Crop Science Research in Arid Regions

homepage: https://cropscience.uoz.ac.ir/

Research Article
Volume 7, Issue 3, 2025, P. 671-684

The effect of biochar on some agronomic and functional traits of barley cultivars (*Hordeum vulgare*)

Kosar Sheikhi [a], Arash Fazeli [*a], Mohammad Soleiman Beigi [b]

[a] Agronomy and Plant Breeding Department, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran
[b] Department of Chemistry, Faculty of Sciences, Ilam University, Ilam, Iran

[*]Corresponding Author: a.fazeli@ilam.ac.ir

Received: 17 February 2024 Accepted: 19 April 2024 **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.442253.1399**

How to cite this article:
Sheikhi, K., Fazeli, A. and Soleiman-Beigi, M., 2025. The effect of biochar on some agronomic and functional traits of barley cultivars (*Hordeum vulgare*). *Crop Science Research in Arid Regions, 7*(3), 671-684. https://doi.org/10.22034/csrar.2024.442253.1399

Abstract

Introduction: Although the use of fertilizer in poor soils is necessary to increase soil fertility and optimal plant growth, in recent years, the use of chemical fertilizers has caused a lot of environmental damage. Currently, one of the well-known ways to minimize the use of chemical fertilizers is the use of resources and soil modifier compounds, including biochar. Biochar is a carbon-rich material that has recently shown promising results for the sustainable management of agro-ecosystems, increased plant growth, and soil health .Biochar enhances the capacity for water retention and nutrient absorption, ensuring timely delivery to the plant.

Material and Methods: This study was conducted at Ilam University's research greenhouse from 2022 to 2023. The experiment followed a factorial design and utilized a completely randomized approach with three replications. The treatments consisted of three different barley cultivars (HOR8887, HOR7496, and HOR9793) and three levels of biochar (control or zero, 2 g/kg, and 4 g/kg). To create the biochar, natural asphalt was used, which is a readily available and cost-effective material commonly found in underground mines. It is characterized by its hard, black composition and high melting temperature. The process of synthesizing the chemical biochar involved sulfonating Iranian natural asphalt with concentrated sulfuric acid, resulting in the formation of potassium natural asphalt sulfonate (K-NAS). Initially, one gram of Iranian natural asphalt was mixed with 5 ml of concentrated sulfuric acid and stirred at room temperature for 15 minutes. The reaction mixture was then heated for two hours at 220 degrees Celsius and gradually added to water and ice. The resulting product, natural asphalt sulfonic acid (NASA), was washed twice with distilled water and dried at 100°C. Subsequently, one gram of NASA was mixed with 20 ml of 10% potassium hydroxide solution and stirred for one hour at room temperature. The solvent was evaporated, and the mixture was dried at 100 degrees Celsius to obtain potassium natural asphalt sulfonate (K-NAS), also known as chemical biochar.

Results and Discussion: The results of this experiment showed that there was a significant difference between the barley cultivars for the number of fertile tillers, flag leaf length, spike length, plant height, peduncle length, and hundred seed weight at the probability level of 1%. Biochar had a positive and significant effect on flag leaf length, spike length, awn length, number of seeds per spike, and hundred

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

seed weight at the probability level of 5%; But it showed a non-significant effect on other functional traits. But it showed a non-significant effect on other functional traits. The results showed that the highest number of claws per plant was related to the HOR9793 variety with a level of 4 gr of biochar and an average of 14.8. In cultivar HOR7496, the highest number of seeds per spike 23.4, was obtained with the consumption of 4 gr/kg of biochar. The highest weight of 100 seeds, corresponding to the variety HOR8887, was obtained at the rate of 4.34 grams when consuming 4 gr/kg of biochar.
Conclusion: Our experiment's overall findings indicate that utilizing 4 g/kg of this biochar can significantly impact both the yield and its components in greenhouse conditions. Consequently, considering the plentiful availability and cost-effectiveness of this particular biochar, we strongly recommend conducting further field studies.
Keywords: Chemical Biochar, Growth, Sustainable Agriculture, Soil Fertility

تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد هفتم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۴، ص ۶۸۴-۶۷۱

مقاله پژوهشی

تاثیر بیوچار بر برخی صفات زراعی و عملکردی ارقام جو (*Hordeum vulgare*)

کوثر شیخی[۱]، آرش فاضلی*[۱]، محمد سلیمان بیگی[۲]

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
۲- گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
* مسئول مکاتبه: a.fazeli@ilam.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۳۰ **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.442253.1399**

چکیده

اگر چه استفاده از کود در خاک‌های فقیر جهت افزایش حاصلخیزی خاک و رشد گیاهان امری ضروری است، اما در سال‌های اخیر استفاده از کودهای شیمیایی باعث آسیب‌های زیست محیطی فراوانی شده است. لذا استفاده از بیوچار می‌تواند این خسارت‌ها را به حداقل برساند. به این منظور پژوهشی در شرایط گلخانه به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل سه رقم جو زراعی (HOR8887, HOR7496, HOR9793) و سه سطح بیوچار شامل شاهد، دو و چهار گرم در کیلوگرم بود. نتایج نشان داد بین ارقام جو برای صفات تعداد پنجه بارور، طول برگ پرچم، طول ریشک، ارتفاع بوته، طول پدانکل و وزن صد دانه تفاوت معنی‌داری وجود دارد. همچنین، بیوچار بر صفات طول برگ پرچم، طول سنبله، طول ریشک، تعداد دانه در سنبله و وزن صد دانه تاثیر مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد داشت؛ اما بر روی سایر صفات عملکردی اثر غیر معنی‌داری نشان داد. طبق نتایج به‌دست آمده، بیشترین تعداد پنجه در بوته، مربوط به رقم HOR9793 با سطح چهار گرم بیوچار و میانگین ۱۴/۸بوده است. در رقم HOR7496 با مصرف چهار گرم در کیلوگرم بیوچار بیشترین تعداد دانه در سنبله (۲۳/۴) به‌دست آمد. بیشترین وزن صد دانه نیز، مربوط به رقم HOR8887 در مصرف چهار گرم در کیلوگرم بیوچار به میزان ۴/۳۴ گرم به‌دست آمد. به‌طور کلی نتایج نشان می‌دهد استفاده از چهار گرم در کیلوگرم بیوچار بیشترین تاثیر را بر عملکرد و اجزای عملکرد در شرایط گلخانه داشته است.

واژه‌های کلیدی: بیوچار شیمیایی، حاصلخیزی خاک، رشد، کشاورزی پایدار

مقدمه

جو یکی از مهم‌ترین محصولات غلات خانواده *Poaceae* است و نه تنها در ایران بلکه در سراسر جهان از محصولات مهم است (Hafez *et al.*, 2020). ارزش اقتصادی بالایی دارد و در صنایع غذایی و صنعتی کاربرد دارد. جو با شرایط مختلف سازگار است و به چندین عامل غیرزیستی از جمله تنش‌های غیرزیستی مقاوم است (El-Esawi *et al.*, 2022). جو به‌عنوان یکی از محصولات استراتژیک نقش مهمی در امنیت غذایی مردم ایران دارد و تامین به اندازه آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. گزارش محققان نشان می‌دهد، علیرغم پیشرفت قابل توجه در افزایش تولیدات کشاورزی، برآورده کردن نیاز غذایی در حال تغییر و افزایش نیازهای غذایی جمعیت‌های آینده هم‌چنان جزء چالش‌های مهم است (Hossain *et al.*, 2020). این امر به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه مشاهده می‌شود. تغییرات آب‌وهوا و تنوع بازارهای ناپایدار و کاهش منابع زمین قابل کشت که ناشی از شهرنشینی و صنعتی شدن است، چالش‌های بیشتری را نشان می‌دهد. در بسیاری از کشورها، به‌ویژه کشورهایی با جمعیت متراکم و یا اکوسیستم‌های متنوع که نیاز به حفاظت دارند، گسترش کشاورزی به زمین‌های جدید برای افزایش تولید یک گزینه نیست (Hossain *et al.*, 2020). برعکس، در جایی که عملکرد کشاورزان منجر به تخریب زمین و زوال خاک و منابع طبیعی می‌شود که بهره‌وری آینده به آن بستگی دارد، تحقیقات فوری و توجه سیاستی برای متوقف کردن و معکوس کردن کاهش تخریب زمین و کیفیت نامطلوب خاک با توجه به افزایش تقاضای جهانی برای کشاورزی مورد نیاز است (Hossain *et al.*, 2020). در این راستا معرفی راه‌حل‌هایی نوین به‌منظور تولید محصول با کیفیت و کمیت بالا ضروری می‌باشد. اخیرا استفاده بیش از حد از کودهای شیمیایی منجر به اثرات مضری بر خواص خاک، میکروارگانیسم‌های ارزشمند خاک، کیفیت آب و سلامت انسان شده است (Hafez *et al.*, 2020). بیوچار یک ماده غنی از کربن که توسط تجزیه در اثر حرارت تولید می‌شود، اخیراً نتایج امیدوار کننده‌ای را

برای مدیریت پایدار اکوسیستم‌های کشاورزی نشان داده است که می‌تواند رشد گیاه را افزایش داده و سلامت خاک را بهبود بخشد (Ghadirnezhad Shiade *et al.*, 2024). ساختار بیوچار به‌گونه‌ای است که قادر به ذخیره‌سازی آب و عناصر غذایی است، به‌طوری که آب و مواد مغذی را جذب کرده و زمانی که گیاه نیاز دارد، در اختیارش می‌گذارد (Yaghoby *et al.*, 2014). توانایی بالای بیوچار در افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک، مربوط به خصوصیات فیزیکی از قبیل ساختار متخلخل و سطح ویژه بالای بیوچار است (Ghadirnezhad Shiade *et al.*, 2024). تحقیقات نشان داده است، افزودن بیوچار به خاک می‌تواند بر دسترسی گیاه به آب، عملکرد محصول، اصلاح ساختاری خاک و نیز بهره‌وری آب تاثیرگذار باشد. بنابران می‌توان گفت اصلاح خاک با بیوچار باعث حفظ بیش‌تر آب و مواد مغذی در خاک شده و از این طریق زمینه را برای تولید محصول بیشتر فراهم می‌کند (Rajkovich *et al.*, 2012). یافته‌های محققان نشان داد که افزودن بیوچار کاه گندم به خاک موجب بهبود شاخص‌های رشد گندم، افزایش کارایی مصرف آب و افزایش عملکرد شده است (Li *et al.*, 2015). با سنتز بیوچار شیمیایی سولفونات آسفالت طبیعی پتاسیم اعلام کردند که این نوع بیوچار سازگار با محیط زیست بوده، سمیت کمی دارد و استفاده از آن می‌تولند؛ زیادی هزینه‌ها و کاربرد سایر کودهای شیمیایی رایج که خسارات جبران ناپذیری بر محیط زیست وارد می‌کنند را کاهش دهد (Falah *et al.*, 2020).

برای تهیه‌ی بیوچار شیمیایی سولفونات آسفالت طبیعی پتاسیم، از آسفالت طبیعی استفاده شده است. آسفالت طبیعی یک ماده طبیعی، ارزان و در دسترس است و اغلب در معادن زیرزمینی به‌عنوان یک ماده ی سخت و سیاه رنگ با دمای ذوب نسبتا بالا یافت می‌شود. جهت سنتز این بیوچار شیمیایی، آسفالت طبیعی ایران با اسید سولفوریک غلیظ، سولفونه شد و سپس به سولفونات آسفالت طبیعی پتاسیم (K-NAS) (بیوچارشیمیایی)، تبدیل گردید. به این صورت که ابتدا مخلوطی از آسفالت طبیعی ایران (یک گرم) و اسید سولفوریک غلیظ (۵ میلی لیتر) به مدت ۱۵ دقیقه در دمای اتاق هم‌زده شدند. سپس مخلوط حاصل از واکنش به مدت دو ساعت در دمای ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد و در نهایت به آرامی به آب و یخ اضافه گردید. محصول (سولفونیک اسید آسفالت طبیعی (NASA)) دو بار با آب مقطر شسته شد و در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک گردید. در نهایت یک گرم از این ماده و ۲۰ میلی لیتر محلول هیدروکسید پتاسیم ۱۰ درصد به مدت یک ساعت در دمای اتاق هم‌زده شدند؛ سپس حلال تبخیر شد و با خشک کردن در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در فر؛ سولفونات آسفالت طبیعی پتاسیم (K-NAS) یا همان بیوچار شیمیایی به‌دست آمد (Falah *et al.*, 2020).

با توجه به اهمیت ویژه گیاه جو و نیز مزایای بیوچار مورد استفاده؛ آزمایش حاضر با هدف بررسی تاثیر بیوچار شیمیایی سولفونات آسفالت طبیعی پتاسیم بر برخی صفات زراعی و عملکردی گیاه جو انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه ایلام انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی در سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل سه رقم جو زراعی (HOR8887, HOR7496, HOR9793) و سه سطح بیوچار شامل شاهد یا صفر، دو و چهارگرم در کیلوگرم بود. در این آزمایش از گلدان‌های به قطر ۲۱ سانتی‌متر استفاده شد که به میزان پنج کیلوگرم خاک ظرفیت و دارای تهویه انتهایی بودند آماده و کدگذاری شدند.

عملیات کاشت در ۱۶ دی ماه سال ۱۴۰۰ انجام شد. به این صورت که ابتدا در کف گلدان‌ها مقداری شن به‌صورت یک لایه یک تا دو سانتی‌متری جهت بهبود زهکشی و تهویه ریخته شد، سپس سه کیلوگرم از خاک معمول مزرعه را که به نسبت دو به یک با ماسه ترکیب شده بود؛ وزن کرده و در داخل هر گلدان ریخته شد. مابقی ظرفیت خالی گلدان‌ها را که معادل دو کیلوگرم خاک بود؛ با مخلوطی از خاک و مقادیر مورد نظر تیمارها از سولفونات آسفالت طبیعی پتاسیم پر شدند، سپس چهار عدد بذر سالم از ارقام زراعی جو مورد نظر در گلدان کاشته شد. در نهایت برای تمام گلدان‌ها آبیاری کامل صورت گرفت. ارقام جو مورد استفاده از موسسه تحقیقات ژنتیک گیاهی و گیاهان زراعی (IPK) آلمان تهیه شدند و از خاک معمول مزرعه دانشگاه ایلام نیز برای کاشت بذور استفاده شد، که مشخصات

فیزیکی و شـــیمیایی خاک مورد اســـتفاده به شـــرح جدول ۱ می‌باشد. عملیات برداشت نیز در ۲۲ خرداد ماه به‌وسیله دست انجام شد. تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS9/4 انجام گردید. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد انجام شد. به‌منظور تعیین میزان و نوع همبستگی هر یک از صفات با یک‌دیگر نیز از نرم افزار JMP نسخه ۱۶ استفاده شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Soil physical and chemical characteristics

اسیدیته	کربن آلی	هدایت الکتریکی	پتاسیم قابل جذب	فسفر قابل جذب	نیتروژن کل	سیلتی لومی
pH	Organic C(%)	EC*10^3(ds/m)	Absorbable K(ppm)	Absorbable P (ppm)	Total N(%)	Silty-Loam
7.3	0.63	0.32	310	12.50	0/07	

نتایج و بحث

تعداد پنجه بارور: بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها برای صـــفت تعداد پنجه بارور (جدول ۲)، در بین ارقام مختلف جو اختلاف معنی‌داری در ســـطح احتمال یک درصـــد مشاهده شد. از طرفی اثر سطوح مختلف بیوچار بر تعداد پنجه بارور غیر معنی‌دار بود و اثر متقابل رقم × کود بیوچار در ســـطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. در پژوهشی با بررسی تاثیر یک نوع بیوچار زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد برخی ارقام گندم و جو مشـخص شـد که تاثیر بیوچار بر تعداد پنجه بارور در بوته غیر معنی‌دار بوده است (Afrashteh and Koolivand, 2021). این نتیجه با نتیجه پژوهش حاضـر مطابقت داشـته اسـت. نتایج نشـــان داد، کمترین تعداد پنجه بارور در رقم HOR7496 در ســـطح دو گرم بیوچار با میانگین ۴/۳ و بیشـــترین تعداد پنجه بارور در رقم HOR8887 دارای تیمار شـــاهد (بدون بیوچار) با میانگین ۸/۵ مشـاهده شـد. همان‌طور که در جدول شـماره ۳ مشـــاهده می‌شـــود، رقم HOR8887 در ســـه ســـطح بیوچار بیشترین تعداد پنجه بارور را نسبت به دو رقم دیگر داشته است. اما بین سطوح مختلف بیوچار در این رقم (HOR8887) تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد.

طول برگ پرچم: براســـاس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها برای صـــفت طول برگ پرچم (جدول ۲)، بین ارقام جو تفاوت معنی‌داری در ســـطح احتمال یک درصـــد مشـــاهده گردید. اثر بیوچار بر صفت طول برگ پرچم، در سطح احتمال پنج درصد نیز معنی‌دار بود. با توجه به نتایج مقایســـه میانگین داده‌ها (جدول۳)، کمترین طول برگ پرچم مربوط به رقم HOR7496 با تیمار چهار گرم بیوچار و میانگین ۴/۴۸ سانتی‌متر و بیشترین طول برگ پرچم مربوط بـه رقم HOR8887 و تیمـار دو گرم بیوچار، با میانگین ۸/۰۵ سانتی‌متر می‌باشد.

طول سنبله: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها برای صفت طول ســـنبله (جدول ۲) نشـــان داد، که بیوچار بر طول ســـنبله اثر معنی‌داری دارد، کـه این نتیجـه بـا نتـایج تحقیقی کـه در آن مشـــخص شـــد، کاربرد ۳۰ تن در هکتار بیوچار موجب افزایش طول بلال در گیاه ذرت می‌شود؛ مطابقت داشته است (Arif *et al.*, 2012). اما با نتایج مطالعه دیگری که اعلام شـد، بیوچار بر طول ســـنبلـه گنـدم اثر غیر معنی‌داری دارد؛ متفـاوت بود (Gebremedhin *et al.*, 2015). مطابق نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳)، رقم HOR8887 با تیمار دو گرم بیوچار و میانگین ۸/۲ ســـانتی‌متر دارای بیشـــترین طول ســـنبله و ارقام HOR7496 و HOR9793 دارای تیمـار شـــاهـد (بـدون کود بیوچار) و با میانگین ۷/۱سانتی‌متر، کمترین طول سـنبله را دارا بودند.

طول ریشـــک: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها برای صـــفت طول ریشـک (جدول ۲) نشـان داد، بین ارقام مختلف جو تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصـد وجود دارد و اثر بیوچار بر صفت طول ریشک نیز، در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. با توجه به نتایج مقایسـه میانگین داده‌ها (جدول۳) کمترین طول ریشـک در رقم HOR7496 دارای تیمار شاهد (بدون کود بیوچار) با میانگین ۱۱/۵سانتی‌متر و بیشـترین طول ریشـک در رقم HOR8887 با ســـطوح دو و چهار گرم بیوچار و میانگین ۱۵/۵۸سانتی‌متر مشاهده شد.

ارتفاع بوته: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها برای صفت ارتفاع بوته (جدول ۲) نشـان داد، بین ارقام جو در سـطح احتمال یک درصـد تفاوت معنی‌داری وجود دارد. اما اثر بیوچار بر ارتفاع بوته و اثر متقابل رقم × بیوچار بر ارتفاع بوته غیر معنی‌دار بود. این

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورفولوژیکی و عملکردی

Table 2- Results of analysis of variance (mean square) of morphological and functional traits

منابع تغییرات Sources of Variation	درجه آزادی df	تعداد پنجه Number of claws	تعداد پنجه بارور Number of fertile claws	طول برگ پرچم Flag leaf length (cm)	عرض برگ پرچم Flag leaf width(cm)	طول سنبله spike length (cm)	طول ریشک Awn length (cm)	ارتفاع بوته Plant height (cm)
رقم Cultivar	2	13.1^{ns}	18.8**	6.911**	0.006^{ns}	0.365^{ns}	18.8**	566.5**
بیوچار Biochar	2	15.1^{ns}	1.129^{ns}	2.163*	0.012^{ns}	1.394*	4.2*	27.3^{ns}
رقم × بیوچار Cultivar× Biochar	4	12.5^{ns}	2.411*	3.067**	0.015^{ns}	0.318^{ns}	0.645^{ns}	12.2^{ns}
خطا Error	18	7.4	0.709	0.541	0.006	0.385	1.04	33.9
ضریب تغییرات (٪) Coefficent of variation%	-	26.1	14.7	12.4	14.5	8.2	7.4	11.5

ns، *و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

ns, * and ** are not significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

ادامه ی جدول ۲.

Table 2 Continued.

منابع تغییرات Sources of Variation	درجه آزادی df	طول پدانکل Peduncle Length (cm)	تعداد سنبله Number of Spike	تعداد دانه درسنبله Number of seeds per spike	تعداد دانه دربوته Number of seeds per Shrub	وزن خشک سنبله Spike dry weight (gr)	وزن صد دانه 100 weight seeds (gr)	عملکرد دانه Seed yield (gr/kg)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (gr/kg)
رقم Cultivar	2	27.8**	3.6^{ns}	17.3^{ns}	1446.5^{ns}	16.6^{ns}	0.9**	14.6^{ns}	45.9^{ns}
بیوچار Biochar	2	2.8^{ns}	0.8^{ns}	20.5*	231.4^{ns}	0.7^{ns}	0.45*	0.6^{ns}	1.4^{ns}
رقم × بیوچار Cultivar× Biochar	4	1^{ns}	0.3^{ns}	11.8^{ns}	1015.1^{ns}	13.7^{ns}	0.02^{ns}	6.2^{ns}	30.3^{ns}
خطا Error	18	2.6	1	4.9	1307.1	13.4	0.12	7.5	39.6
ضریب تغییرات (٪) Coefficent of variation%	-	12	18.1	11.1	28.3	17	8.9	16.6	15.6

ns، *و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

ns, * and ** are not significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively

نتیجه با پژوهش انجام شده در این زمینه که نشان‌دهنده عدم تاثیر بیوچار بر ارتفاع بوته ارقام گندم بوده است؛ مطابقت داشت (Gebremedhin *et al.*, 2015). اما با نتایج تحقیقی که در آن اعلام شد ارتفاع گیاه باقلا با افزودن ۲۵ تن در هکتار بیوچار به خاک نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است؛ مغایرت داشت (Abbaspour *et al.*, 2019). با توجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول۳)، رقم HOR8887 با تیمار چهار گرم بیوچار و میانگین ۴۰/۸ سانتی‌متر، کمترین ارتفاع بوته و رقم HOR9793 با سطح دو گرم بیوچار و میانگین ۶۱/۷ سانتی‌متر، بیشترین ارتفاع بوته را دارا بودند.

طول پدانکل: نتایج تجزیه واریانس داده‌های صفت طول پدانکل (جدول ۲) نشان می‌دهد، که بین ارقام جو در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد. اما اثر بیوچار بر طول پدانکل غیر معنی‌دار بود. با توجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول۳)، رقم HOR8887 با تیمار چهار گرم بیوچار و میانگین ۱۱/۵ سانتی‌متر کمترین طول پدانکل و رقم

HOR9793 با سطح دو گرم بیوچار و میانگین ۱۶/۱ سانتی‌متر بیشترین طول پدانکل را دارا بودند.

تعداد دانه در سنبله: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها برای صفت تعداد دانه در سنبله (جدول ۲) نشان داد، که بیوچار بر تعداد دانه در سنبله اثر معنی‌داری دارد. نتیجه پژوهش حاضر با نتایج تحقیقی که نشان داد، سطوح بقایای گیاهی (بیوچار زیستی) بر تعداد دانه در بلال اثر معنی‌دار و افزایشی دارد مطابقت داشته است (Saadatian *et al.*, 2014). اما با نتایج پژوهشی که با بررسی تاثیر بیوچار زیستی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم و جو، مشخص شد که بیوچار زیستی بر تعداد دانه در سنبله اثر غیر معنی‌داری دارد، متفاوت بوده است (Afrashteh Koolivand and, 2021). بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول۳)، رقم HOR7496 دارای تیمار شاهد (بدون کود بیوچار) و سطح دو گرم بیوچار با میانگین ۱۷/۵ کمترین تعداد دانه در سنبله و رقم HOR7496 با سطح چهار گرم بیوچار و میانگین ۲۳/۴، بیشترین تعداد دانه در سنبله را دارا بودند.

وزن صد دانه: بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) بیوچار، بر صفت وزن صد دانه تاثیری معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نشان داد. هم‌چنین اثر بیوچار بر وزن صد دانه ارقام جو در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. این نتیجه با نتایج پژوهشی که با بررسی سطوح مختلف بیوچار (۲، ۵ و ۱۰ گرم به ازای هر کیلوگرم خاک) بر گیاه زنیان اعلام شد، تیمار ۱۰ گرم بیوچار اثر مثبت و معنی‌داری بر وزن صد دانه گیاه زنیان دارد، مطابقت داشته است (Khashei *et al.*, 2019). اما با نتایج تحقیقی که گزارش شد، تیمار بیوچار تاثیر معنی‌داری بر وزن صد دانه گندم ندارد، متفاوت بود (Gebremedhin *et al.*, 2015). مطابق نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول۳)، کمترین وزن صد دانه مربوط به رقم HOR9793 دارای تیمار شاهد (بدون تیمار بیوچار) با میانگین وزن ۳/۳۰۴ گرم و بیشترین وزن صد دانه مربوط به رقم HOR8887 با سطح چهار گرم بیوچار و میانگین وزن ۴/۳۴ گرم بوده است.

عملکرد دانه: با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها برای صفت عملکرد دانه (جدول ۲) بیوچار بر عملکرد دانه اثر غیر معنی‌داری نشان داد، که این نتیجه با نتایج تحقیقی که با بررسی اثر بیوچار بر گیاه سیاه دانه اعلام شد؛ استفاده از بیوچار اثر غیر معنی‌داری بر عملکرد دانه دارد اما مصرف بیوچار به همراه کود شیمیایی تاثیر مثبت و معنی‌داری را بر عملکرد دانه نسبت به مصرف بیوچار به تنهایی داشت؛ مطابقت دارد (Abbaspour *et al.*, 2019). نتایج سایر مطالعات نیز نشان داد که افزودن بیوچار به خاک می‌تواند عملکرد دانه گندم را به‌میزان قابل توجهی افزایش دهد (Alburquerque *et al.*, 2013; Gebremedhin *et al.*, 2015). نتایج این مطالعات با نتیجه پژوهش حاضر متفاوت بوده است. بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۳) با وجود این که برای صفت عملکرد دانه، هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری بین ارقام و سطوح مختلف کود بیوچار مشاهده نشد؛ اما در مجموع کمترین عملکرد دانه مربوط به رقم HOR7496 با تیمار دو گرم بیوچار و میانگین ۱۳/۸ گرم بر کیلوگرم و بیشترین عملکرد دانه، مربوط به رقم HOR9793 با تیمار دو گرم بیوچار و میانگین ۱۸/۲ گرم بر کیلوگرم بوده است.

عملکرد بیولوژیک: نتایج تجزیه واریانس داده‌های صفت عملکرد بیولوژیک (جدول ۲) نشان داد، که بیوچار بر عملکرد بیولوژیک اثر غیر معنی‌داری دارد. نتیجه پژوهش حاضر با نتایج مطالعه انجام شده در این زمینه که با بررسی سطوح مختلف بیوچار (۲، ۵ و ۱۰ گرم به ازای هر کیلوگرم خاک) بر گیاه زنیان اعلام شد؛ تیمار دو گرم بیوچار، بیشترین اثر مثبت و معنی‌دار را بر عملکرد بیولوژیک دارد (Khashei *et al.*, 2019). نتایج تحقیقی که نشان داد کاربرد سطوح ۵ و ۱۵ گرم در کیلوگرم بیوچار سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی گیاه ذرت شده است، مغایرت داشته است (Singh and Smider, 2014). بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول۳) برای صفت عملکرد بیولوژیک، هیچ‌گونه تفاوت معنی‌داری بین ارقام و سطوح مختلف کود بیوچار مشاهده نشد. سایر محققین نیز گزارش کردند که افزودن بیوچار به خاک باعث افزایش عملکرد محصول و افزایش ۲۰ تا ۳۰ درصدی عملکرد دانه گندم می‌شود (Alburquerque *et al.*, 2013). همچنین کاربرد بیوچار منجر به افزایش ارتفاع، وزن تر و قطر اندام هوایی گیاه سویا شده است (Mukherje *et al.*, 2014). علاوه بر این‌ها، افزودن بیوچار کاه گندم در سطوح ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۶۰ تن در هکتار به خاک موجب بهبود شاخص‌های رشد گندم، افزایش کارایی مصرف آب و افزایش عملکرد شده است (Li *et al.*, 2015). با کاربرد دو سطح بیوچار (۲ و ۴ تن در هکتار) و دو سطح کمپوست (۳/۵ و ۷ تن در هکتار) بر عملکرد دانه و وزن خشک اندام هوایی گندم در یک آزمایش گلخانه‌ای مشخص شد که بیوچار عملکرد دانه و

جدول۳- انحراف معیار و مقایسه میانگین صفات مورد بررسی

Table 3- standard deviation and average comparison of investigated traits

رقم cultivar	سطوح کود Fertilizer levels	تعداد پنجه بارور Number of fertile claws	طول برگ پرچم Flag leaf length(cm)	طول سنبله length Spike (cm)	طول ریشک Awn length (cm)	ارتفاع بوته Plant height (cm)
HOR7496	Non-Fer	4.9^{bc} ± 0.083	6.72 ^{cb}± 0.21	7.1^{b} ± 0.2	11.5^{d} ± 0.546	47.1^{cde} ± 1.62
HOR7496	Fer-2gr	4.3^{c} ± 0.382	5.86^{bcd} ± 0.2	7.2^{ab} ± 0.3	11.9^{cd} ± 0.577	50 $^{b-d}$± 4.39
HOR7496	Fer-4gr	5.1^{bc} ± 0.553	4.48^{e} ± 0.43	7.8^{ab} ± 0.6	13.3^{cb} ± 0.514	51^{cbd} ± 5.83
HOR9793	Non-Fer	4.9^{bc} ± 0.3	4.82^{de} ± 0.21	7.1^{b} ± 0.6	13.6^{b} ± 1.318	56.7^{abc} ± 4.1
HOR9793	Fer-2gr	4.5^{c} ± 0.25	5.47^{cde} ± 0.46	7.9^{ab} ± 0.2	14.2^{ab} ± 0.363	61.7^{a} ± 1.91
HOR9793	Fer-4gr	5.6^{bc} ± 0.3	5.2^{de} ± 0.45	8.1^{ab} ± 0.3	14.4^{ab} ± 0.19	59.1^{ab} ± 0.12
HOR8887	Non-Fer	8.5^{a} ± 0.577	5.697^{b-d} ± 0.07	7.3^{ab} ± 0.1	14.06^{ab} ± 0.11	43.6^{de} ± 2.94
HOR8887	Fer-2gr	7.6^{a} ± 0.866	8.05^{a} ± 0.94	8.2^{a} ± 0.4	15.58^{a} ± 0.221	46de ± 1.1
HOR8887	Fer-4gr	6.1^{b} ± 0.583	6.873^{ab}± 0.08	7.7^{ab} ± 0.2	15.58^{a} ± 0.521	40.8^{e} ± 3.93

Fer مخفف Fertilizer/ حروف مشترک یا مشابه نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد

Common or similar letters indicate no significant difference between treatments

ادامه ی جدول۳.

Table 3 Continued.

رقم cultivar	سطوح کود Fertilizer levels	طول پدانکل Peduncle Length (cm)	تعداد دانه در سنبله Number of seeds per spike	وزن صد دانه seeds ۱۰۰Weight (gr)	عملکرد دانه Seed yield (gr/kg)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (gr/kg)
HOR7496	Non-Fer	12.5^{bc} ± 1.08	17.5 ^{c}± 2.37	3.86^{abc} ± 0.12	16.4^{a} ± 0.35	41.4^{a} ± 3.58
HOR7496	Fer-2gr	14.3^{ab} ± 0.87	17.5^{c} ± 0.75	4.26^{a} ± 0.06	13.8^{a} ± 2.19	34.8^{a} ± 2.25
HOR7496	Fer-4gr	13.5^{abc} ± 1.29	23.4^{a} ± 0.64	4.12^{ab} ± 0.09	15.3^{a} ± 0.69	37.4^{a} ± 1.33
HOR9793	Non-Fer	14.5^{ab} ± 0.8	20.2^{abc} ± 1.67	3.304^{c} ± 0.09	17.8^{a} ± 2.71	42.7^{a} ± 3
HOR9793	Fer-2gr	16.1^{a} ± 1.02	22.9^{a} ± 1.62	3.78^{abc} ± 0.2	18.2^{a} ± 1.73	41.3^{a} ± 3.12
HOR9793	Fer-4gr	15.5^{a} ± 0.81	21.4 ^{ab}± 0.64	3.6^{bc} ± 0.17	17.1^{a} ± 0.87	42.5^{a} ± 2.31
HOR8887	Non-Fer	12.06^{bc} ± 0.54	18.5^{bc} ± 0.58	3.84^{abc} ± 0.17	14.9^{a} ± 1.21	37.9^{a} ± 3.81
HOR8887	Fer-2gr	12 ^{bc} ± 0.74	18^{bc} ± 0.76	4.23^{a} ± 0.35	17^{a} ± 1.67	43.8^{a} ± 6.18
HOR8887	Fer-4gr	11.5 ^{c} ± 1.08	20.05^{abc} ± 1.18	4.34^{a} ± 0.33	17.9^{a} ± 1.33	41.8^{a} ± 4.79

Fer مخفف Fertilizer/ حروف مشترک یا مشابه نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد

Common or similar letters indicate no significant difference between treatments

کاه گندم را به‌ترتیب با مقادیر ۱۵/۷ و ۱۶/۵ درصد به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد (Gebremedhin *et al.*, 2015). مطالعات توسط محققین دیگر نشان داد که کاربرد ۳۰ تن در هکتار بیوچار موجب افزایش طول بلال در گیاه ذرت می‌شود، در حالی که بیوچار بر طول سنبله گندم تاثیر معنی داری نداشت (Arif *et al.*, 2012; Gebremedhin *et al.*, 2015).

کاربرد بیوچار ۵ درصد وزنی بر تعداد خوشه گندم در گلدان و تعداد سنبلچه در خوشه اثر مثبتی داشته است (Akhtar *et al.*, 2015). تحقیقات دیگر نشان می‌دهد که افزودن بیوچار به‌صورت جداگانه یا ترکیب با عصاره جلبک دریایی، در مقایسه با گیاهان شاهد تاثیر محرکی بر اکثر خصوصیات مورفولوژیکی و اجزای عملکرد دارد و نشان می‌دهد، کاربرد بیوچار در سطوح

پایین (۲ درصد وزنی) بر رشد و عملکرد گندم، تاثیر مثبتی دارد (Salim, 2016). با بررسی تاثیر سه سطح بیوچار (۰، ۲۵ و ۵۰ تن در هکتار) و سه سطح آبیاری (آبیاری کامل، کمبود آب متوسط و کمبود آب شدید) بر خصوصیات فیزیکی خاک، رشد، عملکرد و کیفیت گوجه‌فرنگی، در پژوهش گلخانه‌ای مشخص شد که افزایش سطح آبیاری و بیوچار می‌تواند خواص فیزیکی خاک و عملکرد گوجه‌فرنگی را به‌طور موثری افزایش دهد، سرعت رشد نیز با در نظر گرفتن پارامترهای رشد (ارتفاع بوته و قطرساقه)، افزایش یافت (Zhang *et al.*, 2020). در پژوهشی دیگر، با ساخت بیوچار از ضایعات آلی (ضایعات میوه وسبزیجات) به‌عنوان کود زیستی و تاثیر آن در دو سطح (۰/۵ و ۱ درصد) بر عملکرد گندم و حاصلخیزی خاک مشخص شد، که رشد و عملکرد گندم با حداکثر غلظت بیوچار بیش‌ترین میزان را داشته است (Aziz *et al.*, 2020).

جدول ۴- نتایج ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد مطالعه در ارقام جو

Table 4 - Results of simple correlation coefficients between studied traits in barley cultivars

صفات Traits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	1																				
2	0.674**	1																			
3	0.418**0.581**	1																			
4	0.382**0.395**0.788**	1																			
5	0.573**0.551**0.501**0.551**	1																			
6	0.605**0.625**0.569**0.522**0.846**	1																			
7	0.491**0.242** 0.29** 0.482**0.726**0.652**	1																			
8	0.481** 0.217* 0.308**0.438**0.685**0.626**0.844**	1																			
9	0.576**0.775**0.588**0.445**0.621**0.656**0.370**0.340**	1																			
10	0.485**0.372**0.389**0.462**0.712**0.734**0.793**0.742**0.474**	1																			
11	0.526**0.397**0.316**0.323**0.488**0.521**0.418**0.431**0.375**0.415**	1																			
12	0.649**0.520**0.535**0.549**0.671**0.737**0.641**0.568**0.519**0.573**0.644**	1																			
13	0.668**0.568**0.567**0.585**0.681**0.743**0.622**0.559**0.585**0.541**0.645**0.969**	1																			
14	0.428**0.467**0.612**0.700**0.760**0.741**0.614**0.578**0.587**0.699**0.368**0.507** 0.52**	1																			
15	0.650**0.526**0.500**0.506**0.703**0.783**0.692**0.617**0.509**0.637**0.612**0.975**0.933**0.525**	1																			
16	0.560**0.667**0.688**0.695**0.792**0.857**0.610**0.579**0.716**0.669**0.502**0.725**0.773**0.875**0.730**	1																			
17	0.537**0.703**0.706**0.655**0.753**0.846** 0.51** 0.497**0.732**0.610**0.481**0.684**0.735**0.847**0.689**0.989**	1																			
18	0.270**0.669**0.582**0.308**0.407**0.545**0.028ns 0.106ns 0.586** 0.214* 0.261**0.298**0.394**0.472**0.303**0.672**0.751**	1																			
19	0.559**0.667**0.691**0.696**0.789**0.857**0.606**0.577**0.714**0.664**0.502**0.726**0.774**0.873**0.730**0.999**0.990**0.674**	1																			
20	0.556**0.694**0.696**0.659**0.777**0.864**0.566**0.543**0.727**0.641**0.499**0.711**0.762**0.844**0.718**0.994**0.996**0.728**0.995**	1																			
21	0.565**0.519**0.580**0.728**0.817**0.807**0.801**0.731**0.610**0.755**0.509**0.761**0.796**0.865**0.764**0.934**0.873**0.416**0.932**0.900**	1																			

۱ - تعداد پنجه Number of claws ۲- تعداد پنجه بارور Number of fertile claws ۳- طول برگ پرچم Flag leaf length ۴- عرض برگ پرچم flag leaf width ۵- طول سنبله Spike Length ۶- طول ریشک Awn Length ۷- ارتفاع بوته Plant Height ۸- طول پدانکل Peduncle Length ۹- تعداد سنبله Number of Spikes ۱۰- تعداد دانه در سنبله Number of seeds per spike ۱۱- تعداد دانه در بوته Number of seeds per Shrub ۱۲- وزن خشک سنبله Spike dry weight ۱۳- وزن خشک گیاه Plant dry weight ۱۴- وزن صد دانه Weight 100 seeds ۱۵- عملکرد دانه Grain yield ۱۶- روز تا جوانه زنی Day to germination ۱۷- روز تا پنجه زنی Day until clawing ۱۸- روز تا ساقه دهی Day to stemming ۱۹- روز تا ظهور برگ پرچم Day until the appearance of the flag leaf ۲۰- روز تا سنبله دهی Day to spike ۲۱- روز تا رسیدگی کامل Day until complete handling

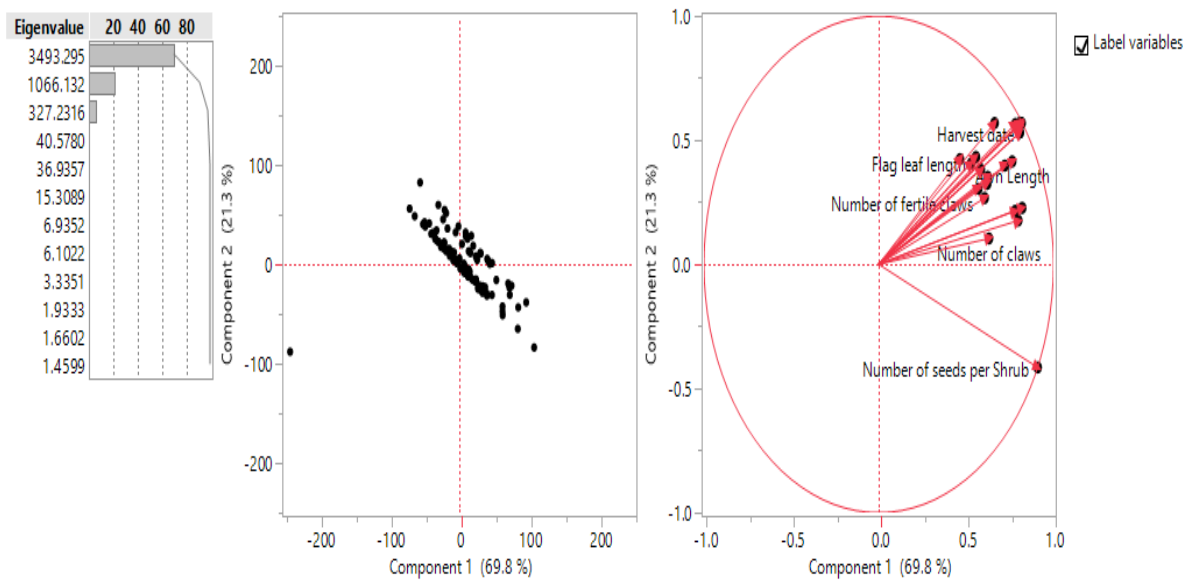
همبستگی بین صفات

بررسی روابط همبستگی بین صفات مورد مطالعه (جدول۴) نشان داد، که بین صفات روز تا ساقه‌دهی با ارتفاع بوته (۰/۰۲۸ns) و روز تا ساقه‌دهی با طول پدانکل (۰/۱۰۶ ns) همبستگی مثبت و غیر معنی‌داری وجود دارد. از طرفی بین صفات طول پدانکل با تعداد پنجه بارور (۰/۲۱۷*) و هم‌چنین روز تا ساقه‌دهی با تعداد دانه در سنبله (۰/۲۱۴*) همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد مشاهده شد. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین سایر صفات مشاهده گردید؛ وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه با وزن صد دانه نیز توسط دیگران نیز گزارش شده است (Kamali and Sharifi, 2010; Tawakoli, 2012).

جدول ۵- نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی برای صفات مورد بررسی

Table 5- The results of decomposition into principal components for the investigated traits

صفات Traits	مولفه اول First component	مولفه دوم Second component
تعداد پنجه Number of claws	0.034	0.01
تعداد پنجه بارور Number of fertile claws	0.019	0.018
طول برگ پرچم Flag leaf length	0.017	0.023
عرض برگ پرچم flag leaf width	0.001	0.001
طول سنبله Spike Length	0.021	0.021
طول ریشک Awn Length	0.041	0.041
ارتفاع بوته Plant Height	0.129	0.122
طول پدانکل Peduncle Length	0.036	0.029
تعداد سنبله Number of Spikes	0.016	0.020
تعداد دانه در سنبله Number of seeds per spike	0.054	0.055
تعداد دانه در بوته Number of seeds per Shrub	0.767	-0.634
وزن خشک سنبله Spike dry weight	0.072	0.029
وزن خشک گیاه Plant dry weight	0.134	0.067
وزن صد دانه Weight 100 seeds	0.009	0.015
وزن کل دانه‌ها Total weight of seeds	0.054	0.027
روز تا جوانه زنی Day to germination	0.035	0.044
روز تا سبز شدن Day until green	0.042	0.054
روز تا پنجه زنی Day until clawing	0.074	0.097
روز تا ساقه دهی Day to stemming	0.142	0.235
روز تا ظهور برگ پرچم Day until the appearance of the flag leaf	0.263	0.335
روز تا سنبله دهی Day to spike	0.297	0.377
روز تا رسیدگی کامل Day until complete handling	0.404	0.481
مقادیر ویژه Eigenvalues	3493.2	1066.1
درصد واریانس نسبی Relative variance percentage	69.8	21.3
درصد واریانس تجمعی Cumulative variance percentage	69.8	91.1

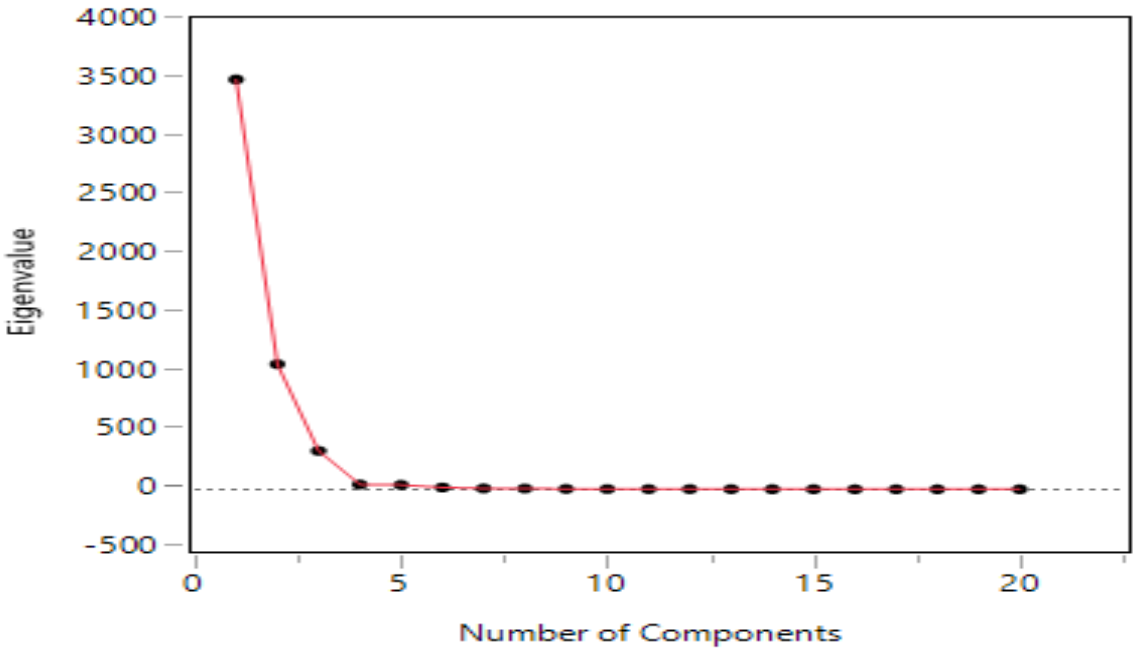


شکل ۱- نمایش بای پلات صفات مورد بررسی بر اساس اولین و دومین مولفه اصلی

Figure 1- Biplot display of investigated traits based on the first and second principal components

بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین صفات فنولوژیکی مشاهده شد. در بین صفات مورفولوژیکی نیز بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌داری به‌ترتیب بین عملکرد دانه با وزن خشک سنبله (۰/۹۷۵**)، وزن خشک سنبله با وزن خشک بوته (۰/۹۶۹**)، وزن خشک بوته با عملکرد دانه (۰/۹۳۳**) مشاهده شد که مطالعات محققین دیگر نیز گزارش مشابهی ارائه نمودند (Guarda *et al.*, 2004; Frederick *et al.*, 1995; Samarah, 2005).

هم‌چنین همبستگی مثبت و معنی‌دار بین تعداد دانه در سنبله با ارتفاع بوته مشاهده شد (Moshfeghi *et al.*, 2014).



شکل ۲- نمودار اسکری پلات حاصل از تجزیه به مولفه‌های اصلی صفات مورد بررسی

Figure 2- The scree plot diagram resulting from the analysis of the main components of the studied traits

تجزیه به مولفه‌های اصلی (Principal Components Analysis (PCA)) برای صفات مورد بررسی

تجزیه به مولفه‌های اصلی روشی برای کاهش حجم داده‌ها و توجیه تغییرات کل داده‌ها می‌باشد. تجزیه به مولفه‌های اصلی نشان داد که مولفه اول (۶۹/۸) و مولفه دوم (۲۱/۳) در مجموع ۹۱/۱ درصد از تغییرات کل متغیرها را توجیه می‌نمایند که صفاتی همچون تعداد دانه در بوته و روز تا رسیدگی در مولفه اول بیشترین ضریب عاملی مثبت را دارا بودند، در حالی‌که به استثنای تعداد دانه در بوته، بقیه صفات برای مولفه دوم ضریب عاملی مثبت داشتند (جدول ۵، شکل ۱ و ۲).

نتیجه‌گیری کلی

اگرچه استفاده از کود در خاک‌های فقیر جهت افزایش حاصلخیزی خاک و رشد بهینه گیاهان امری ضروری است، اما در سال‌های اخیر استفاده از کودهای شیمیایی باعث آسیب‌های زیست‌محیطی فراوانی شده است که در حال حاضر یکی از راه‌های شناخته شده برای به حداقل رساندن مصرف کودهای شیمیایی، بهبود حاصلخیزی خاک، مقابله با کم آبی و به‌منظور تولید محصول با کیفیت و کمیت بالا استفاده از منابع ایمن مانند کودهای زیستی و ترکیبات اصلاحگر خاک از جمله بیوچار است. بدین منظور در تحقیق حاضر برای نخستین بار از بیوچار شیمیایی سولفونات آسفالت طبیعی پتاسیم استفاده شد و تاثیر آن بر برخی صفات مورفولوژیکی ارقام جو بررسی گردید. نتایج کلی این تحقیق نشان داد که استفاده از بیوچار شیمیایی سولفونات آسفالت طبیعی پتاسیم به‌عنوان اصلاح کننده خاک؛ در سطوح دو و چهار گرم بر کیلوگرم بر برخی صفات مورفولوژیکی از قبیل طول برگ پرچم، طول سنبله، طول ریشک، تعداد دانه در سنبله و وزن صد دانه تاثیر معنی‌دار و بر روی سایر صفات مورفولوژیکی و عملکردی تاثیر غیر معنی‌داری نشان داد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به صفات مورفولوژیکی نیز نشان داد؛ بین ارقام جو، برای صفات تعداد پنجه بارور، طول برگ پرچم، طول ریشک، ارتفاع بوته، طول پدانکل و وزن صد دانه تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد. با توجه به منابع مختلفی که به‌عنوان بیوچار مورد استفاده قرار گرفته و تاثیر مثبت بر افزایش تولید و پارامترهای رشد گیاهان دارند؛ اما بیوچار شیمیایی آسفالت طبیعی پتاسیم که یک منبع طبیعی و فراوان در غرب کشور است، می‌تواند گزینه مناسبی برای اصلاح خاک‌ها و استفاده در مزارع، باغ‌ها و نواحی جنگل‌کاری بادش که نقش موثری در اصلاح خاک دارد، باشد. که به‌منظور دستیابی به نتایج بهتر در پژوهش‌های آتی می‌توان غلظت‌های بالاتر این نوع بیوچار را در کنار کودهای معدنی و آلی در دسترس کشاورزان بر صفات مورفولوژیکی و عملکردی سایر گیاهان به اجرا گذاشت.

References

Abbaspour, F., Asghari, H.R., Rezvani Moghaddam, P., Abbasdokht, H., Shabahang, J. and Baig Babaei, A., 2019. Effects of biochar on soil fertility and water use efficiency of black seed (*Nigella sativa* L.) under water stress conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *17*(1), pp.39–52. https://doi.org/10.22067/gsc.v17i1.63344

Afrashteh, M. and Koolivand, D., 2021. The effect of biochar on increasing plant resistance to pathogens. *Journal of Biosafety*, *14*(2), pp.17–30. https://doi.org/20.1001.1.27170632.1400.14.2.2.1

Akhtar, S.S., Andersen, M.N. and Liu, F.L., 2015. Biochar mitigates salinity stress in potato. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *201*, pp.368–378. https://doi.org/10.1111/jac.12132

Alburquerque, J.A., Salazar, P., Barron, V., Torrent, J., del Campillo, M.D., Gallardo, A. and Villar, R., 2013. Enhanced wheat yield by biochar addition under different mineral fertilization levels. *Agronomy for Sustainable Development*, *33*, pp.475–484. https://doi.org/10.1007/s13593-012-0128-3

Arif, M., Ali, A., Umair, M., Munsif, F., Ali, K., Inamullah, M.S. and Ayub, G., 2012. Effect of biochar FYM and mineral nitrogen alone and in combination on yield and yield components of maize. *Sarhad Journal of Agriculture*, *28*, pp.191–195. https://doi.org/10.3390/agronomy13010113

Aziz, S., Yaseen, L., Jamal, A., Farooq, U., Qureshi, Z., Tauseef, I. and Ali, M. I., 2020. Fabrication of biochar from organic wastes and its effect on wheat growth and soil microflora. *Polish Journal of Environmental Studies*, *29*(2). https://doi.org/10.15244/pjoes/99825

El-Esawi, M.A., Alaraidh, I.A., Alsahli, A.A., Ali, H.M., Alayafi, A.A., Witczak, J. and Ahmad, M., 2018. Genetic variation and alleviation of salinity stress in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Molecules*, *23*(10), 2488. https://doi.org/10.3390/molecules23102488

Falah, S., Soleiman-Beigi, M. and Kohzadi, H., 2020. Potassium natural asphalt sulfonate (K-NAS): Synthesis and characterization as a new recyclable solid basic nanocatalyst and its application in the formation of carbon-carbon bonds. *Applied Organometallic Chemistry*, *34*(10), e5840. https://doi.org/10.1002/aoc.5840

Frederick, J.R. and Comberato, J.J., 1995. Water and nitrogen effects on winter wheat in south eastern coastal plain: Physiological responses. *Agronomy Journal*, *87*, pp.527–533. https://doi.org/10.2134/agronj1995.00021962008700030021x

Gebremedhin, G.H., Haileselassie, B., Berhe, D. and Belay, T., 2015. Effect of biochar on yield and yield components of wheat and post-harvest soil properties in Tigray, Ethiopia. *Journal of Fertilizers and Pesticides*, *6*, pp.1–4. https://doi.org/10.4172/jbfbp.1000158

Ghadirnezhad Shiade, S.R., Fathi, A., Minkina, T., Wong, M.H. and Rajput, V.D., 2024. Biochar application in agroecosystems: A review of potential benefits and limitations. *Environment, Development and Sustainability*, *26*, pp.19231–19255. https://doi.org/10.1007/s10668-023-03470-z

Guarda, G., Padovan, S. and Delogu, G., 2004. Grain yield, nitrogen use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread-wheat cultivars grown at different nitrogen levels. *European Journal of Agronomy*, *21*, pp.181–192. https://doi.org/10.1016/j.eja.2003.08.001

Hafez, Y., Attia, K., Alamery, S., Ghazy, A., Al-Doss, A., Ibrahim, E. and Abdelaal, K., 2020. Beneficial effects of biochar and chitosan on antioxidative capacity, osmolytes accumulation, and anatomical characters of water-stressed barley plants. *Agronomy*, *10*(5), 630. https://doi.org/10.3390/agronomy10050630

Hossain, A., Krupnik, T.J., Timsina, J., Mahboob, M.G., Chaki, A.K., Farooq, M. and Hasanuzzaman, M., 2020. Agricultural land degradation: Processes and problems undermining future food security. In *Environment, Climate, Plant and Vegetation Growth* (pp. 17–61). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49732-3_2

Kamali, M.J. and Sharifi, H.R., 2010. Variation in developmental stages and its relationships with yield and yield components of bread wheat cultivars under field conditions: II–Yield and its components. *Seed and Plant Production Journal*, *26*(1), pp.1–23. https://doi.org/10.22092/sppj.2017.110391

Khashei, A., Shahidi, A., Yaghoobzadeh, M. and Dastourani, M., 2019. Effect of biochar application and water tension levels on yield and yield components of medicinal plant (*Trachyspermum ammi*). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, *13*(2), pp.319–328.

Li, Z., Qi, X., Fan, X., Wu, H., Du, Z., Li, P. and Lü, M., 2015. Influences of biochars on growth, yield, water use efficiency and root morphology of winter wheat. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, *31*(12), pp.119–124.

Moshfeghi, N., Khazaei, H.R. and Kafi, M., 2014. The study of morphological characteristics of old and new barely cultivars. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *12*(4), pp.641–648. https://doi.org/10.22067/gsc.v12i4.45147

Mukherje, A., Lal, R. and Zimmerman, A.R., 2014. Effects of biochar and other amendments on the physical properties and greenhouse gas emissions of an artificially degraded soil. *Science of the Total Environment*, *487*, pp.26–36. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.03.141

Rajkovich, S., Enders, A., Hanley, K., Hyland, C., Zimmerman, A. R. and 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*(3), pp.271–284. https://doi.org/10.1007/s00374-011-0624-7

Saadatian, B., Ahmadvand, G., Soleymani, F. and Vejdani Aram, S., 2014. Evaluation of wheat residual effects in rotation on emergence, leaf area, and yield components of corn (*Zea mays* L.) cultivars. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *12*(1), pp.91–98. https://doi.org/10.22067/gsc.v12i1.36645

Salim, B.B.M., 2016. Influence of biochar and seaweed extract applications on growth, yield and mineral composition of wheat (*Triticum aestivum* L.) under sandy soil conditions. *Annals of Agricultural Sciences*, *61*(2), pp.257–265. https://doi.org/10.1016/j.aoas.2016.06.001

Samarah, N.H., 2005. Effect of drought stress on growth and yield of barley. *Agronomy for Sustainable Development*, *25*, pp.145–149. https://doi.org/10.1051/agro:2004064

Singh, B. and Smider, B., 2014. Agronomic performance of a high ash biochar in two contrasting soils. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *191*, pp.99–107. https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.01.024

Tawakoli, A., 2012. Examining correlation coefficients of traits, causality analysis and drought tolerance indices in wheat. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *10*(3), pp.198–206. https://doi.org/10.22067/gsc.v10i1.14506

Yaghoby, M., Amerian, M. and Asghar, H., 2014. Comparison of the effect of biological and biofertilized fertilizers on some physiological traits in bean growing. In *The 2nd National Conference of the Desert with the Approach of the Management of Arid and Desert Areas*. Semnan University.

Zhang, C., Li, X., Yan, H., Ullah, I., Zuo, Z., Li, L. and Yu, J., 2020. Effects of irrigation quantity and biochar on soil physical properties, growth characteristics, yield and quality of greenhouse tomato. *Agricultural Water Management*, *241*, 106263. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106263