت بیوچار پس‌پیرولیز Pelletized Post-pyrolysis biochar	7.17	2.20	46.51	0.054	–	1.66	–	–	–	–	–	–

Uncorrected Proof

وزن تر و خشک اندام هوایی: با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) هم اثرات ساده نوع و سطوح مختلف تیمارهای مورد بررسی و هم اثر متقابل آن‌ها بر وزن تر و خشک اندام‌هوایی در هر دو مرحله ظهور پرچم و مرحله برداشت گیاه گندم در سطح احتمال یک درصد ($P<0/01$) معنی‌دار شد. مقایسه میانگین‌های اثر تیمارهای مورد بررسی نشان داد پلت بیوچارهای غنی شده با روی باعث افزایش وزن تر گیاه گندم شدند (جدول ٤). بیش‌ترین مقدار وزن تر در مرحله ظهور پرچم و برداشت محصول به ترتیب با میانگین ٤/١٠ و ٤/٤٩ گرم در گلدان از تیمار پلت پیش‌پیرولیز با غلظت ١٠ میلی‌گرم بر کیلوگرم همراه با محلول‌پاشی روی و پلت پس‌پیرولیز با غلظت ٢٠ میلی‌گرم بر کیلوگرم همراه با محلول‌پاشی روی به دست آمد و کم‌ترین مقدار آن در هر دو مرحله مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ٤). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل نوع و سطوح مختلف پلت بیوچارها بر وزن خشک اندام‌هوایی نیز در (جدول ٤) نشان داده شده است. نتایج نشان داد بیش‌ترین مقدار وزن خشک اندام هوایی در مرحله ظهور پرچم با میانگین ٢/٨٦ گرم در گلدان از تیمار پلت پیش‌پیرولیز با غلظت ١٠ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی همراه با محلول‌پاشی به دست آمد که نسبت به تیمار پلت بیوچار پس‌پیرولیز با غلظت ١٠ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی همراه با محلول‌پاشی با میانگین ٢/١٤ گرم در گلدان افزایشی معادل ٢٥/١٧ درصد داشت. هم‌چنین بیش‌ترین مقدار وزن خشک اندام هوایی در مرحله برداشت گیاه با میانگین ٢/٦٠ گرم در گلدان مربوط به تیمار پلت بیوچار پس‌پیرولیز با غلظت ٢٠ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی همراه با محلول‌پاشی روی و کم‌ترین مقدار با میانگین ١/٨٦ گرم در گلدان مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ٤).

خاک‌های دارای کمبود روی تقریباً ٣٠ درصد خاک‌های کشاورزی جهان را در برگرفته (٤١) و حل کردن مشکل کمبود روی در خاک با استفاده از کاربرد کود ممکن است پرهزینه باشد. بنابراین محلول‌پاشی ترکیبات روی یکی از راهکارهای مناسب در این زمینه است (٤٢). پژوهش‌گران در آزمایش‌های خود به این نتیجه رسیدند که کاربرد عنصر روی به صورت خاکی و محلول‌پاشی و کاربرد توأم آن‌ها باعث افزایش اجزای عملکرد شده است (٤٣). که احتمالاً به دلیل تأثیر عنصر روی بر کلروفیل برگ و هورمون ایندول استیک اسید (IAA) می‌باشد، بدین ترتیب که افزایش میزان کلروفیل موجب افزایش میزان فتوسنتز شده که این امر موجب تولید ماده خشک و عملکرد بیش‌تر می‌گردد، از طرف دیگر IAA از تخریب کلروفیل جلوگیری می‌کند و در نتیجه اجزای عملکرد را افزایش می‌دهد (٤٤). درگهی و همکاران (٢٠١٤) در بررسی اثر محلول‌پاشی کلات روی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم گزارش کردند که محلول‌پاشی تیمارهای مختلف در مراحل ساقه‌دهی و گلدهی به‌صورت توام سبب بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک با مقدار ٢٧١٨٣ کیلوگرم در هکتار شد که نسبت به شاهد افزایشی ٣٧ درصد را نشان داد (٤٥). وزن خشک کل گیاه شاخص خوبی برای ارزیابی رشد و عملکرد محسوب می‌شود به طور کلی، وزن خشک بالاتر نشان‌دهنده کارآیی گیاه در تولید مواد فتوسنتزی و ارسال آن به اندام‌های در حال رشد است (٤٦). بیوچار باعث افزایش عملکرد گیاه به دلیل بهبود ویژگی‌های خاک می‌شود. با افزودن بیوچار که در سطوح تبادلی آن حاوی عناصر غذایی که به صورت اختصاصی جذب شده‌اند باعث جذب ریشه‌ها و حمله میکرو ارگانیسم‌ها می‌شود که احتمال می‌رود ریشه‌های مویین به درون بیوچار نفوذ کرده

Uncorrected Proof

باشند. بر همین اساس حسین و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که استفاده از بیوچار میانگین وزن خشک ساقه از ٦۱/۹ به ۷۳/۸ گرم افزایش یافت که عملکرد ریشه در مقایسه با تیمار شاهد ۹٤ درصد بیش‌تر بود (٤۷). از سوی دیگر، کودهای کندرها مبتنی بر بیوچار علاوه بر تامین مواد مغذی گیاهان به طور قابل‌توجهی می‌توانند باعث بهبود ظرفیت تبادل کاتیونی، جذب کربن و افزایش حفظ رطوبت خاک شوند (۱۹). کودهای کندرها مبتنی بر بیوچار به دلیل سطح زیاد و ساختار متخلخل می‌توانند منجر به پخشیدگی آهسته و طولانی‌مدت مواد غذایی در خاک شوند (۱۹).

ارتفاع: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر آن است که نوع و سطوح مختلف بیوچارهای پلت شده و اثر متقابل آن‌ها بر ارتفاع گیاه در هر دو مرحله ظهور پرچم و برداشت گیاه گندم در سطح احتمال یک درصد (P<۰/۰۱) معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین تیمارهای مورد بررسی نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع گیاه در مرحله ظهور پرچم با میانگین ۸٤/۳۳ مربوط به تیمار پلت بیوچار پیش‌پیرولیز با غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم همراه با محلول‌پاشی روی بود (جدول ٤). هم‌چنین بیش‌ترین مقدار ارتفاع گیاه در مرحله برداشت با میانگین ۹٦/٦٦ سانتی‌متر مربوط به تیمار پلت پس‌پیرولیز با تیمار ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی همراه با محلول‌پاشی بود هر چند با تیمار پلت بیوچار پیش‌پیرولیز با غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم همراه با محلول‌پاشی روی با میانگین ۹٦ سانتی‌متر از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ٤).

استفاده مداوم از کودهای شیمیایی عملکرد گیاهان زراعی را به علت افت ویژگی‌های مطلوب فیزیکی و شیمیایی خاک و درصد پایین عناصر کم‌مصرف در این کودها نیز کاهش می‌دهد (٤۸). مشتطی و موسوی (۲۰۱۹) در بررسی اثر مصرف سولفات روی بر عملکرد دانه گندم نان رقم چمران در شرایط تنش گرمایی گزارش کردند که با افزایش روی ارتفاع بوته گندم افزایش یافت و در مقدار ٤۰ کیلوگرم در هکتار به ۸٦ سانتی‌متر رسید. هر چند بین تیمار ۳۰ و ٤۰ کیلوگرم در هکتار سولفات روی تفاوت معنی‌دار وجود نداشت (٤۹). مصرف بیوچار همراه با عناصر کم‌مصرف باعث افزایش ویژگی‌های خاک، تامین عناصر غذایی و بهبود ویژگی‌های رشدی مانند ارتفاع گیاه می‌شود. کودهای کندرها عناصرغذایی موجود در خاک را به مدت طولانی حفظ کرده و موجب افزایش عملکرد می‌شوند (۵۰). کودهای کندرها با کاهش هدرروی، عناصر غذایی بیش‌تری را در اختیار گیاه قرار می‌دهند و علاوه بر افزایش عملکرد، میزان کارآیی مصرف و کارآیی زراعی عناصر غذایی را نیز افزایش می‌دهند. افزایش کارآیی زراعی، فیزیولوژیکی و بازیافت ظاهری نیتروژن در گندم، در مقایسه با کودهای معمولی گزارش شده است (۵۱).

تعداد برگ: بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها برای بررسی اثر تیمارها مورد بررسی بر تعداد برگ در گندم، تنها سطوح کودی و نوع محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد (P<۰/۰۱) معنی‌دار شد این در حالی است که اثر متقابل تیمارهای کود * سطوح * نوع محلول‌پاشی معنی‌دار نشد (جدول ۵).

Uncorrected Proof

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر کاربرد نوع و سطوح مختلف بیوچارهای پلت شده بر برخی از ویژگی‌های رشد رویشی گندم.

Table 3. Analysis of variance of the effect of application type and different levels of Pelletized biochars on some of growth parameters of wheat.

منابع تغییرات Source of variance	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square					
		وزن تر اندام هوایی (ظهور پرچم) Shoots fresh weight	وزن تر اندام هوایی Shoots fresh weight	وزن خشک اندام هوایی (ظهور پرچم) Shoots dry weight	وزن خشک اندام هوایی Shoots dry weight	ارتفاع (ظهور پرچم) height Plant	ارتفاع height Plant
نوع کود	2	0.76**	0.58**	0.63**	0.05**	110.69**	156.72**
سطح	2	6.82**	7.08**	5.20**	0.7**	944.25**	1427.72**
نوع محلول‌پاشی	1	0.01^{ns}	6.33**	0.025**	0.5**	416.66**	912.66**
نوع کود * سطح	4	0.50**	0.2**	0.3**	0.01**	34.10**	27.38**
نوع کود * نوع محلول‌پاشی	2	0.22**	0.45**	0.005*	0.02**	4.54**	40.05**
سطح * نوع محلول‌پاشی	2	0.21**	0.24**	0.18**	0.04**	60.79**	181.72**
نوع کود * سطح * نوع محلول‌پاشی	4	0.44**	0.23**	0.07**	0.01**	7.16**	13.77**
خطا	36						
ضریب تغییرات		1.5	1.14	1.95	2.15	1.18	1.22

^{ns}، ** و * به ترتیب غیرمعناداری و معناداری در سطح احتمال یک و پنج درصد می‌باشد

^{ns}, * and ** are non-significant, significant P≤0.05 and P≤0.01, respectively

جدول ٤- مقایسه میانگین‌های اثر کاربرد نوع و سطوح مختلف بیوچارهای پلت شده بر برخی ویژگی‌های رشد رویشی گندم.

Table 4. Mean comparisons of the effect of application type and different levels of Pelletized biochars on some of growth parameters of wheat.

	تیمار		وزن تر اندام هوایی(ظهور پرچم) Shoots fresh weight (گرم در گلدان)	وزن تر اندام هوایی Shoots fresh weight (گرم در گلدان)	وزن خشک اندام هوایی (ظهور پرچم) Shoots dry weight (گرم در گلدان)	وزن خشک اندام هوایی Shoots dry weight (گرم در گلدان)	ارتفاع (ظهور پرچم) height Plant (سانتی‌متر)	ارتفاع height Plant (سانتی‌متر)
سولفات روی	0	آب مقطر	2.41^{i}	2.30^{l}	1.37^{k}	1.88^{hi}	61^{lm}	69^{j}
		محلول‌پاشی روی	2.88^{g}	2.76^{k}	1.44^{j}	1.94^{gh}	62.83^{jk}	70^{j}
	10	آب مقطر	2.82^{g}	2.9^{j}	1.73^{i}	1.96^{g}	64^{j}	72.33^{i}
		محلول‌پاشی روی	3.38^{e}	3.32^{f}	2.20^{fg}	2.23^{c}	73^{fg}	83^{e}
	20	آب مقطر	3.64^{d}	3.09^{h}	2.35^{e}	2.12^{de}	69^{h}	77.33^{g}
		محلول‌پاشی روی	3.02^{f}	3.74^{d}	2.02^{h}	2.24^{c}	74.5^{de}	85.33^{d}

Corrected Proof

ادامه جدول ٤-

Continue Table 4.

تیمار			وزن تر اندام هوایی(ظهور پرچم) Shoots fresh weight (گرم در گلدان)	وزن تر اندام هوایی Shoots fresh weight (گرم در گلدان)	وزن خشک اندام هوایی (ظهور پرچم) Shoots dry weight (گرم در گلدان)	وزن خشک اندام هوایی Shoots dry weight (گرم در گلدان)	ارتفاع (ظهور پرچم) height Plant (سانتی‌متر)	ارتفاع height Plant (سانتی‌متر)
پیش پیرولیز	0	آب مقطر	2.43^{i}	2.32^{l}	1.31^{k}	1.86^{i}	60.33^{m}	66.33^{j}
		محلول‌پاشی روی	2.53^{h}	2.77^{k}	1.5^{j}	1.94^{gh}	62^{kl}	70.33^{j}
	10	آب مقطر	3.97^{b}	3.23^{g}	2.69^{b}	2.14^{d}	72.16^{g}	81^{f}
		محلول‌پاشی روی	4.10^{a}	3.93^{c}	2.86^{a}	2.29^{c}	80^{b}	89^{c}
	20	آب مقطر	3.82^{c}	3.59^{e}	2.58^{c}	2.24^{c}	74^{ef}	85.66^{d}
		محلول‌پاشی روی	3.77^{c}	3.93^{c}	2.40^{de}	2.46^{b}	84.33^{a}	96^{a}
پس پیرولیز	0	آب مقطر	2.42^{i}	2.30^{l}	1.33^{k}	1.86^{i}	60^{m}	69^{j}
		محلول‌پاشی روی	2.5^{hi}	2.72^{k}	1.47^{j}	1.98^{fg}	61^{lm}	69.66^{j}
	10	آب مقطر	3.97^{b}	3.02^{i}	2.22^{f}	2.06^{ef}	66.33^{i}	74.33^{h}
		محلول‌پاشی روی	3.06^{f}	4.03^{b}	2.14^{g}	2.30^{c}	75.5^{cd}	92^{b}
	20	آب مقطر	3.76^{c}	3.18^{g}	2.44^{d}	2.14^{d}	72.33^{g}	80^{f}
		محلول‌پاشی روی	3.77^{c}	4.49^{a}	2.39^{de}	2.60^{a}	76^{c}	96.66^{a}

ستون‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است

Means followed with the same letters in each column are not significant at P<0.05

طول خوشه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر آن است که نوع و سطوح بیوچارهای پلت شده و اثرات متقابل آن‌ها بر طول خوشه گیاه در سطح احتمال یک درصد (P<۰/۰۱) معنی‌دار شد (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر تیمارهای مورد بررسی نشان داد که هم بیوچارهای پلت شده هم سولفات روی با افزایش سطوح روی باعث افزایش طول خوشه شد به نحوه‌ای که بیش‌ترین مقدار طول خوشه با میانگین ۱۳/۳٦ سانتی‌متر مربوط به تیمار پلت بیوچار پس‌پیرولیز ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی همراه با محلول‌پاشی روی بود هر چند با تیمار پلت بیوچار پیش‌پیرولیز ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی همراه با محلول‌پاشی روی با میانگین ۱۲/۸۳ سانتی‌متر از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت و هم‌چنین کم‌ترین مقدار با میانگین ۷/٦٦ سانتی‌متر مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ٦). در واقع می‌توان این‌گونه بیان کرد ترکیب بیوچار-روی در مقایسه با سولفات روی سبب افزایش بیش‌تری در طول خوشه شد اما دو نوع ترکیب بیوچار-روی ساخته شده دارای اثرات مشابه روی این صفت بودند (جدول ٦). استفاده از کودهای شیمیایی، یکی از روش‌های رایج در برطرف کردن کمبود عناصر کم‌مصرف برای گیاه است. مطالعات بلند مدت نشان می‌دهد که استفاده مداوم از کودهای شیمیایی عملکرد گیاهان زراعی را به علت افت ویژگی‌های مطلوب فیزیکی و شیمیایی خاک کاهش می‌دهد (٤۸). از دیگر روش‌های برطرف کردن کمبود روی در خاک، کاربرد ضایعات آلی می‌باشد. بدون تردید کاربرد کودهای آلی به خصوص در خاک‌های

Uncorrected Proof

فقیر از عناصر غذایی علاوه بر اثرات مثبتی که بر ویژگی‌های خاک و حفظ کیفیت خاک و افزایش مواد آلی خاک نسبت به کاربرد کودهای معدنی دارند، از جنبه‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی نیز مفید واقع شده و می‌تواند به عنوان جایگزینی مناسب و مطلوب برای کود شیمیایی در بلندمدت باشد (۵۳). بنابراین با توجه به کمبود مواد آلی و شرایط نامطلوب در اکثر مناطق کشور، لازم است از همه منابع آلی استفاده شود تا ضمن بهره‌وری و حاصلخیزی خاک‌های کشاورزی و به دنبال آن افزایش کمی و کیفی تولیدات زراعی، توسعه پایدار در کشاورزی ممکن شود. سازوکارهای جذب و انتقال عناصر غذایی در گیاهان مانند، جریان توده‌ای، انتشار و یا جذب و انتقال به وسیله پدیده اسمز همگی، کم و بیش تابع از مقدار رطوبت موجود در خاک و ریشه است و در صورت نقصان رطوبت، شدت و مقدار جذب عناصر غذایی دستخوش تغییر و تحول می‌گردد. گونزی و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه سنتز و الگوهای رهاسازی مواد مغذی از کودهای کندرها مبتنی بر بیوچارگزارش کردند که بیوچار یک حامل بسیار موثر در ساخت کودهای کندرها NPK نیتروژن، فسفر و پتاسیم (NPK) است (۱۹). پژوهش‌های آن‌ها نشان داد کودهای کندرها مبتنی بر بیوچار نسبت به مواد شیمیایی معمولی دارای آزادسازی مواد مغذی کم‌تر و حفظ رطوبت بالاتری بود. کودها کندرها مبتنی بر بیوچار با کاهش شستشوی مواد مغذی باعث افزایش کارایی استفاده از مواد مغذی می‌شوند. می‌توان این‌گونه بیان کرد که کودهای کندرها مورد استفاده در این پژوهش با حفظ رطوبت و کاهش جزئی pH منجر به فراهمی عناصر کم‌مصرف از جمله روی و به دنبال آن افزایش ویژگی‌های رشدی گیاه گندم شوند.

قطر ساقه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر آن است که نوع و سطوح تیمارهای مورد بررسی و اثرات متقابل آن‌ها بر قطر ساقه گیاه در سطح احتمال یک درصد (P<۰/۰۱) معنی‌دار شد (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر تیمارهای مورد بررسی نشان داد که هم پلت بیوچارها غنی شده با روی هم سولفات روی با افزایش سطوح روی باعث افزیش قطر ساقه شد، به نحوی که بیش‌ترین مقدار قطر ساقه با میانگین ۳/۵ سانتی‌متر مربوط به تیمار پلت بیوچار پس‌پیرولیز ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی همراه با محلول‌پاشی روی بود هر چند با تیمار پلت بیوچار پیش‌پیرولیز و سولفات روی ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی همراه با محلول‌پاشی به ترتیب با میانگین ۳/۲۲ و ۲/۳٦ سانتی‌متر افزایشی معادل با ۸ و ۳۲/۵۷ درصد داشت و هم‌چنین کم‌ترین مقدار با میانگین ۷/٦٦ سانتی‌متر مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ٦). در واقع می‌توان این‌گونه بیان کرد ترکیبات بیوچار–روی در مقایسه با سولفات روی سبب افزایش بیش‌تری در قطر ساقه شد (جدول ٦). صادق‌زاده و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند مصرف بیوچار شلتوک برنج به‌طور قابل‌توجهی غلظت عناصر کم‌مصرف قابل استفاده خاک را افزایش داد (۵۳). افزایش غلظت عناصر کم‌مصرف در خاک‌های تیمار شده با بیوچار، علاوه بر فراهمی آن عناصر در بیوچار (اثر مستقیم)، می‌تواند ناشی از اثر بیوچار بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مثل تغییر pH خاک، تولید عوامل کیلیت‌کننده، بهبود تهویه و افزایش فعالیت‌های میکروبی باشد (۵۳).

وزن هزاردانه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر آن است که سطوح تیمارهای مورد بررسی و نوع کود و اثر متقابل سه‌گانه آن‌ها در سطح یک درصد (P<۰/۰۱) معنی‌دار شد (جدول ۵). مقایسه میانگین‌های اثر تیمارهای مورد بررسی نشان داد با

Uncorrected Proof

افزایش سطوح مصرف پلت بیوچارهای غنی از روی و سولفات روی وزن هزاردانه افزایش یافت (جدول ٦). نتایج حاصل از مقایسات میانگین داده‌ها نشان داد بیش‌ترین وزن هزاردانه با میانگین ۵۰/۰۳ مربوط به تیمار پس‌پیرولیز ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی همراه با محلول‌پاشی به دست آمد هر چند با تیمار پلت بیوچار پیش‌پیرولیز ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی همراه با محلول‌پاشی با میانگین ٤٨/٦٦ از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت و کم‌ترین مقدار آن با میانگین ۳۹ از تیمار شاهد به دست آمد. مشتطی و موسوی (۲۰۱۹) در بررسی اثر مصرف سولفات روی بر عملکرد دانه گندم نان رقم چمران در شرایط تنش گرمایی گزارش کردند که با افزایش روی وزن هزاردانه روی گندم افزایش یافت و در مقدار ۳۰ کیلوگرم در هکتار به ۳۷/۱ گرم رسید (٤٩). بنا بر گزارش پژوهش‌های ما و همکاران (۲۰۱۷) نیز مصرف روی باعث افزایش وزن هزاردانه گندم شد (٥٤). بنی‌عباس و همکاران (۲۰۱۲) افزایش عملکرد با کاربرد روی را به اهمیت این عنصر در بیوسنتز مواد رشدی همانند اکسین در گیاه نسبت دادند که موجب می‌شود ماده خشک بیش‌تری تولید و در دانه‌ها ذخیره شود (٥٥). نریمانی و همکاران (۲۰۲۲) در بررسی تأثیر محلول‌پاشی و مصرف خاکی روی بر ویژگی‌های رشدی و گیاه گندم گزارش کردند که بیش‌ترین وزن دانه با میانگین ۱/۰۱٦ گرم در بوته از کاربرد هم‌زمان مصرف خاکی سولفات روی و محلول‌پاشی نانو اکسید روی در عدم اعمال شوری به دست آمد (٥٦). بوگسز و همکاران (۲۰۱۵) نیز تشکیل رسوبات کم محلول اکسید روی و هیدروکسید روی را عامل اصلی کاهش فراهمی روی در کاربرد بیوچارهای با واکنش قلیایی عنوان کردند (٥٧). افزایش pH خاک ناشی از مصرف بیوچار قلیایی و به دنبال آن افزایش مکان‌های با بار وابسته به pH در سطح مواد معدنی، دلیل دیگر کاهش روی در خاک‌های تیمار شده با بیوچارهای تولید شده در دمای بالا می‌تواند باشد (٥٨). pH خاک مهم‌ترین فاکتور مؤثر در فراهمی عناصر کم‌مصرف در خاک می‌باشد و با کاهش pH خاک حلالیت این عناصر افزایش یافته و رسوب آن در خاک‌های آهکی کاهش می‌یابد (٥٩). یکی از دلایل تأثیر مثبت کود پیش‌پیرولیز نسبت به کود پس‌پیرولیز مبتنی بر بیوچار می‌تواند pH کم آن باشد که باعث فراهمی بیش‌تر عناصر غذایی و عنصر روی در خاک و گیاه باشد. در همین راستا بزی عبدلی و همکارن (۲۰۲۳) در بررسی اصلاح بیوچارها به روش پس و پیش‌پیرولیز اسیدی گزارش کردن هر سه نوع بیوچار (معمولی، پیش و پس اسیدی) با افزایش سطوح بیوچار وزن هزاردانه را افزایش داد به نحوه‌ای که بیش‌ترین وزن هزاردانه کینوا با میانگین ۳/۱۷ گرم از تیمار ۵ درصد بیوچار پس اسیدی به دست آمد (٦٠). آن‌ها دلیل آن را اسیدی بودن و فراهمی عناصر غذایی گزارش کردند.

غلظت روی در دانه گندم: با توجه به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵) هم اثرات ساده نوع و سطوح مختلف تیمارهای مورد بررسی و هم اثر متقابل آن‌ها بر غلظت روی در دانه در گیاه گندم در سطح احتمال یک درصد ($P<۰/۰۱$) معنی‌دار شد. مقایسه میانگین‌های اثر تیمارهای مورد بررسی نشان داد پلت بیوچارهای غنی شده با روی باعث افزایش غلظت روی در دانه در گیاه گندم شدند (جدول ٦). بیش‌ترین مقدار غلظت روی در دانه با میانگین ۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم از تیمار پلت پیش‌پیرولیز با غلظت ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم همراه با محلول‌پاشی روی به‌دست آمد. هر چند با تیمار ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم پلت پس‌پیرولیز با میانگین ٦٩/٦٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ٤). وو و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که اصلاح خاک‌های زراعی با بیوچار باعث افزایش مقدار

Uncorrected Proof

کلی روی در خاک می‌شود؛ اما غلظت روی قابل استخراج با نیترات کلسیم به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (٦١). آن‌ها هم‌چنین گزارش کردند که مصرف مقادیر بالای بیوچار به میزان ١٢٤ و ٢٧٠ تن در هکتار، غلظت روی در دانه گندم (٣٦/٦ و ٣٧/٥ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به سطح کمبود، کم‌تر از غلظت توصیه شده ٤٥ میلی‌گرم در کیلوگرم رسید (٦١). آن‌ها دلیل آن را افزایش pH خاک و ماده آلی خاک و در نتیجه افزایش جذب روی و کاهش واجذب آن گزارش کردند. در همین راستا محمود سلطانی و عباسیان (٢٠٢١) در بررسی طیف‌سنجی ساختار جذب اشعه ایکس (EXAFS) بیوچار نشان دادند که فرم‌های اصلی جذب شده روی، کمپلکس‌های روی، روی جذب شده توسط کائولینایت و ایلایت و روی متصل به ماده آلی بودند (٦٢). نسبت روی متصل به ماده آلی با افزایش مقدار مصرف بیوچار افزایش یافت. آن‌ها نشان دادند که مقادیر بالاتر روی متصل به ماده آلی در تثبیت روی و کاهش فراهمی زیستی روی برای گیاه مؤثر است. کاهش مقادیر عناصر کم‌مصرف توسط پژوهش‌گران دیگر گزارش شده است (٦١). کودهای کندرها مبتنی بر بیوچار رهاسازی تدریجی مواد مغذی را برای تامین طولانی‌مدت مواد مغذی امکان پذیر می‌کنند. علاوه بر جلوگیری از هدر رفتن توسط آبشویی، کارایی آن‌ها را به عنوان کود بهبود و تهدیدات بالقوه برای محیط زیست را کاهش می‌دهند (٦٣). بیوچار به عنوان یک حامل مواد مغذی، به دلیل داشتن سطح ویژه بالا، ساختار متخلخل، بار سطحی مطلوب، گروه‌های سطحی و کربن فعال فراوان سرعت رهاسازی ماده مغذی را کاهش می‌دهد و راندمان استفاده از مواد مغذی را بهبود می‌بخشد (٦٤). در همین راستا بزی عبدلی و همکاران (٢٠٢٣) در بررسی اصلاح بیوچار پوسته برنج به روش پس و پیش اسیدی بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیکی و فراهمی عناصر کم‌مصرف در گیاه کینوا (رقم گیزوان) در یک خاک آهکی گزارش کردند که بیش‌ترین مقدار غلظت روی در اندام هوایی با میانگین ١٣/٤٢ میلی‌گرم بر کیلوگرم مربوط به تیمار ٥ درصد بیوچار پس‌اسیدی بود که نسبت به تیمار ٥ درصد بیوچار پیش‌اسیدی و معمولی به ترتیب افزایشی معادل با ١٣/٢٤ و ٣٣/٢٦ درصد داشت (٦٠). آن‌ها این افزایش عناصر غذایی را به حل شدن عناصر غذایی بیوچار بعد از اسیدی شدن و کاهش pH خاک و فراهمی این عنصر نسبت دادند که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. اینال و همکاران (٢٠١٥) اثر بیوچار اسیدی بر رشد گیاه لوبیا را در یک خاک آهکی بررسی کردند آن‌ها گزارش کردند بیوچار اسیدی غلظت، آهن، روی، مس و منگنز به ترتیب ١٧، ٤٠، ٢٥، ٢٢ درصد نسب به شاهد در گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) افزایش داد. آن‌ها هم‌چنین بیان کردند تأثیر بیوچار اسیدی بر غلظت روی برای گیاه لوبیا بیش‌تر از بیوچار اصلاح نشده و شاهد بود (٦٥).

عملکرد بیولوژیک: بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثر نوع و بیوچارهای پلت شده و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد بیولوژیک در اندام هوایی گیاه گندم در سطح احتمال یک درصد ($P<0/01$) معنی‌دار شد (جدول ٥). مقایسه میانگین‌های اثر تیمارهای مورد بررسی نشان داد که با افزایش سطوح پلت بیوچارها غنی از روی و سولفات روی، عملکرد بیولوژیک اندام هوایی افزایش یافت (جدول ٦). بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک با میانگین ٤/٥ درصد از تیمار پلت بیوچار پس‌پیرولیز ٢٠ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی همراه با محلول‌پاشی به دست آمد هرچند با تیمار پلت بیوچار پیش‌پیرولیز ٢٠ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی همراه با محلول‌پاشی با میانگین ٤/٢ درصد از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت و کم‌ترین مقدار آن با میانگین ٢/٨٣ درصد از تیمار شاهد به دست آمد

Uncorrected Proof

(جدول ٦). عملکرد بیولوژیک نتیجه رشد اندام‌های رویشی و زایشی است. به‌نظر می‌رسد که بخش اصلی افزایش عملکرد بیولوژیک ناشی از افزایش وزن بخش‌های رویشی گیاه باشد. زیرا در اثر استفاده از سولفات روی سطح برگ و دوام آن افزایش یافته و در زمان پر کردن دانه سهم فتوسنتز جاری در پر کرد دانه بالا می‌رود (٦٦). هم‌چنین با توجه به نقش متابولیکی متعدد روی در سلول‌های گیاهی کاربرد سولفات روی سبب عملکرد بهتر گیاه شده و میزان ذخیره فتوآسیمیلات‌ها در اندام رویشی افزایش می‌یابد که به همراه تخلیه کم‌تر آن طی فرآیند انتقال مجدد، سبب افزایش عملکرد بیولوژیک شده است پژوهش‌گران متعددی افزایش عملکرد بیولوژیک را با کاربرد روی گزارش کرده اند (٦٧ و ٦٨). سلطانی و عباسیان (۲۰۲۱) در مصرف هم‌زمان بیوچار پوسته برنج و کود سولفات روی بر عملکرد، اجزای عملکرد برنج (*Oryza sativa* L.) و برخی خصوصیات شیمیایی خاک نشان دادند مصرف هم‌زمان بیوچار و کودهای شیمیایی بیش از اثر ساده آن‌ها می‌تواند منجر به افزایش صفات اندازه‌گیری شده باشد (٦٢). چون با این روش ظرفیت فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه تشدید (٦٩) و میزان جذب عناصر غذایی افزایش، هدر روی آن‌ها کم‌تر و قابلیت فراهمی عناصری که به فرم کاتیونی جذب می‌شوند بهبود می‌یابد (۷۰).

شاخص برداشت: بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثر نوع و سطوح تیمارهای مورد بررسی و اثر متقابل آن‌ها بر شاخص برداشت گیاه گندم در سطح احتمال یک درصد ($P<۰/۰۱$) معنی‌دار شد (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر تیمارهای مورد بررسی نشان داد که هم پلت بیوچارهای غنی از روی هم سولفات روی باعث افزایش شاخص برداشت گیاه گندم شد (جدول ٦). بیش‌ترین شاخص برداشت با میانگین ٤۳/۳۷ درصد از تیمار پلت بیوچار پس‌پیرولیز ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی همراه با محلول‌پاشی به دست آمد هر چند با تیمار پلت بیوچار پیش‌پیرولیز ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی همراه با محلول‌پاشی با میانگین ٤۱/٤۹ درصد از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ٦). نتایج حاصل مقایسات میانگین داده‌ها نشان داد که ترکیبات بیوچار–روی در مقایسه با سولفات روی سبب افزایش بیش‌تری در صفت شاخص برداشت شد، اما دو نوع ترکیبات بیوچار–روی ساخته شده دارای اثرات مشابه روی این صفت بودند. به عبارت دیگر سطح پایین این ترکیبات توانسته است اثر مشابه با سطح بالاتر سولفات روی بر صفت شاخص برداشت داشته باشد. در واقع می‌توان این‌گونه بیان کرد که کاربرد مقدار این ترکیبات نتیجه مشابه با سطح بالا کود سولفات روی حاصل کرده است (جدول ٦). شاخص برداشت بیانگر چگونگی تسهیم مواد پرورده بین بخش‌های رویشی گیاه و دانه است. از آن‌جایی‌که یکی از اجزای محاسبه شاخص برداشت عملکرد دانه است، تغییرات شاخص برداشت وابستگی زیادی به تغییرات عملکرد دانه دارد. شاخص برداشت نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک می‌باشد. پرزیوند و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی اثر محلول‌پاشی عنصر روی و نیتروژن بر عملکرد و برخی شاخص‌های کیفی دانه گندم گزارش کردند محلول‌پاشی عنصر روی موجب افزایش معنی‌دار شاخص برداشت در مقایسه با تیمار شاهد (محلول‌پاشی با آب خالص) گردید به نحوه‌ای که میانگین شاخص برداشت از ۳٦/۲ به ۳۹/۷ درصد افزایش یافت که بیانگر افزایش ۹/۷ درصدی این شاخص بود (۷۱ و ۷۲). از طرف دیگر به‌نظر می‌رسد ترکیبات بیوچار–روی با فراهمی بیش‌تر عناصر غذایی (۱۹) و بهبود ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی خاک‌ها (۷۲) باعث افزایش شاخص برداشت شده است

Uncorrected Proof

(جدول ٦). در همین راستا بزی عبدلی و همکاران (۲۰۲۳) در بررسی اثر کاربرد بیوچار اصلاح شده به روش پس و پیش پیرولیز اسیدی بر رشد رویشی و اجزای عملکرد گیاه کینوا گزارش کردند که در اثر پس پیرولیز کردن بیوچار حاصل از برنج مقدار محتوی خاکستر، عملکرد بیوچار و غلظت عناصر غذایی در مقایسه با بیوچار پیش پیرولیز اسیدی و بیوچار اصلاح نشده افزایش یافت (٦٠). نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها نشان داد که در هر سه نوع بیوچار با افزایش سطوح بیوچار، شاخص برداشت را افزایش داد به نحوی که بیش‌ترین شاخص برداشت با میانگین ٤٥/٠٣ از تیمار ٥ درصد بیوچار پس‌پیرولیز اسیدی به دست آمد هر چند با تیمار ٥ درصد بیوچار پیش‌پیرولیز اسیدی با میانگین ٤٤/٤٥ از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (٦٠). به طور کلی بیوچار به دست آمده از عملیات حرارتی مستقیم مواد اولیه زیست‌توده‌ها از نظر مواد مغذی به عنوان کود کمبود دارد (۷۲). با توجه به محتوای کم مواد مغذی بیوچار، آغشته کردن بیوچار در محلول غذایی به طور مؤثری محتوای مواد مغذی آن‌ها را افزایش می‌دهند. اصلاح کردن بیوچارها برای بهبود کارایی آن‌ها ضروری است (۷۲) ساختار متخلخل و سطح ویژه بالا بیوچارها، مخازن و مکان‌هایی را برای ذخیره‌سازی مواد مغذی فراهم می‌کند که در دسترس بودن مواد مغذی در بیوچار را برای گیاه طولانی‌تر می‌کند (۷۲). کودهای کندرها مبتنی بر بیوچار برای عناصر نیتروژن و فسفات برای تسریع رشد گیاهان در مطالعات متعددی گزارش شده‌اند.

جدول ٥- تجزیه واریانس اثر کاربرد نوع و سطوح مختلف بیوچارهای پلت شده بر ویژگی‌های قطر ساقه، طول خوشه، وزن هزاردانه، غلظت روی دانه شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک گیاه گندم.

Table 5. Analysis of the effect of using different types and levels of Pelletized biochars on the parameters of stem diameter, Cluster length, thousand seed weight, harvest index and biological performance of wheaet

منابع تغییرات Source of variance	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square						
		تعداد برگ Number of leaf	طول خوشه Cluster length	قطر ساقه Stem diameter	وزن هزاردانه 1000 grain weight	غلظت روی در دانه Zn conc in seed	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
نوع کود	2	0.38^{ns}	2.34**	0.28**	37.09**	43.96**	0.40**	82.22**
سطح	2	8.38**	69.16**	3.15**	15.80**	7728.76**	2.81**	145.84**
نوع محلول‌پاشی	1	3.12**	28.73**	2.09**	32.20**	1743.64**	2.70**	57.11**
نوع کود * سطح	4	0.19^{ns}	1.35**	0.11**	20.72**	52.75**	0.10**	9.66**
نوع کود * نوع محلول پاشی	2	0.24^{ns}	1.38**	0.14**	9.45**	3.37^{ns}	0.18**	81.15**
سطح * نوع محلول‌پاشی	2	0.13^{ns}	1.58**	0.39**	1.47^{ns}	662.37**	0.65**	99.76**
نوع کود * سطح * نوع محلول‌پاشی	4	0.15^{ns}	0.64**	0.06**	42.04**	9.70**	0.10**	19.66**
خطا	36							
ضریب تغییرات		5.28	3.32	2.14	2.03	2.3	1.5	2.66

^{ns}، ** و * به‌ترتیب غیرمعناداری و معناداری در سطح احتمال یک و پنج درصد می‌باشد

^{ns}, * and ** are non-significant, significant P≤0.05 and P≤0.01, respectively

Uncorrected Proof

جدول ٦- مقایسه میانگین‌های اثر کاربرد نوع و سطوح مختلف بیوچارهای پلت شده بر اجزای عملکرد و غلظت روی گندم.

Table 6. Mean comparisons of the effect of application type and different levels of Pelletized biochars on yield components and Zn concentration of wheat.

			طول خوشه Cluster length (سانتی‌متر)	قطر ساقه Stem diameter (میلی‌متر)	وزن هزاردانه 1000 grain weight (گرم)	غلظت روی در دانه Zn conc in seed (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (درصد)	شاخص برداشت Harvest index (درصد)
سولفات روی	0	آب مقطر	8.33^{h}	1.94^{kl}	39^{k}	24.33^{k}	2.83^{k}	33.73^{efgh}
		محلول‌پاشی روی	9.16^{g}	2.05^{ij}	46.23^{bcd}	29.33^{j}	2.92^{j}	21.41^{i}
	10	آب مقطر	9.5^{fg}	2.12^{i}	42^{hi}	33.16^{i}	2.95^{j}	33.48^{efgh}
		محلول‌پاشی روی	11.96^{dc}	2.48^{f}	46.5^{bcd}	58.66^{f}	3.42^{f}	34.73^{de}
	20	آب مقطر	10.66^{e}	2.36^{gh}	45^{def}	66.50^{cd}	3.18^{h}	33.22^{fghi}
		محلول‌پاشی روی	12.40^{bc}	2.68^{de}	40.32^{jk}	68^{bc}	3.54^{de}	36.53^{c}
پیش پیرولیز	0	آب مقطر	8^{hi}	1.92^{kl}	46.3^{bcd}	24^{kl}	2.91^{jk}	33.19^{fgh}
		محلول‌پاشی روی	9^{g}	1.99^{gk}	45.5^{cdef}	30^{j}	2.92^{j}	34.5^{def}
	10	آب مقطر	11.78^{d}	2.43^{fg}	43^{gh}	43.05^{g}	3.28^{g}	34.66^{def}
		محلول‌پاشی روی	12.53^{bc}	2.73^{d}	46.7^{bc}	66^{d}	3.61^{d}	36.45^{c}
	20	آب مقطر	12.10^{cd}	2.6^{e}	44^{fg}	65.66^{d}	3.48^{ef}	35.53^{cd}
		محلول‌پاشی روی	12.83^{ab}	3.22^{b}	48.6^{a}	70^{a}	4.2^{b}	41.49^{a}
پس پیرولیز	0	آب مقطر	7.66^{i}	1.9^{l}	45.66^{bcde}	23^{l}	2.90^{jk}	32.42^{h}
		محلول‌پاشی روی	8.30^{h}	1.98^{gkl}	46^{bcde}	25.66^{k}	2.91^{jk}	33.99^{efg}
	10	آب مقطر	10^{f}	2.31^{h}	44.66^{ef}	39.66^{h}	3.06^{i}	32.75^{gh}
		محلول‌پاشی روی	12.78^{ab}	2.91^{c}	41^{ij}	67.33^{cd}	3.8^{c}	39.64^{b}
	20	آب مقطر	11.16^{e}	2.40^{fg}	47.06^{b}	63^{e}	3.22^{gh}	33.61^{efgi}
		محلول‌پاشی روی	13.36^{a}	3.5^{a}	50.03^{a}	69.66^{ab}	4.5^{a}	42.37^{a}

ستون‌های دارای حداقل یک حرف لاتین مشترک، نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است

Means followed with the same letters in each column are not significant at P<0.05

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، نتایج بیانگر تأثیر مثبت افزودن پلت بیوچارهای به‌دست آمده به دو روش پس- پیش پیرولیز به تنهایی و همراه با محلول¬پاشی سولفات روی بر ویژگی‌های رشد رویشی و اجزای عملکرد گیاه گندم است. در این پژوهش تمامی صفات مورد بررسی به جز تعداد برگ در سطح یک درصد معنی‌دار شدند. مقایسه میانگین اثر تیمارهای مورد بررسی نشان داد که هم بیوچارهای پلت شده هم سولفات روی با افزایش سطوح سبب افزایش صفات

Uncorrected Proof

مورد بررسی شدند به نحوه‌ای که بیش‌ترین وزن خشک گیاه (۲/٦۰ گرم در گلدان)، بیش‌ترین ارتفاع گیاه (۹٦/٦٦ سانتی‌متر)، بیش‌ترین طول خوشه (۱۳/۳٦ سانتی‌متر) و قطر ساقه (۳/۵ سانتی‌متر) از تیمار پلت بیوچار پس پیرولیز با۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم روی همراه با محلول‌پاشی به‌دست آمد. هم‌چنین این تیمار به دلیل بالا بودن وزن خشک اندام هوایی، وزن هزاردانه و غلظت روی در دانه بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک با میانگین ٤/۵ و شاخص برداشت با میانگین ٤۲/۳۷ را به خود اختصاص داد. بیوچار مواد اولیه زیست‌توده‌ها از نظر مواد مغذی به عنوان کود، دارای کمبود عناصر غذایی هستند در نتیجه تهیه کامپوزیت عناصر غذایی مبتنی بر بیوچار می‌تواند آن‌ها را به کود کندرهای مفید برای بهبود ویژگی‌های خاک و گیاه تبدیل کند.

منابع

1. Moreno-Lora, A., Recena, R., & Delgado A. (2019). Bacillus subtilis QST713 and cellulose amendment enhance phosphorus uptake while improving zinc biofortification in wheat. *Appl Soil Ecol*. 142, 81-89. **Doi:10.1016/j.apsoil.2019.04.013.**
2. Moreno-Lora, A., & Delgado, A. (2020). Factors determining Zn availability and uptake by plants in soils developed under Mediterranean climate. *Geoderma*, 376, 11450. **Doi:10.1016/j.geoderma.2020.114509.**
3. Clemens, S. (2014). Zn and Fe biofortification: The right chemical environment for human bioavailability. *Plant Science*, 225, 52-57. **Doi: 10.1016/j.plantsci.2014.05.014**.
4. Gibson, R. S. (2012). Zinc deficiency and human health: Etiology, health consequences, and future solutions. *Plant and Soil*, 361, 291-299.
5. Rehman, A., Farooq, M., Ozturk, L., Asif M., & Siddique, K. H. M. (2018). Zinc nutrition in wheat-based cropping systems. *Plant and Soil*, 422, 283-315.
6. Recena, R. A. M., & Delgado, A. (2021). Zinc uptake by plants as affected by fertilization with Zn sulfate, phosphorus availability, and soil properties. *Agronomy*, 11, 390. **Doi: 10.3390/agronomy11020390.**
7. Peng, S. M., Wang, P., Peng, L. F., Cheng, T., Sun, W. M., & Shi, Z. Q. (2018). Predicting heavy metal partition equilibrium in soils: Roles of soil components and binding sites. *Soil Science Society of America journal*, 82, 839-849. **doi: 10.2136/sssaj2018.03.0104.**
8. Liu, D. Y., Liu, Y. M., Zhang, W., Chen, X. P., & Zou, C. Q. (2019). Zinc uptake, translocation, and remobilization in winter wheat as affected by soil application of Zn fertilizer. *Frontiers in Plant Science*, 10, 426. **Doi: 10.3389/fpls.2019.00426**.
9. Zhao, B., O'Connor, D., Zhang, J., Peng, T., Shen, Z., Tsang, D. C. W., & Hou, D. (2018). Effect of pyrolysis temperature, heating rate, and residence time on rapeseed stem derived biochar. *Journal of Cleaner Production*, 174, 977-987. **doi: 10.1016/j.jclepro.2017.11.013**.
10. Shahbaz, M., Akhtar, M. J., Ahmed, W., & Wakeel, A. (2016). Integrated Effect of Different N-Fertilizer Rates and Bioslurry Application on Growth and N-Use Efficiency of Okra (Hibiscus Esculentus L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38, 311-319. **Doi: 10.3906/tar-1303-65.**
11. Zafar-ul-Hye, M., Tahzeeb-ul-Hassan, M., Wahid, A., Danish, S., Khan, M. J., Fahad, S., Brtnicky, M., Hussain, G. S., Battaglia, M. L., & Datta, R. (2021). Compost mixed fruits and vegetable waste biochar with ACC deaminase rhizobacteria can minimize lead stress in mint plants. *Scientific Reports*, 11(1), 6606.
12. Ghezzehei, T. A., Sarkhot, D. V., & Berhe, A. A. (2014). Biochar can be used to capture essential nutrients from dairy wastewater and improve soil

Uncorrected Proof

physico-chemical properties. *Solid Earth*, 5 (2), 953-962. **Doi: 10.5194/ se-5-953-2014, 2014.**

13. Wu, W., Yang, M., Feng, Q., McGrouther, K., Wang, H., Lu, H., & Chen, Y. (2012). Chemical characterization of rice straw-derived biochar for soil amendment. *Biomass and bioenergy*, 47, 268-276. **Doi: 10.1016/j.biombioe. 2012.09.034**.
14. Yi, S., Witt, B., Chiu, P., Guo, M., & Imhoff, P. (2015). The origin and reversible nature of poultry litter biochar hydrophobicity. *Journal of environmental quality*, 44 (3), 963-971. **Doi:10.2134/jeq2014.09.0385**.
15. Najafi, N. (2019). Sustained/Controlled-Release Phosphorus Fertilizers: An Option for Enhancing Phosphorus Use Efficiency in Agriculture and Abating the Environmental Hazards. *Journal of land Management* (Soil and Water sci.) Vol. 8, No 2. (In Persian)
16. Trenkel, M. E. (2010). Slow- and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient efficiency in agriculture, 2nd edn. *International Fertilizer Association (IFA)*, Paris.
17. Guan, Y., Song, C., Gan, Y., & Li, F. M. (2014). Increased maize yield using slow-release attapulgite-coated fertilizers. *Agronomy for sustainable development*, 34, 657-665.
18. Li, Y., Yue, Q., & Gao, B. (2010). Adsorption kinetics and desorption of Cu (II) and Zn (II) from aqueous solution onto humic acid. *Journal of Hazardous Materials*, 178 (1-3), 455-461. **Doi: 10. 1016/j.jhazmat.2010.01.103**.
19. Gwenzi, W., Nyambishi, T. J., Chaukura, N., & Mapope, N. (2018). Synthesis and nutrient release patterns of a biochar-based N–P–K slow-release fertilizer. *International journal of environmental science and technology*, 15, 405-414.**doi. 10.1007/s13762-017-1399-7.**
20. Caporale, A. G., & Violante, A. (2016). Chemical processes affecting the mobility of heavy metals and metalloids in soil environments. *Current Pollution Reports*, 2, 15-27.
21. Joseph, S., van Zwieten, L., & Chia, C. H. (2013). Designing'of biochar for specific applications to soils; a technology in its infancy. *Biochar and Soil Biota*.
22. Blackwell, P., Joseph, S., Munro, P., Anawar, H. M., Storer, P., Gilkes, R. J., & Solaiman, Z. M. (2015). Influences of biochar and biochar-mineral complex on mycorrhizal colonisation and nutrition of wheat and sorghum. *Pedosphere*, 25 (5): 686-695.**doi.10.1007/s13399-020-01137-7.**
23. Khajavi-Shojaei, S., Moezzi, A., Norouzi Masir, M., & Taghavi, M. (2023). Synthesis modified biochar-based slow-release nitrogen fertilizer increases nitrogen use efficiency and corn (Zea mays L.) growth. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13 (2), 593-601. [In Persian]
24. Li, H., Dong, X., da Silva, E. B., de Oliveira, L. M., Chen, Y., & Ma, L. Q. (2017). Mechanisms of metal sorption by biochars: Biochar characteristics and modifications. Chemosphere, 178, 466-478. **Doi:10.1016/j.chemosphere.2017.03.072.**
25. Bazi Abdoli, M., Barani, M., Bosatni, A., & Nazari, T. (2023). Effect of application of acid modified biochar on vegetative growth and yield components of quinoa in a calcareous soil affected by salt. *Journal of Agricultural Engineering Soil Science and Agricultural Mechanization, Scientific Journal of Agriculture*, 46 (1), 43-59. [In Persian]
26. Page, A. L., Miller, R. H., & Keeney, D. R. (1982). Methods of Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological properties. 2nd ed. ASA. Madison, WI, USA.
27. Lindsay, W. L., & Norvell, W. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil science society of America journal*, 42 (3), 421-428.
28. Kong, X. R., Liu, Y. X., Pi, J. C., Li, W. H., Liao, Q. H. G., & Shang, J. G. (2017). Low-cost magnetic herbal biochar: characterization and application for antibiotic removal. *Environmental Science and Pollution Research*, 24 (7), 6679-6687. **Doi: 10.1007/ s11356-017-8376-z**.

Uncorrected Proof

29. Li, C., Zhang, L., Gao, Y., & Li, A. (2018). Facile synthesis of nano ZnO/ZnS modified biochar by directly pyrolyzing of zinc contaminated corn stover for Pb (II), Cu (II) and Cr (VI) removals. *Waste Management*, 79, 625-637. **Doi:10.1016/ j.wasman. 2018.08.035**.
30. Meng, R., Chen, T., Zhang, Y., Lu, W., Liu, Y., Lu, T., Liu, Y., & Wang, H. (2018). Development, modification, and application of low-cost and available biochar derived from corn straw for the removal of vanadium (v) from aqueous solution and real contaminated groundwater. *Royal society and chemistry*, 8 (38), 21480-21494. **Doi: 10.1039/C8RA02172D.**
31. Cui, X., Lu, M., Bila Khan, M., Lai, C., Yang, X., He, Z., Chen, G., & Yan, B. (2020). Hydrothermal carbonization of different wetland biomass wastes: Phosphorus reclamation and hydrochar production. *Waste Management*, 102, 106-113. **Doi:10.1016/ j.wasman. 2019.10.034.**
32. Rajkovich, S., Enders, A., Hanley, K., Hyland, C., Zimmerman, A. R., & Lehmann, J. (2012). Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. *Biology and Fertility of Soils*, 48, 271-284. **doi. 10.1007/s00374-0111-0624-7.**
33. Murphy, J. A. M. E. S., & Riley, J. P. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica chimica acta*, 27, 31-36.
34. Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods*, 5, 961-1010.
35. Peiris, C., Nayanathara, O. M., Navarathna, C., Jayawardhana, Y., Nawalage, S., Burk, G. G., Karunanayake, A. B., Madduri, S., Vithanage, M., Kaumal, M., Mlsna, T., Hassan, E., Abeysundara, S., Ferez, F., R., & Gunatilake, S. (2019). The influence of three acid modifications on the physicochemical characteristics of tea-waste biochar pyrolyzed at different temperatures: a comparative study. *The Royal Society of Chemistry*, 9, 17612-17622. **Doi: 10.1039/C9RA02 729G**.
36. Dong, D., Wang, C., Van Zwieten, L., Wang, H., Jiang, P., Zhou, M., & Wu, W. (2020). An effective biochar-based slow-release fertilizer for reducing nitrogen loss in paddy fields. *Journal of soils and sediments*, 20, 3027-3040. **Doi: 10.1007/s11368-019-02401-8.**
37. Sizmur, T., Fresno, T., Akgül, G., Frost, H., & Moreno-Jiménez, E. (2017). Biochar modification to enhance sorption of inorganics from water. *Bioresource technology*, 246, 34-47. **Doi: 10.1016/ j.biortech.2017.07.082**.
38. Benton, J., & Case, V. W. (1990). Sampling, handling and analyzing plant tissue samples. In: Westerman, R. L. (Ed.). Soil testing and plant analysis. 3rd Ed. Book series No. 3. Soil Science Society of America, Inc. Madison, WI., USA. Pp. 389-428.
39. Das, S. K. (2015). Integrated nematode management in chickpea against meloidogyne incognita-a view point. *Universal Journal of Agricultural Research*, 5 (5), 145-149. **Doi: 10.13189/ ujar.2015.030501**.
40. Das, S. K. (2019). Qualitative evaluation of fodder trees and grasses in hill region. *Journal of krishi vigyan*, 7 (2), 276-279.
41. Wu, C., Dun, Y., Zhang, Z., Li, M., & Wu, G. (2020). Foliar application of selenium and zinc to alleviate wheat (Triticum aestivum L.) cadmium toxicity and uptake from cadmium-contaminated soil. Ecotoxicology and Environmental Safety, 190, 110091. **doi: 10.1016/ jecoenv.2019-110091.**
42. Doolette, C. L., Read, T. L., Li, C., Scheckel, K. G., Donner, E., Kopittke, P. M., & Lombi, E. (2018). Foliar application of zinc sulphate and zinc EDTA to wheat leaves: differences in mobility, distribution, and speciation. *Journal of Experimental Botany*, 69 (18), 4469-4481. **Doi: 10.1093/ jxb/ ery236.**

Corrected Proof

43. Rashid, A., & Ryan, J. (2004). Micronutrient constraints to crop production in soils with Mediterranean-type characteristics*: a review. Journal of Plant Nutrition*, 27 (6), 959-975. **Doi: 10.1081/PLN-120037530**.
44. Vankhadeh, S. (2002). Response of sunflower to applied Zn, Fe, P, N. nes. S. zz, 1, 143-5.
45. Dargahi, M., Sadrabadi Haghighi, R., & Bakhsh Kelarestaghi, K. (2014). Effect of Zinc Chelate Foliar Application on Yield and Yield Components of Four Wheat Cultivars. *Journal of Crop Ecophysiology*, 8 (30 (2)), 137-148.
46. Gomes-Sanchez, D., Vannozzi, G. P., Baldini, M., Tahamasebi Enferadi, S., & Dell Vedove, G. (2000). Effect of soil water availability in sunflower lines derived from interspecific crosses. *Italian Joumal of Agronomy*.
47. Hossain, M. K., Strezov, V., Chan, K. Y., & Nelson, P. F. (2010). Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Chemosphere*, 78(9), 1167-1171. **Doi: 10.1016/j. chemosphere.2010.01.009.**
48. Adediran, J. A., Taiwo, L. B., Akande, M. O., Sobulo, R. A., & Idowu, O. J. (2005). Application of organic and inorganic fertilizer for sustainable maize and cowpea yields in Nigeria. *Journal of plant nutrition*, 27 (7), 1163-1181. **Doi: 10.1081/PLN-120038542**.
49. Moshatati, A., & Mousavi, S. H. (2019). Effect of zinc sulfate application on grain yield of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cv. Chamran under terminal heat stress conditions in Ahvaz. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 21 (3), 254-267. [In Persian]
50. Saurabh, K. (2016). Nanoclay Polymer Composites (NCPCs) with biodegradable polymers for controlled release of nitrogen in rice and wheat crops. Ph.D dissertation, New Delhi, Indian.
51. Dargie, S., Wogi, L., & Kidanu, S. (2020). Nitrogen use efficiency, yield and yield traits of wheat response to slow-releasing N fertilizer under balanced fertilization in Vertisols and Cambisols of Tigray, Ethiopia. *Cogent Environmental Science*, 6 (1), 1778996. **Doi: 10.1080/23311843.2020.1778996**.
52. Rezaee, Z., Norouzi Masir, M., & Moezi, A. (2021). Effect of compost and biochar of bagasses on zinc uptake and growth indices of Wheat under greenhouse condition. *Agriculture Engineering*. 44 (2): 255-274. [In Persian]
53. Sadegh-Zadeh, F., Tolekolai, S. F., Bahmanyar, M. A., & Emadi, M. (2018). Application of biochar and compost for enhancement of rice (*Oryza sativa* L.) grain yield in calcareous sandy soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49 (5), 552-566. **Doi: 10. 1080/00103624.2018.1431272**.
54. Ma, D., Sun, D., Wang, C., Ding, H., Qin, H., Hou, J., ... & Guo, T. (2017). Physiological responses and yield of wheat plants in zinc-mediated alleviation of drought stress. *Frontiers in plant science*, 8, 860. **Doi: doi.org/ 10.3389/fpls.2017.00860.**
55. Baniabbass, Z., Zamani, G., & Sayyari, M. (2012). Effect of drought stress and zinc sulfate on the yield and some physiological characteristics of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Environmental Biology, 6 (2), 518-525. [In Persian]
56. Narimani, H., Seyed Sharif, R., & Aghaei, F. (2022). Effect of Foliar and Soil Application of Zinc on Grain Weight and Some Biochemical Traits of Wheat (*Triticum aestivum* L.) under Salinity Stress. *Journal of Crops Improvement*, 24 (2), 269-281. [In Persian]
57. Bogusz, A., Oleszczuk, P., & Dobrowolski, R. (2015). Application of laboratory prepared and commercially available biochars to adsorption of cadmium, copper and zinc ions from water. *Bioresource technology*, 196, 540-549. **Doi:10.1016/ j.biortech. 2015.08.006**.
58. Liu, X., Yang, Y., Gao, B., Li, Y., & Wan, Y. (2017). Environmentally friendly slow-release urea fertilizers based on waste frying oil for sustained nutrient release. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 5 (7), 6036-6045. **Doi:10. 1021/acssuschemeng.7b00882**.

Uncorrected Proof

59. Ippolito, J. A., Ducey, T. F., Cantrell, K. B., Novak, J. M., & Lentz, R. D. (2016). Designer, acidic biochar influences calcareous soil characteristics. *Chemosphere*, 142, 184-191. **Doi: 10. 1016/j.chemosphere.2015.05.092.**
60. Bazi Abdoli, M., Barani, M., Bostani, A., & Nazari, T. (2023). 'Acid-modified biochar effect on some physiological indicators and micronutrient availability of quinoa (cv. Gizavan) in a calcareous soil', Water and Soil, 37 (4), 589-602. **doi: 10.22067/jsw.2023.82277.1281**.
61. Wu, P., Cui, P. X., Fang, G. D., Wang, Y., Wang, S. Q., & Zhou, D. M.. (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. **Doi:10.1016/j.scitotenv. 2017.11.236.**
62. Soltani, Sh. M., & Abbasian, A. (2021). 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. *Iranian journal of soil and water research*, 52 (3), 707-719. [In Persian]
63. Kim, P., Hensley, D., & Labbé, N. (2014). Nutrient release from switchgrass-derived biochar pellets embedded with fertilizers. *Geoderma*, 232, 341-351. **Doi: 10.1016/j.geoderma. 2014.05.017**.
64. Jia, Y., Hu, Z., Ba, Y., & Qi, W. (2021). Application of biochar-coated urea controlled loss of fertilizer nitrogen and increased nitrogen use efficiency. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 8, 1-11. **Doi: 10.1186/ s40538-020-00205-4**.
65. Inal, A., Gunes, A. Y. D. I. N., Sahin, O. Z. G. E., Taskin, M. B., & Kaya, E. C. (2015). Impacts of biochar and processed poultry manure, applied to a calcareous soil, on the growth of bean and maize. *Soil Use and Management*, 31 (1), 106-113. **Doi: 10.1111/sum. 12162**.
66. Esfandiari, E., & Abdoli, M. (2017). Improvement of agronomic and qualitative characters of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) genotypes by application of zinc sulfate under zinc deficiency stress. *Journal of Crop Ecophysiology*, 11 (43 (3)), 619-636. [In Persian]
67. Hussain, S., Maqsood, M. A., Rengel, Z., & Aziz, T. (2012). Biofortification and estimated human bioavailability of zinc in wheat grains as influenced by methods of zinc application. *Plant and Soil*, 361, 279-290. **Doi: 10.1007/ s11104-012-1217-4**.
68. Darayi, G., Hosseinpanahi, F., & Siosemardeh, A. (2022). Effect of foliar application of humic acid, Vitaspirin and zinc sulfate on yield and chlorophyll content of dryland wheat under climate condition of Kurdistan province. *Applied Field Crops Research*, 35 (2), 64-50. [In Persian]
69. 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. **Doi: 10. 1007/s13593-013-0150-0**.
70. Lehmann, J., da Silva, J. P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., & Glaser, B. (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer manure and charcoal amendments. *Plant and soil*, 249 (2), 343-357. **Doi: 10.1023/a:1022833116184**.
71. Parzivand, A., Ghoshchi, F., Memizi, M. R., & Tohidi-Moghaddam, H. R. (2011). The effect of foliar application of zinc and nitrogen fertilizer on yield and some quality indicators of wheat grain In drought stress condition. *Agricultural Research Journal*, 3 (1), 56-67. [In Persian]
72. Wang, C., Luo, D., Zhang, X., Huang, R., Cao, Y., Liu, G., Zhang, Y., & Wang, H. (2022). Biochar-based slow-release of fertilizers for sustainable agriculture: A mini review. *Environmental Science and Ecotechnology*, 10, 100167. **Doi: 10.1016/j.ese.2022.100167.**

Uncorrected Proof

Uncorrected Proof