



## The Effect of Various Biochar and Chemical Fertilizers on Growth and Nutrient Concentrations of Sugarcane

Mehrdad Ranjbar<sup>1✉</sup> | Fardin Sadegh-Zadeh<sup>2</sup> | Mostafa Emadi<sup>3</sup> |  
Mehdi Ghajar Sepanlou<sup>4</sup> | Abdolghafour Ahmadpour Dashliboroun<sup>5</sup>

1. Corresponding Author, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: [m.ranjbar@stu.sanru.ac.ir](mailto:m.ranjbar@stu.sanru.ac.ir)
2. Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: [fardin.upm@gmail.com](mailto:fardin.upm@gmail.com)
3. Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: [mostafaemadi@gmail.com](mailto:mostafaemadi@gmail.com)
4. Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. E-mail: [sepanlu@yahoo.com](mailto:sepanlu@yahoo.com)
5. Former M.Sc. Student, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: [gh.ahmadpour@yahoo.com](mailto:gh.ahmadpour@yahoo.com)

### Article Info

#### Article type:

Research Article

#### Article history:

Received: 01 December 2021

Received in revised form:  
25 May 2022

Accepted: 13 June 2022

Published online:

17 December 2022

#### Keywords:

Dry weight,  
nitrogen,  
rice husk,  
rice straw,  
sugarcane bagasse.

### ABSTRACT

In order to investigate the effect of different biochar and chemical fertilizers on growth and nutrient concentrations of sugarcane, a factorial layout has been conducted based on a randomized complete block design with three replications in the greenhouse of Imam Khomeini Agro-Industrial Company in Khuzestan during 2020. The experimental factors include biochar types (sugarcane bagasse, rice husk, rice straw, wheat straw and wood chips) and Chemical fertilizers ((control), (Nitrogen, Phosphorus and Potassium), (Nitrogen and Phosphorus), (Nitrogen and Potassium), (Phosphorus and Potassium), (Nitrogen), (Phosphorus), (Potassium)). The effect of interaction between biochar and chemical fertilizer treatments on the concentration of silicon, phosphorus and potassium of the plant has been significant at one percent and on the concentration of plant nitrogen at five percent. Also, the effect of interaction between biochar and chemical fertilizer treatments on fresh and dry weight of the plant has been significant at one percent and on plant height at five percent. The highest concentration of Si has been gained from the treatments of mixture of rice straw biochar and nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer, mixture of rice straw biochar and nitrogen and phosphorus fertilizer. Compared to the control, the treatments of mixture of rice straw biochar and nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizer have had the highest concentration of nitrogen and phosphorus in the plant, increasing the concentration of nitrogen and phosphorus by 49% and 36%, respectively. The highest height and fresh weight of the plant are related to the treatments of mixture of rice straw biochar and nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer. According to the results, the application of biochar and chemical fertilizers mixture is recommended to increase the growth and nutrient concentrations of sugarcane.

**Cite this article:** Ranjbar, M., Sadegh-Zadeh, F., Emadi, M., Ghajar Sepanlou, M., & Ahmadpour Dashliboroun, A. (2022). The Effect of Various Biochar and Chemical Fertilizers on Growth and Nutrient Concentrations of Sugarcane. *Journal of Crops Improvement*, 24 (4), 1233-1246. DOI: <http://doi.org/10.22059/jci.2022.334893.2646>





## تأثیر کاربرد انواع بیوچار و کود شیمیایی بر رشد و غلظت عناصر غذایی نیشکر

مهرداد رنجبر<sup>۱</sup> | فردین صادق زاده<sup>۲</sup> | مصطفی عمادی<sup>۳</sup> | مهدی قاجار سپانلو<sup>۴</sup> | عبدالغفور احمدپور داشلی برون<sup>۵</sup>

۱. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: [m.ranjbar@stu.sanru.ac.ir](mailto:m.ranjbar@stu.sanru.ac.ir)
۲. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: [fardin.upm@gmail.com](mailto:fardin.upm@gmail.com)
۳. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: [mostafaemadi@gmail.com](mailto:mostafaemadi@gmail.com)
۴. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: [sepanlu@yahoo.com](mailto:sepanlu@yahoo.com)
۵. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: [gh.ahmadpoor@yahoo.com](mailto:gh.ahmadpoor@yahoo.com)

### اطلاعات مقاله

### چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۱۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۳/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۹/۲۶

### کلیدواژه‌ها:

باگاس نیشکر،

پوسته برنج،

کاه برنج،

نیتروژن،

وزن خشک.

به منظور بررسی تأثیر کاربرد انواع بیوچار و کود شیمیایی بر رشد، غلظت سیلیسیم و برخی عناصر غذایی ضروری نیشکر، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه شرکت کشت و صنعت امام خمینی (ره) خوزستان در سال زراعی ۱۳۹۹ انجام شد. عوامل آزمایشی شامل انواع بیوچار (باگاس نیشکر، پوسته برنج، کاه برنج، کاه گندم و چوب نراد) و کودهای شیمیایی ((شاهد)، (نیتروژن، فسفر و پتاسیم)، (نیتروژن و فسفر)، (نیتروژن و پتاسیم)، (فسفر و پتاسیم)، (نیتروژن)، (فسفر)، (پتاسیم)) بود. نتایج نشان داد که اثر برهم کنش تیمارهای بیوچار و کود شیمیایی بر غلظت سیلیسیم، فسفر و پتاسیم گیاه در سطح یک درصد و بر نیتروژن گیاه در سطح پنج درصد معنی دار بود. هم چنین اثر برهم کنش تیمارهای بیوچار و کود شیمیایی بر وزن تر و خشک گیاه در سطح یک درصد و بر ارتفاع گیاه در سطح پنج درصد معنی دار شد. بیشترین غلظت سیلیسیم گیاه مربوط به تیمارهای بیوچار کاه برنج به همراه نیتروژن، فسفر و پتاسیم و بیوچار کاه برنج به همراه نیتروژن و فسفر بود. تیمار بیوچار کاه برنج به همراه نیتروژن، فسفر و پتاسیم بیشترین غلظت نیتروژن و فسفر گیاه را به خود اختصاص داد که نسبت به شاهد غلظت نیتروژن را ۴۹ و غلظت فسفر را ۳۶ درصد افزایش داد. بیشترین ارتفاع و وزن تر گیاه مربوط به تیمار بیوچار کاه برنج به همراه نیتروژن، فسفر و پتاسیم بود. با توجه به نتایج به دست آمده، استفاده از بیوچار به همراه کودهای شیمیایی برای افزایش رشد و غلظت برخی عناصر غذایی نیشکر توصیه می شود.

استناد: رنجبر، م.، صادق زاده، ف.، عمادی، م.، قاجار سپانلو، م. و احمدپور داشلی برون، ع (۱۴۰۱). تأثیر کاربرد انواع بیوچار و کود شیمیایی بر رشد و غلظت عناصر غذایی نیشکر. به زراعی کشاورزی، ۲۴ (۴)، ۱۲۳۳-۱۲۴۶. DOI: <http://doi.org/10.22059/jci.2022.334893.2646>



## ۱. مقدمه

امروزه کاربرد گسترده کودهای شیمیایی در زمینه کشاورزی برای افزایش تولید محصولات کشاورزی به یک مشکل نگران‌کننده تبدیل شده است (Tanure et al., 2019). از طرفی کشت متراکم محصولات، سبب تخلیه عناصر غذایی خاک می‌شود که برای رشد گیاهان موردنیاز است (Faucon et al., 2015). بنابراین استفاده از بیوچار می‌تواند یک روش علمی برای کاهش استفاده از کودهای شیمیایی در تولید محصولات کشاورزی باشد (Wu et al., 2019). بیوچار ماده‌ای غنی از کربن است که از گرماکافت (Pyrolysis) زیست‌توده‌های آلی در محیط بدون اکسیژن و یا دارای اکسیژن محدود، در ماه‌های مختلف تولید می‌شود. کربن بیوچار در خاک پایداری بسیار بالایی داشته و کاربرد بیوچار در ترسیب کربن در خاک بسیار مؤثر است (Wang et al., 2016). بیوچار به‌طور قابل توجهی جذب و انتقال عناصر غذایی در گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Wu et al., 2019). بیوچار، زیست‌فراهمی تعداد زیادی از عناصر غذایی ضروری برای رشد گیاه را افزایش می‌دهد (Zhang et al., 2021). این افزایش زیست‌فراهمی عناصر غذایی به دلیل ظرفیت تبادل کاتیونی بالای بیوچار می‌باشد (Carrier et al., 2012). بیوچار از طریق بهبود ویژگی‌های خاک (مواد آلی، ظرفیت نگهداری آب) و افزایش غلظت عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف، سبب افزایش رشد گیاه می‌شود (You et al., 2021).

بیوچار تهیه‌شده از ضایعات کشاورزی مانند کاه برنج، کاه گندم، پوسته آن‌ها و باگاس نیشکر حاوی مقادیر زیادی سیلیسیم قابل دسترس می‌باشد (Wang et al., 2018). گزارش شده است که بیوچار سبب افزایش سیلیسیم قابل دسترس گیاه شد (Abbas et al., 2017). کاربرد بیوچار سبب افزایش سیلیسیم برگ و در نتیجه رشد بیش‌تر گیاه شد (Alvarez-Campos et al., 2018). بیوچار سبب تثبیت کربن آلی خاک و افزایش کارایی استفاده از کود شیمیایی نیتروژن در سیستم‌های کشت نیشکر می‌شود (Weng et al., 2020). کاربرد بیوچار به‌همراه اوره سبب کاهش آبشویی نیتروژن و افزایش رشد گیاه شد (Shi et al., 2020). بیوچار می‌تواند مقدار فسفر خود را از طریق جذب فسفر به دلیل ساختار متخلخل افزایش داده و این فسفر موجود در بیوچار به آرامی در خاک آزاد شود (Zwetsloot et al., 2016). بیوچار به‌عنوان یک منبع فسفر می‌تواند فسفر قابل دسترس و رشد گیاه را افزایش دهد (Manolikaki et al., 2016). در یک پژوهش، افزودن بیوچار به خاک به‌طور قابل توجهی غلظت پتاسیم گیاه را افزایش داد (Jaborova et al., 2020). استفاده از بیوچار در مزرعه به‌طور معنی‌داری غلظت فسفر قابل جذب و پتاسیم قابل جذب در گیاه را به‌ترتیب تا دو برابر و ۴۳/۱۵ درصد افزایش داد (Mahmoud-Soltani & Abbasian, 2021).

نیشکر یک محصول مهم اقتصادی است که در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری کشت می‌شود (Varma et al., 2018). در ایران، نیشکر از دیرباز برای تولید شکر و محصولات جانبی در استان خوزستان کشت می‌شود (Mansouri et al., 2019). کاربرد بیوچار رشد و عملکرد محصولات مختلف را افزایش داد (Nobile et al., 2020). کاربرد بیوچار سبب افزایش عملکرد زیست‌توده نیشکر در مقایسه با شاهد شد (Alvarez-Campos et al., 2018). بیوچار با افزایش حاصلخیزی خاک سبب بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه و در نهایت افزایش رشد گیاه شد (Jaborova et al., 2020).

تاکنون تأثیر انواع مختلف بیوچار به‌همراه کود شیمیایی بر غلظت سیلیسیم و سایر عناصر غذایی ضروری و رشد گیاه در مزارع نیشکر که سیستم تک‌کشتی و متراکمی دارند، بررسی نشده است. لذا هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر کاربرد انواع مختلف بیوچار و کود شیمیایی بر رشد، غلظت سیلیسیم و برخی عناصر غذایی ضروری نیشکر بود.

## ۲. مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل، با دو فاکتور بیوجار و کود شیمیایی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه شرکت کشت و صنعت نیشکر امام خمینی (ره) خوزستان (طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۷۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۹۲ دقیقه شمالی) در سال زراعی ۱۳۹۹ اجرا شد. بیوجارهای مورد استفاده شامل باگاس نیشکر، پوسته برنج، کاه برنج، کاه گندم و چوب نراد بودند که گرماکافت (Pyrolysis) آن‌ها در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و به‌مدت سه ساعت در کوره مخصوص ساخت بیوجار انجام شد. پس از تهیه بیوجارها، ویژگی‌های آن‌ها شامل pH، هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی و غلظت عناصر غذایی قابل‌دسترس (سیلیسیم، نیتروژن، فسفر و پتاسیم) با استفاده از روش ASTM D5142 اندازه‌گیری شد (D5142, 2009). غلظت عناصر آهن، منگنز، مس و روی قابل‌دسترس بیوجار به‌روش اکسیدکردن با آب اکسیژنه و با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Varian SpectraAA-10, Australia) اندازه‌گیری شد (Lindsay & Norvell, 1978). تیمارها به شرح جدول (۱) می‌باشد.

جدول ۱. تیمارهای آزمایش

شاهد	بیوجار پوسته برنج	بیوجار کاه گندم
NPK	بیوجار پوسته برنج + NPK	بیوجار کاه گندم + NPK
NP	بیوجار پوسته برنج + NP	بیوجار کاه گندم + NP
NK	بیوجار پوسته برنج + NK	بیوجار کاه گندم + NK
PK	بیوجار پوسته برنج + PK	بیوجار کاه گندم + PK
N	بیوجار پوسته برنج + N	بیوجار کاه گندم + N
P	بیوجار پوسته برنج + P	بیوجار کاه گندم + P
K	بیوجار پوسته برنج + K	بیوجار کاه گندم + K
بیوجار باگاس نیشکر	بیوجار کاه برنج	بیوجار چوب نراد
بیوجار باگاس نیشکر + NPK	بیوجار کاه برنج + NPK	بیوجار چوب نراد + NPK
بیوجار باگاس نیشکر + NP	بیوجار کاه برنج + NP	بیوجار چوب نراد + NP
بیوجار باگاس نیشکر + NK	بیوجار کاه برنج + NK	بیوجار چوب نراد + NK
بیوجار باگاس نیشکر + PK	بیوجار کاه برنج + PK	بیوجار چوب نراد + PK
بیوجار باگاس نیشکر + N	بیوجار کاه برنج + N	بیوجار چوب نراد + N
بیوجار باگاس نیشکر + P	بیوجار کاه برنج + P	بیوجار چوب نراد + P
بیوجار باگاس نیشکر + K	بیوجار کاه برنج + K	بیوجار چوب نراد + K

بیوجار باگاس نیشکر: ب.ب.ن، بیوجار پوسته برنج: ب.ب.ب، بیوجار کاه برنج: ب.ب.ک، بیوجار کاه گندم: ب.ب.گ، بیوجار چوب نراد: ب.ب.چ، N: نیتروژن، P: فسفر، K: پتاسیم.

به تعداد تیمارها (۱۴۴ عدد) گلدان تهیه و سپس ۱۵ کیلوگرم خاک توزین و به داخل هر گلدان منتقل شد. زغال‌های زیستی در سطح یک درصد وزنی مورد استفاده قرار گرفتند و کودهای شیمیایی شامل ۳۵/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم اوره (نیتروژن)، ۶۶/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم دی‌آمونیم‌فسفات (فسفر) و ۵۵/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم سولفات پتاسیم (پتاسیم) بود. در هر گلدان سه عدد قلمه (واريته CP73-321) که هر کدام دارای یک جوانه سالم بود، قرار داده شد و بعد از کاشت آبیاری اول انجام شد. درصد رطوبت ظرفیت مزرعه برای گلدان‌ها با محاسبه میزان رطوبت اشباع خاک تعیین شد (Alizadeh, 2008). سپس برای مراحل بعدی آبیاری به‌صورت وزنی و در رطوبت ۷۵ تا ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه آب به گلدان‌ها اضافه شد. پس از گذشت سه ماه، از اندام هوایی گیاه نمونه‌برداری و غلظت سیلیسیم به‌روش هضم با اتوکلاو (Elliott & Snyder, 1991)، نیتروژن کل به‌روش هضم کج‌لدال (Nelson & Sommers, 1980)، فسفر به‌روش رنگ‌سنجی (Olsen & Sommers, 1982) و پتاسیم پس از هضم با اسید کلریدریک با فلیم فتومتر (Sherwood

410, UK) قرائت شد (Chapman & Pratt, 1961). همچنین با استفاده از متر فلزی ارتفاع گیاه اندازه‌گیری شد و با استفاده از ترازو، وزن خشک گیاه اندازه‌گیری شد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک و زغال‌های زیستی در جدول‌های (۲) و (۳) آمده است. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Statistix-8 (نسخه ۸) و میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

جدول ۲. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

ویژگی	واحد	مقدار	ویژگی	واحد	مقدار
pH	-	۷/۶	سیلیسیم قابل‌دسترس	(mg kg <sup>-1</sup> )	۳۲/۵
هدایت الکتریکی	(dS m <sup>-1</sup> )	۳/۸	آهن قابل‌دسترس	(mg kg <sup>-1</sup> )	۵/۸
کربن آلی	(%)	۰/۵۹	منگنز قابل‌دسترس	(mg kg <sup>-1</sup> )	۴/۴۳
کربنات کلسیم	(%)	۲۴/۶۳	مس قابل‌دسترس	(mg kg <sup>-1</sup> )	۰/۸
ظرفیت تبادل کاتیونی	(cmolc kg <sup>-1</sup> )	۱۳/۵۴	روی قابل‌دسترس	(mg kg <sup>-1</sup> )	۰/۴۷
نیترژن کل	(%)	۰/۰۵	شن	(%)	۲۰
فسفر قابل‌دسترس	(mg kg <sup>-1</sup> )	۱۲	سیلت	(%)	۵۲
پتاسیم قابل‌دسترس	(mg kg <sup>-1</sup> )	۱۸۲	رس	(%)	۲۸

جدول ۳. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوجارهای مورد استفاده

ویژگی	واحد	بیوجار باگاس نیشکر	بیوجار پوسته برنج	بیوجار کاه برنج	بیوجار کاه گندم	بیوجار چوب نراد
pH	-	۶/۶	۷/۳	۷/۵	۷/۴	۶/۸
هدایت الکتریکی	(dS m <sup>-1</sup> )	۰/۸	۱/۱	۲	۱/۵	۰/۶
ظرفیت تبادل کاتیونی	(cmolc kg <sup>-1</sup> )	۸۷/۶۵	۵۴/۷۸	۶۹/۲۳	۴۵/۶۲	۳۱/۲۱
نیترژن کل	(%)	۰/۸۵	۰/۵	۱/۱	۰/۶۳	۰/۳۳
فسفر قابل‌دسترس	(mg kg <sup>-1</sup> )	۴۹۹/۷	۴۶۷/۳	۵۱۱/۶	۳۳۰/۵	۲۹۸/۱
پتاسیم قابل‌دسترس	(mg g <sup>-1</sup> )	۵/۰۲۸	۸/۲۳	۱۱/۲۴۳	۱۰/۰۳۵	۲/۲۲۱
سیلیسیم قابل‌دسترس	(mg g <sup>-1</sup> )	۱/۷۵۳	۲/۰۱۵	۲/۳۵۱	۱/۵۶۴	۰/۹۷۵
آهن قابل‌دسترس	(mg kg <sup>-1</sup> )	۴۳۱/۱	۳۷۶/۳	۴۸۵/۲	۳۲۳/۴	۴۱۳/۵
منگنز قابل‌دسترس	(mg kg <sup>-1</sup> )	۸۰/۵	۲۹۵	۳۸۸/۱	۱۵۰/۱	۱۳۳/۱
مس قابل‌دسترس	(mg kg <sup>-1</sup> )	۱۵/۸۱	۱۱/۲۲	۱۲/۰۱	۱۰/۵۳	۹
روی قابل‌دسترس	(mg kg <sup>-1</sup> )	۹۱/۰۲	۳۸/۷۸	۶۲/۳۱	۵۱/۱۲	۸۵/۲۱

### ۳. نتایج و بحث

#### ۳.۱. غلظت سیلیسیم، نیترژن، فسفر و پتاسیم گیاه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد، اثرات متقابل بیوجار و کود شیمیایی بر غلظت سیلیسیم، فسفر و پتاسیم گیاه در سطح یک درصد و بر نیترژن گیاه در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۴).

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر برخی عناصر غذایی اندام‌های هوایی نیشکر

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		سیلیسیم	نیترژن	فسفر	پتاسیم
بیوجار	۵	۰/۶۸۸۸**	۱/۶۵۴۴**	۰/۰۰۴**	۲/۱۱۹۷**
کود شیمیایی	۷	۰/۰۱۰۶**	۰/۰۳۴۵**	۰/۰۰۰۱۶**	۰/۰۳۴۶**
بیوجار × کود شیمیایی	۳۵	۰/۰۰۰۶**	۰/۰۰۱۷*	۰/۰۰۰۰۶۸**	۰/۰۰۱۸**
خطا	۹۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۰۳۵	۰/۰۰۰۰۵
ضریب تغییرات (%)		۱/۶۳	۱/۳۵	۱/۰۴	۱/۸۶

\* و \*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارها بر غلظت سیلیسیم گیاه نشان داد، بیش‌ترین غلظت سیلیسیم گیاه مربوط به تیمارهای بیوچار به‌همراه کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم (ب.ک.ب. + NPK) و بیوچار کاه برنج به‌همراه کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر (ب.ک.ب. + NP) بود که بین این تیمارها و مابقی تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۵). تیمارهای بیوچار به‌تنهایی و به‌همراه کودهای شیمیایی نسبت به شاهد و کودهای شیمیایی سبب افزایش بیش‌تر غلظت سیلیسیم گیاه شدند. در بین تیمارهایی که بیوچار اضافه شد، تیمار بیوچار کاه برنج بیش‌ترین غلظت سیلیسیم گیاه و تیمار بیوچار چوب نراد کم‌ترین غلظت سیلیسیم گیاه را داشتند (جدول ۵). بیوچار سبب افزایش غلظت عناصر غذایی گیاه شد (Nelissen *et al.*, 2014). بیوچار تولیدشده از ضایعات گیاهان تجمع‌کننده سیلیسیم، یک منبع غنی از سیلیسیم است (Abbas *et al.*, 2017). بنابراین با توجه به این موضوع، بیوچار سبب افزایش غلظت سیلیسیم گیاه شد (Limmer *et al.*, 2018). بیوچار به‌دلیل بهبود ویژگی‌های خاک و افزایش سیلیسیم قابل‌دسترس آن، به‌طور قابل‌توجهی جذب سیلیسیم توسط گیاهان را افزایش داد (Wang *et al.*, 2018).

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر تیمارها بر غلظت سیلیسیم اندام‌های هوایی نیشکر

غلظت سیلیسیم گیاه (%)	تیمار	غلظت سیلیسیم گیاه (%)	تیمار	غلظت سیلیسیم گیاه (%)	تیمار
۰/۷۵q	ب.ک.گ	i۰/۹	ب.ب.ب	2۰/۴۴	شاهد
۰/۸۱mn	ب.ک.گ + NPK	defg۰/۹۴	ب.ب.ب + NPK	x۰/۵۶	NPK
۰/۷۹۶no	ب.ک.گ + NP	cde۰/۹۵	ب.ب.ب + NP	xy۰/۵۵	NP
۰/۷۹۰nop	ب.ک.گ + NK	fgh۰/۹۳	ب.ب.ب + NK	yz1۰/۵۳	NK
۰/۷۸op	ب.ک.گ + PK	efg۰/۹۴	ب.ب.ب + PK	yz۰/۵۳	PK
۰/۷۷pq	ب.ک.گ + N	hi۰/۹۱	ب.ب.ب + N	1۰/۵۱	N
۰/۷۶q	ب.ک.گ + P	hi۰/۹۱	ب.ب.ب + P	z1۰/۵۲	P
۰/۷۵q	ب.ک.گ + K	ghi۰/۹۲	ب.ب.ب + K	1۰/۵۱	K
۰/۶۴w	ب.چ.ن	efg۰/۹۴	ب.ک.ب	lm۰/۸۲	ب.ب.ن
۰/۷۱r	ب.چ.ن + NPK	a۱/۰۵	ب.ک.ب + NPK	j۰/۸۶	ب.ب.ن + NPK
۰/۶۹rst	ب.چ.ن + NP	a۱/۰۳	ب.ک.ب + NP	j۰/۸۷	ب.ب.ن + NP
۰/۶۸۶stu	ب.چ.ن + NK	c۰/۹۷	ب.ک.ب + NK	jk۰/۸۵	ب.ب.ن + NK
۰/۷rs	ب.چ.ن + PK	b۰/۹۹	ب.ک.ب + PK	j۰/۸۷	ب.ب.ن + PK
۰/۶۷uv	ب.چ.ن + N	def۰/۹۵	ب.ک.ب + N	kl۰/۸۳۳	ب.ب.ن + N
۰/۶۸۰tu	ب.چ.ن + P	cd۰/۹۶	ب.ک.ب + P	kl۰/۸۳۶	ب.ب.ن + P
۰/۶۵vw	ب.چ.ن + K	def۰/۹۴	ب.ک.ب + K	klm۰/۸۳۰	ب.ب.ن + K

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد می‌باشد.

(ب.ب.ن: بیوچار باگاس نیشکر)، (ب.ب.ب: بیوچار پوسته برنج)، (ب.ک.ب: بیوچار کاه برنج)، (ب.ک.گ: بیوچار کاه گندم)، (ب.چ.ن: بیوچار چوب نراد).

تیمار بیوچار به‌همراه کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم (ب.ک.ب. + NPK)، بیش‌ترین غلظت نیتروژن را به خود اختصاص و نسبت به شاهد سبب افزایش ۴۹ درصدی نیتروژن گیاه شد (جدول ۶). به‌طوری که بین این تیمار و تیمار بیوچار کاه برنج به‌همراه کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر (ب.ک.ب. + NP) اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. بیوچارهای کاه برنج و باگاس نیشکر نسبت به مابقی بیوچارها سبب افزایش بیش‌تر غلظت نیتروژن گیاه شد. تیمارهای بیوچار به‌تنهایی و همراه با کودهای شیمیایی نسبت به تیمارهای شاهد و کود شیمیایی افزایش بیش‌تر غلظت نیتروژن گیاه را نشان دادند (جدول ۶). نتایج پژوهشی نشان داد استفاده از بیوچار جذب نیتروژن توسط گیاه را ۵۸ درصد افزایش داد (Mandal *et al.*, 2019). کاربرد اوره به‌همراه بیوچار سبب کاهش آشبویی نیتروژن و افزایش جذب نیتروژن توسط گیاه شد (Shi *et al.*, 2020). استفاده از بیوچار انتشار گاز آمونیاک از سطح خاک زراعی آهکی را کاهش و نیتروژن را در

دسترس گیاه قرار داد (Mandal *et al.*, 2019). بیوجار سبب افزایش کارایی استفاده از کود شیمیایی نیتروژن در سیستم‌های کشت نیشکر شد (Weng *et al.*, 2020).

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر تیمارها بر غلظت نیتروژن اندام‌های هوایی نیشکر

تیمار	غلظت نیتروژن گیاه (%)	تیمار	غلظت نیتروژن گیاه (%)	تیمار	غلظت نیتروژن گیاه (%)
شاهد	w۲	ب.پ.ب	nop۲/۳۱	ب.ک.گ	۲/۳۹ijkl
NPK	tu۲/۲۱	ب.پ.ب.ب	ijkl۲/۳۹	ب.ک.گ.ب	۲/۴۷h
NP	uv۲/۱۸	ب.پ.ب	jklm۲/۳۷	ب.ک.گ	۲/۴۴hi
NK	tu۲/۲	ب.پ.ب	jklm۲/۳۸	ب.ک.گ	۲/۴۶h
PK	v۲/۱۴	ب.پ.ب	lmno۲/۳۴	ب.ک.گ	۲/۴ij
N	uv۲/۱۷	ب.پ.ب	klmn۲/۳۵	ب.ک.گ	۲/۴۳hij
P	v۲/۱۲۶	ب.پ.ب	nop۲/۳۱	ب.ک.گ	۲/۳۹ijkl
K	v۲/۱۲۶	ب.پ.ب	mno۲/۳۳	ب.ک.گ	۲/۴ijk
ب.ب.ن	g۲/۵۸	ب.ک.ب	c۲/۷۸	ب.چ.ن	۲/۳۴st
ب.ب.ن.ب	d۲/۷۱	ب.ک.ب.ب	a۲/۹۷	ب.چ.ن	۲/۳nopq
ب.ب.ن.ب.ب	de۲/۶۷	ب.ک.ب	ab۲/۹۳	ب.چ.ن	۲/۳۹nopqr
ب.ب.ن.ب.ب.ب	de۲/۶۸	ب.ک.ب	b۲/۹۱	ب.چ.ن	۲/۲۹opqrs
ب.ب.ن.ب.ب.ب.ب	efg۲/۶۳	ب.ک.ب	c۲/۸۳	ب.چ.ن	۲/۲۸pqrst
ب.ب.ن.ب.ب.ب.ب.ب	ef۲/۶۴	ب.ک.ب	b۲/۸۹	ب.چ.ن	۲/۲۸pqrst
ب.ب.ن.ب.ب.ب.ب.ب.ب	fg۲/۵۹	ب.ک.ب	c۲/۸۱	ب.چ.ن	۲/۲۵qrst
ب.ب.ن.ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	g۲/۵۸	ب.ک.ب	c۲/۷۹	ب.چ.ن	۲/۲۴rst

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد می‌باشد.

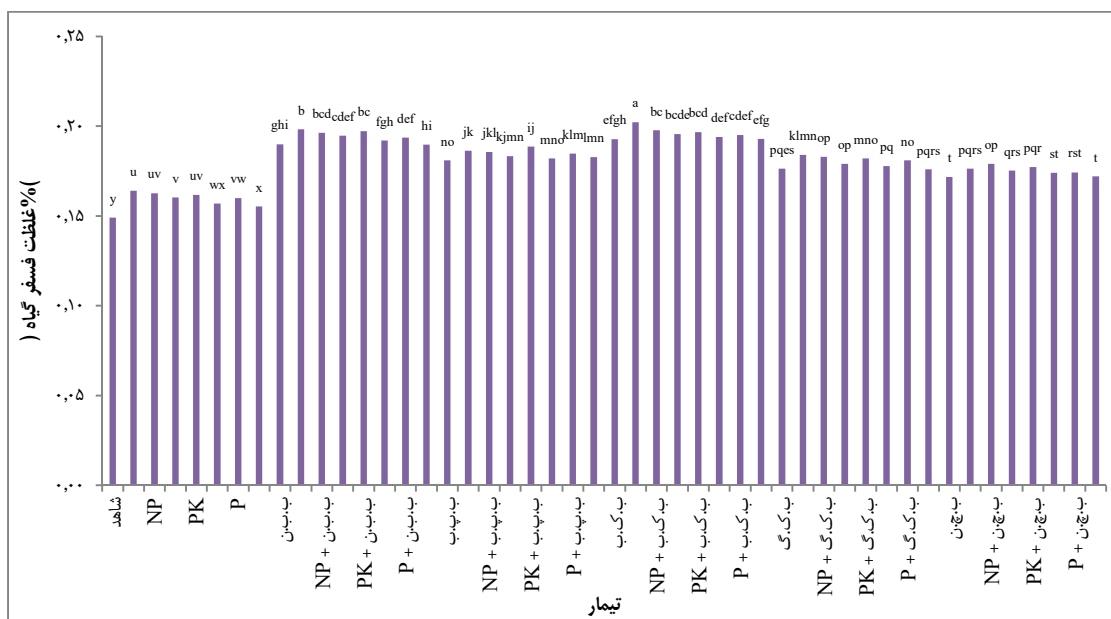
(ب.ب.ن: بیوجار باگاس نیشکر)، (ب.پ.ب: بیوجار پوسته برنج)، (ب.ک.ب: بیوجار کاه برنج)، (ب.ک.گ: بیوجار کاه گندم)، (ب.چ.ن: بیوجار چوب نراد).

بیش‌ترین غلظت فسفر گیاه مربوط به تیمار بیوجار به‌همراه کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم (ب.ک.ب. + NPK) بود که نسبت به شاهد ۳۶ درصد غلظت فسفر گیاه را افزایش داد (شکل ۱). بین این تیمار و تیمارهای دیگر اختلاف معنی‌داری وجود داشت. تیمارهای بیوجار به‌تنهایی و به‌همراه کودهای شیمیایی نسبت به تیمارهای شاهد و کودهای شیمیایی افزایش بیش‌تر غلظت فسفر گیاه را نشان دادند. در بین تیمارهای بیوجار، بیوجارهای کاه برنج و باگاس نیشکر بیش‌ترین غلظت فسفر گیاه و بیوجار چوب نراد کم‌ترین غلظت فسفر گیاه را نسبت به تیمار شاهد داشتند (شکل ۱).

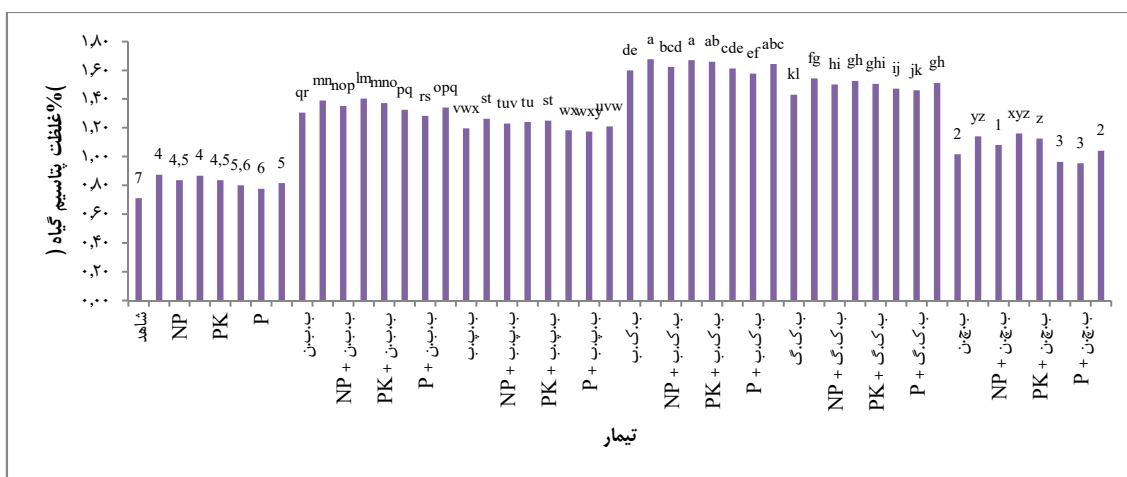
نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارها بر غلظت پتاسیم گیاه نشان داد، تیمارهای بیوجار به‌همراه کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم (ب.ک.ب. + NPK) و بیوجار به‌همراه کودهای شیمیایی نیتروژن و پتاسیم (ب.ک.ب. + NK) بیش‌ترین غلظت پتاسیم گیاه را داشتند (شکل ۲). بین این تیمارها و تیمارهای بیوجار به‌همراه کودهای شیمیایی فسفر و پتاسیم (ب.ک.ب. + PK) و بیوجار به‌همراه کود شیمیایی پتاسیم (ب.ک.ب. + K) اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. تیمارهای بیوجار به‌تنهایی و به‌همراه کودهای شیمیایی نسبت به تیمار شاهد و کودهای شیمیایی سبب افزایش بیش‌تر غلظت پتاسیم گیاه شد. در بین تیمارهایی که بیوجار اضافه شد بیوجارهای کاه برنج و کاه گندم بیش‌ترین و بیوجار چوب نراد کم‌ترین افزایش پتاسیم گیاه را داشتند (شکل ۲).

نتایج پژوهشی نشان داد که بیوجار سبب بهبود تغذیه گیاهان شد (Kavitha *et al.*, 2018). بیوجار با بهبود ویژگی‌های خاک سبب افزایش فسفر و پتاسیم قابل‌دسترس گیاه شد (Yan *et al.*, 2021). بیوجار به‌عنوان یک منبع فسفر، غلظت فسفر گیاه را افزایش داد (Manolikaki *et al.*, 2016). بیوجار (به‌دلیل غنی‌بودن فسفر) با عرضه مستقیم فسفر و یا تغییر ظرفیت تبادل آنیونی سبب افزایش فسفر قابل‌دسترس گیاه شد (Peng *et al.*, 2012). در آزمایش

گلدانی افزودن بیوپچار به خاک، میزان فسفر و پتاسیم در گیاه افزایش یافت (Jabborova *et al.*, 2020). بیوپچار به‌دلیل ساختار متخلخل، چگالی و سطح ویژه بالا، بر غلظت عناصر غذایی قابل‌دسترس گیاه تأثیر گذاشت (Githinji, 2014). گزارش شد استفاده از بیوپچار به‌طور معنی‌داری زیست‌فراهمی و جذب فسفر و پتاسیم را در گیاهان افزایش داد (Chen *et al.*, 2020). نتایج پژوهشی نشان داد که عناصر غذایی محلول ذخیره‌شده در بیوپچار در شرایط کمبود عناصر غذایی، برای جذب گیاه در دسترس بود (Cao *et al.*, 2014).



شکل ۱. تأثیر تیمارها بر غلظت فسفر اندام‌های هوایی نیشکر، حرف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشند. (ب.ب.ن: بیوپچار باگاس نیشکر)، (ب.ب.ب: بیوپچار پوسته برنج)، (ب.ک.ب: بیوپچار کاه برنج)، (ب.ک.گ: بیوپچار کاه گندم)، (ب.ب.چ: بیوپچار چوب نراد)



شکل ۲. تأثیر تیمارها بر غلظت پتاسیم اندام‌های هوایی نیشکر، حرف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار نمی‌باشند.

(ب.ب.ن: بیوپچار باگاس نیشکر)، (ب.ب.ب: بیوپچار پوسته برنج)، (ب.ک.ب: بیوپچار کاه برنج)، (ب.ک.گ: بیوپچار کاه گندم)، (ب.ب.چ: بیوپچار چوب نراد)



## ۲.۳. ارتفاع، وزن تر و وزن خشک گیاه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات متقابل بیوجار و کود شیمیایی بر ارتفاع گیاه در سطح پنج درصد و بر وزن تر و خشک گیاه در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۷).

جدول ۷. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارها بر برخی ویژگی‌های رشد نیشکر

میانگین مربعات		ارتفاع	درجه آزادی	منبع تغییرات
وزن خشک	وزن تر			
۱۹۵/۸**	۲۰۸۸/۲**	۳۶۹/۳**	۵	بیوجار
۹۵/۲**	۱۲۷۶/۱**	۱۶۳/۹**	۷	کود شیمیایی
۳/۴**	۶۹/۳**	۷/۰۲*	۳۵	بیوجار × کود شیمیایی
۱/۲	۳۲/۳	۴/۰۸	۹۴	خطا
۶/۴	۸/۸	۷/۲		ضریب تغییرات (%)

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

با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارها بر ارتفاع گیاه، تیمار بیوجار کاه برنج به همراه کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم (ب.ک.ب. + NPK) بیشترین ارتفاع گیاه را داشت و نسبت به تیمار ۵۰ درصد مقدار آن را افزایش داد (جدول ۸). بین این تیمار و تیمارهای دیگر اختلاف معنی داری وجود داشت. تیمارهایی که بیوجار اضافه شد نسبت به تیمار شاهد و کود شیمیایی ارتفاع گیاه را بیشتر افزایش دادند. در بین تیمارهای بیوجار، بیوجار کاه برنج (ب.ک.ب) بیشترین و بیوجار چوب نراد (ب.ج.ن) کمترین میزان ارتفاع گیاه را نشان دادند (جدول ۸).

جدول ۸. مقایسه میانگین اثر تیمارها بر ارتفاع نیشکر

ارتفاع گیاه (cm)	تیمار	ارتفاع گیاه (cm)	تیمار	ارتفاع گیاه (cm)	تیمار
۲۵/۶klmnopq	ب.ک.گ	۲۵/۶klmnopq	ب.پ.ب	۱۴/۳v	شاهد
۳۴/۶c	ب.ک.گ. + NPK	۲۵bc	ب.پ.ب. + NPK	۲۳/۶opqrs	NPK
۳۰efg	ب.ک.گ. + NP	۳۱/۳def	ب.پ.ب. + NP	۲۳pqrst	NP
۳۳/۳cd	ب.ک.گ. + NK	۲۹/۳efghi	ب.پ.ب. + NK	۲۲/۶qrst	NK
۲۹fghij	ب.ک.گ. + PK	۲۹fghij	ب.پ.ب. + PK	۲۲/۳rst	PK
۲۸/۶fghijk	ب.ک.گ. + N	۲۹fghij	ب.پ.ب. + N	۲۱stu	N
۲۶jklmnop	ب.ک.گ. + P	۲۶/۳ijklmno	ب.پ.ب. + P	۱۸u	P
۲۷ghijklmn	ب.ک.گ. + K	۲۶jklmnop	ب.پ.ب. + K	۲۰tu	K
۲۴nopqrs	ب.ج.ن	۲۸/۳fghijkl	ب.ک.ب	۲۷/۶ghijklm	ب.ب.ن
۲۸/۳fghijkl	ب.ج.ن. + NPK	۳۸/۳a	ب.ک.ب. + NPK	۳۸ab	ب.ب.ن. + NPK
۲۷/۳fghijklm	ب.ج.ن. + NP	۲۹/۶efgh	ب.ک.ب. + NP	۲۹/۳efghi	ب.ب.ن. + NP
۲۷/۳fghijklm	ب.ج.ن. + NK	۳۵bc	ب.ک.ب. + NK	۳۳/۶cd	ب.ب.ن. + NK
۲۵/۳lmnopqr	ب.ج.ن. + PK	۳۴cd	ب.ک.ب. + PK	۲۹fghij	ب.ب.ن. + PK
۲۵mnopqr	ب.ج.ن. + N	۳۲/۳cde	ب.ک.ب. + N	۲۹/۶efgh	ب.ب.ن. + N
۲۴/۶mnopqr	ب.ج.ن. + P	۲۹/۳efghi	ب.ک.ب. + P	۲۶/۶hijklmno	ب.ب.ن. + P
۲۵mnopqr	ب.ج.ن. + K	۲۹/۶efgh	ب.ک.ب. + K	۲۹fghij	ب.ب.ن. + K

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند فاقد اختلاف معنی دار در سطح آماری ۵ درصد می‌باشد.

(ب.ب.ن: بیوجار باگاس نیشکر)، (ب.پ.ب: بیوجار پوسته برنج)، (ب.ک.ب: بیوجار کاه برنج)، (ب.ک.گ: بیوجار کاه گندم)، (ب.ج.ن: بیوجار چوب نراد).

بیشترین میزان وزن تر گیاه مربوط به تیمار بیوجار کاه برنج به همراه کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم (ب.ک.ب. + NPK) بود که نسبت به شاهد ۲۶۲ درصد میزان وزن تر گیاه را افزایش داد (جدول ۹). بین این تیمار و

تیمارهای بیوچار کاه برنج به‌همراه کودهای شیمیایی نیتروژن و فسفر (ب.ک.ب. + NP)، بیوچار کاه برنج به‌همراه کودهای شیمیایی نیتروژن و پتاسیم (ب.ک.ب. + NK)، بیوچار پوسته برنج به‌همراه کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم (ب.ک.ب. + NPK) و بیوچار باگاس نیشکر به‌همراه کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم (ب.ک.ب. + NPK) اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. تیمارهای بیوچار به‌تنهایی و همراه با کودهای شیمیایی نسبت به تیمار شاهد و کودهای شیمیایی، افزایش بیش‌تری در میزان وزن تر گیاه داشتند (جدول ۹).

جدول ۹. مقایسه میانگین اثر تیمارها بر وزن تر نیشکر

وزن تر گیاه (gr)	تیمار	وزن تر گیاه (gr)	تیمار	وزن تر گیاه (gr)	تیمار
۵۵/۱mnopq	ب.ک.گ	hijklmn۶۲	ب.پ.ب	۲۵/۶t	شاهد
۷۹/۹bc	ب.ک.گ. + NPK	ab۸۵/۶	ب.پ.ب. + NPK	۵۴/۹mnopq	NPK
۷۱/۳cdefg	ب.ک.گ. + NP	cdef۷۲/۵	ب.پ.ب. + NP	۵۲/۳opqr	NP
۷۹/۱bcd	ب.ک.گ. + NK	cde۷۴/۲	ب.پ.ب. + NK	۵۴/۷nopq	NK
۶۳/۲ghijklmn	ب.ک.گ. + PK	efghi۶۹/۳	ب.پ.ب. + PK	۵۰/۲pqr	PK
۶۳ghijklmn	ب.ک.گ. + N	۶۷/۴efghij	ب.پ.ب. + N	۴۷/۲qr	N
۵۹/۶jklmno	ب.ک.گ. + P	۶۴/۸fghijklm	ب.پ.ب. + P	۳۷/۷s	P
۶۷/۹efghij	ب.ک.گ. + K	۶۵efghijkl	ب.پ.ب. + K	۴۵rs	K
۶۰/۵ijklmno	ب.چ.ن	۶۴/۹fghijkl	ب.ک.ب	۶۰/۹hijklmno	ب.ب.ن
۶۵/۵efghijk	ب.چ.ن. + NPK	۹۲/۶a	ب.ک.ب. + NPK	۸۳/۸ab	ب.ب.ن. + NPK
۵۹/۷ijklmno	ب.چ.ن. + NP	۸۴/۶ab	ب.ک.ب. + NP	۷۱/۵cdefg	ب.ب.ن. + NP
۶۱/۷hijklmn	ب.چ.ن. + NK	۸۵/۲ab	ب.ک.ب. + NK	۷۳/۲cdef	ب.ب.ن. + NK
۵۹/۴ijklmno	ب.چ.ن. + PK	۷۲/۵ cdef	ب.ک.ب. + PK	۷۰/۱defgh	ب.ب.ن. + PK
۵۷/۶klmnop	ب.چ.ن. + N	۶۶/۸ efghijk	ب.ک.ب. + N	۶۵/۸efghijk	ب.ب.ن. + N
۵۶lmnopq	ب.چ.ن. + P	۶۷/۹ efghij	ب.ک.ب. + P	۶۲/۷ghijklmn	ب.ب.ن. + P
۵۵mnopq	ب.چ.ن. + K	۶۶/۶ efghijk	ب.ک.ب. + K	۶۱/۲hijklmno	ب.ب.ن. + K

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد می‌باشد.  
(ب.ب.ن: بیوچار باگاس نیشکر)، (ب.پ.ب: بیوچار پوسته برنج)، (ب.ک.ب: بیوچار کاه برنج)، (ب.ک.گ: بیوچار کاه گندم)، (ب.چ.ن: بیوچار چوب نراد).

تیمارهای بیوچار کاه برنج به‌همراه کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم (ب.ک.ب. + NPK) و بیوچار کاه برنج به‌همراه کودهای شیمیایی نیتروژن و پتاسیم (ب.ک.ب. + NK)، بیش‌ترین میزان وزن خشک گیاه را داشتند. به‌طوری‌که بین این تیمارها و دیگر تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۱۰). در بین تیمارهای بیوچار، بیوچار چوب نراد کم‌ترین میزان وزن خشک گیاه را داشت. تیمارهای بیوچار به‌تنهایی و همراه با کودهای شیمیایی نسبت به تیمار شاهد و کودهای شیمیایی، وزن خشک گیاه را بیش‌تر افزایش دادند (جدول ۱۰).

نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش با نتایج سایر پژوهش‌گران مطابقت دارد. بیوچار سبب افزایش ارتفاع گیاه شد (Jaborova *et al.*, 2021). همچنین گزارش شده است کاربرد بیوچار سبب افزایش ارتفاع، وزن تر و خشک گیاه شد (Tanure *et al.*, 2019). بیوچار به‌دلیل افزایش ظرفیت نگهداری آب، بهبود ویژگی‌های خاک و افزایش سطح جذب عناصر غذایی سبب افزایش رشد و عملکرد محصول شد (Blanco-Canqui *et al.*, 2017). بیوچار ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه را بهبود بخشید و در نهایت رشد گیاه را افزایش داد (Jaborova *et al.*, 2021). استفاده از بیوچار غلظت عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف گیاه را افزایش و رشد گیاه را بهبود بخشید (You *et al.*, 2021). استفاده از بیوچار رشد گیاه را ۶۰ درصد افزایش داد (Hupfauf *et al.*, 2016). کاربرد بیوچار به‌همراه کودهای شیمیایی نیتروژن (Shi *et al.*, 2020)، فسفر (Lusiba *et al.*, 2018) و پتاسیم (Wu *et al.*, 2019) سبب افزایش رشد گیاه شد.

جدول ۱۰. مقایسه میانگین اثر تیمارها بر وزن خشک نیشکر

تیمار	وزن خشک گیاه (gr)	تیمار	وزن خشک گیاه (gr)	تیمار	وزن خشک گیاه (gr)
شاهد	۹/۷s	ب.ب.ب	۱۶/۹ijklmn	ب.ک.گ	۱۴/۹op
NPK	۱۴/۳opq	ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۲۲/۴bc	ب.ک.گ.ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۲۱/۳cd
NP	۱۲/۹qr	ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۲۱/۴cd	ب.ک.گ.ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۱۸/۵fghij
NK	۱۴/۲opq	ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۲۰/۲def	ب.ک.گ.ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۱۹/۹def
PK	۱۲qr	ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۱۹/۱efgh	ب.ک.گ.ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۱۷/۴hijkl
N	۱۲r	ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۱۸/۹efghi	ب.ک.گ.ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۱۵/۶mnop
P	۱۰s	ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۱۸ghij	ب.ک.گ.ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۱۴/۹op
K	۱۴pq	ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۱۷/۷hijk	ب.ک.گ.ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۱۵/۴nop
ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۱۵/۹klmno	ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۱۷/۴hijkl	ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۱۴/۳opq
ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۲۳/۵b	ب.ک.ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۲۷/۲a	ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۱۶/۹ijklmn
ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۱۸/۴fghij	ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۱۹/۸defg	ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۱۶klmno
ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۲۰/۴de	ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۲۵/۴a	ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۱۶/۸ijklmn
ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۱۹/۱efgh	ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۲۰/۸def	ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۱۵/۹klmno
ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۱۷/۲ijklm	ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۲۱/۱cd	ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۱۵/۷lmnop
ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۱۷/۴hijklm	ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۱۸/۵fghij	ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۱۴/۵opq
ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۱۷/۵hijkl	ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۲۰/۲def	ب.ب.ب.ب.ب.ب.ب	۱۴/۹op

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح آماری ۵ درصد می‌باشد.  
(ب.ب.ب: بیوجار باگاس نیشکر)، (ب.ب.ب: بیوجار پوسته برنج)، (ب.ک.ب: بیوجار کاه برنج)، (ب.ک.گ: بیوجار کاه گندم)، (ب.ب.ب.ب: بیوجار چوب نراد).

#### ۴. نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان داد که استفاده از هر یک از انواع بیوجار به‌تنهایی، نسبت به تیمارهای شاهد و کود شیمیایی سبب افزایش غلظت عناصر سیلیسیم، نیتروژن، فسفر، پتاسیم و همچنین ارتفاع، وزن تر و خشک نیشکر شد. کاربرد بیوجار به‌همراه کود شیمیایی سبب افزایش بیش‌تر غلظت این عناصر غذایی، ارتفاع، وزن تر و خشک نیشکر شد. در بین بیوجارها، بیوجارهای کاه برنج و باگاس نیشکر عملکرد بهتری در افزایش غلظت عناصر غذایی، ارتفاع، وزن تر و خشک نیشکر داشتند. همچنین تیمارهای کود شیمیایی نسبت به شاهد سبب افزایش غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم نیشکر شد. به‌طور کلی در بین تیمارها، تیمار بیوجار کاه برنج به‌همراه کودهای شیمیایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم، حداکثر تأثیرات مثبت روی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژی و بیوشیمیایی نیشکر داشت. بنابراین، با توجه به غلظت بالای این عناصر غذایی در بیوجار، کاربرد بیوجار به‌همراه کودهای شیمیایی برای افزایش غلظت عناصر غذایی و رشد نیشکر توصیه می‌شود.

#### ۵. تشکر و قدردانی

از شرکت کشت و صنعت امام خمینی(ره) خوزستان به‌خاطر فراهم‌آوردن منابع مالی این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

#### ۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

#### ۷. منابع مورداستفاده

Abbas, T., Rizwan, M., Ali, S., Zia-ur-Rehman, M., Qayyum, M. F., Abbas, F., Hannan, F., Rinklebe, J., & Ok, Y. S. (2017). Effect of biochar on cadmium bioavailability and uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) grown in a soil with aged contamination. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 140, 37-47. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.02.028>

- Alizadeh, A. (2008). *Water, soil and plant relationship*. Astane ghodse razavi, 8<sup>th</sup> ed. (In Persian)
- Alvarez-Campos, O., Lang, T. A., Bhadha, J. H., McCray, J. M., Glaz, B., & Daroub, S. H. (2018). Biochar and mill ash improve yields of sugarcane on a sand soil in Florida. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 253, 122-130. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.11.006>
- Blanco-Canqui, H. (2017). Biochar and Soil Physical Properties. *Soil Science Society of America Journal*, 81(4), 687-711. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.01.0017>
- Cao, C. T. N., Farrell, C., Kristiansen, P. E., & Rayner, J. P. (2014). Biochar makes green roof substrates lighter and improves water supply to plants. *Ecological Engineering*, 71, 368-374. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.06.017>
- Carrier, M., Hardie, G. A., Uras, U., Görgens, J., & Knoetze, J. (2012). Production of char from vacuum pyrolysis of South-African sugar cane bagasse and its characterization as activated carbon and biochar. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 96, 24-32. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2012.02.016>
- Chapman, H. D., & Pratt, P. F. (1961). Method of Analysis for soils, plants and waters. University of California, Division of Agriculture Science, 150-179. <https://doi.org/10.4236/health.2014.612175>
- Chen, H., Yang, X., Wang, H., Sarkar, B., Shaheen, M. S., Gielen, G., Bolan, N., Guo, J., Che, L., Sun, H., & Rinklebe, J. (2020). Animal carcass- and wood-derived biochars improved nutrient bioavailability, enzyme activity, and plant growth in metal-phthalic acid ester co-contaminated soils: A trial for reclamation and improvement of degraded soils. *Journal of Environmental Management*, 261, 110246. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110246>
- D5142. (2009). Standard test methods for proximate analysis of the analysis sample of coal and coke by instrumental procedures. West Conshohocken, PA: *American Society for Testing and Materials*.
- Elliott, C. L., & Snyder, G. H. (1991). Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw, *Journal Agricultural Food Chemical*, 39, 1118-19. <https://doi.org/10.1021/jf00006a024>
- Faucon, M. P., Houben, D., Reynoird, J. P., Mercadal-Dulaurent, A. M., Armand, R., & Lambers, H. (2015). Advances and perspectives to improve the phosphorus availability in cropping systems for agroecological phosphorus management. *Advances in Agronomy*, 134, 51-79. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.06.003>
- Githinji, L. (2014). Effect of biochar application rate on soil physical and hydraulic properties of a sandy loam. *Arch. Agronomy of Soil Science*, 60(4), 457-470. <https://doi.org/10.1080/03650340.2013.821698>
- Hupfauf, B., Hammerle, T., & Lepuschitz, M. (2016). Plant Growth Tests and the Issue of the Analysis of PAHs with Biochar from Gasifier Plants. *Energy Procedia*, 93, 9-13. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.07.142>
- Jaborova, D., Ma, H., Bellingrath-Kimura, S. D., & Wirth, S. (2021). Impacts of biochar on basil (*Ocimum basilicum*) growth, root morphological traits, plant biochemical and physiological properties and soil enzymatic activities. *Scientia Horticulturae*, 290, 110518. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110518>
- Jaborova, D., Wirth, S., Kannepalli, A., Narimanov, A., Desouky, S., Davranov, K., Sayyed, R.Z., El Enshasy, H., Malek, R.A., Syed, A., & Bahkali, A.H. (2020). Coinoculation of rhizobacteria and biochar application improves growth and nutrients in soybean and enriches soil nutrients and enzymes. *Agronomy* 10(8), 1142. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081142>
- Kavitha, B., Reddy, P. V. L., Kim, B., Lee, S. S., Pandey, S. K., & Kim, K. H. (2018). Benefits and limitations of biochar amendment in agricultural soils: A review. *Journal of Environmental Management*, 227, 146-154. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.082>

- Limmer, M. A., Mann, J., Amaral, D. C., Vargas, R., & Seyfferth, A. L. (2018). Si-rich amendments in rice paddies: effects on arsenic uptake and biogeochemistry, *Science of The Total Environment*, 624, 1360-1368. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.207>
- Lindsay, W. L., & Norvell, W. A. (1978). Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Sciences Social American Journal*, 42, 421-28.
- Lusiba, S., Odhiambo, J., & Ogola, J. (2018). Growth, yield and water use efficiency of chickpea (*Cicer arietinum*): response to biochar and phosphorus fertilizer application. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64(6), 819-833. <https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1407027>
- Mahmoud Soltani, S., & Abbasian, A. (2021). Simultaneous Application Effect of Rice Husk Biochar 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. <https://doi.org/10.22059/IJSWR.2021.315776.668843>. (In Persian)
- Mandal, S., Donner, E., Smith, E., Sarkar, B., & Lombi, E. (2019). Biochar with near-neutral pH reduces ammonia volatilization and improves plant growth in a soil-plant system: A closed chamber experiment. *Science of The Total Environment*, 697, 134114. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134114>
- Manolikaki, I. I., Mangolis, A., & Diamadopoulou, E. (2016). The impact of biochars prepared from agricultural residues on phosphorus release and availability in two fertile soils. *Journal of Environmental Management*, 181, 536-543. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.07.012>
- Mansouri, N., Zakidizaji, H., Sheikhdavoodi, M. J., & Asakereh, A. (2019). Evaluation of Different Planting Method for Sugarcane for Khuzestan Region. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 20(72), 73-90. <https://doi.org/10.22092/ERAMS.2018.114606.1207> (In Persian)
- Nelissen, V., Ruysschaert, G., Müller-Stover, D., Bode, S., Cook, J., Ronsse, F., Shackley, S., Boeckx, B., & Hauggaard-Nielsen, H. (2014). Short-term effect of feedstock and pyrolysis temperature on biochar characteristics, soil and crop response in temperate soils. *Agronomy*, 4, 52-73. [10.3390/agronomy4010052](https://doi.org/10.3390/agronomy4010052)
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1982) Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. In: Page, A. L., Miller, R. H. & Keeny, D. R., Eds., *Methods of Soil Analysis, Part-2*, 2nd Edition, Agronomy Monograph No. 9, ASA and SSSA, Madison, 539-579.
- Nobile, C., Denier, J., & Houben, D. (2020). Linking biochar properties to biomass of basil, lettuce and pansy cultivated in growing media. *Scientia Horticulturae*, 261, 109001. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109001>
- Olsen, S. R., & Sommers, L. E. (1982) Phosphorus. In: Page, A. L., Miller, R. H. & Keeny, D. R., Eds., *Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties*, American Society of Agronomy, Inc., Madison, 403-427.
- Peng, F., He, P. W., Luo, Y., Lu, X., Liang, Y., & Fu, J. (2012). Adsorption of phosphate by biomass char deriving from fast pyrolysis of biomass waste. *CLEAN–Soil Air Water*, 40, 493–498. <https://doi.org/10.1002/clen.201100469>
- Shi, W., Ju, Y., Bian, R., Li, L., Joseph, S., Mitchell, D. R. G., Munroe, P., Taherymoosavi, S., & Pan, g. (2020). Biochar bound urea boosts plant growth and reduces nitrogen leaching. *Science of The Total Environment*, 701, 134424. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134424>
- Tanure, M. M. C., da Casta L. M., Huiz, H. A., fernandes, R. B. A., Cecon, P. R., Junior, J. D P., & da Luz, J. M. R. (2019). Soil water retention, physiological characteristics, and growth of maize plants in response to biochar application to soil. *Soil and Tillage Research*, 192, 164-173. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.05.007>
- Varma, P. K., Kumar, K. V. K., Suresh, M., Kumar, N. R., & Sekhar, V. C. (2018). Potentiality of native pseudomonas spp. in promoting sugarcane seedling growth and red rot (*Colletotrichum falcatum* Went) management. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7, 2855-2863. [10.20546/IJCMAS.2018.702.348](https://doi.org/10.20546/IJCMAS.2018.702.348)

- Wang, M., Wang, J. J., & Wang, X. (2018). Effect of KOH-enhanced biochar on increasing soil plant-available Si. *Geoderma*, 321, 22-31. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.02.001>
- Wang, J., Xiong, Z., & Kuzyakov, Y. (2016). Biochar stability in soil: metal analysis of decomposition and priming effects. *GCB Bioenergy*, 8(3), 512-523. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12266>
- Weng, Z., Liu, X., Eldridge, S., Wang, H., Rose, T., Rose, M., Rust, J., Singh, B. P., Tavakkoli, H., Tang, C., Ou, H., & Zwieten, L. V. (2020). Priming of soil organic carbon induced by sugarcane residues and its biochar control the source of nitrogen for plant uptake: A dual  $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$  isotope three-source-partitioning study. *Soil Biology and Biochemistry*, 146, 107792. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.107792>
- Wu, X., Wang, D., Riaz, M., Zhang, L., & Jiang, C. (2019). Investigating the effect of biochar on the potential of increasing cotton yield, potassium efficiency and soil environment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 182, 109451. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109451>
- Yan, P., Shen, C., Zou, Z., Fu, J., Li, X., Zhang, L., Zhang, L., Han, W., & Fan, L. (2021). Biochar stimulates tea growth by improving nutrients in acidic soil. *Scientia Horticulturae*, 283, 110078. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110078>
- You, X., Yin, S., Suo, S., Xu, Z., Chu, D., Kong, Q., Zhang, C., Li, Y., & Liu, L. (2021). Biochar and fertilizer improved the growth and quality of the ice plant (*Mesembryanthemum crystallinum* L.) shoots in a coastal soil of Yellow River Delta, China. *Science of The Total Environment*, 775, 144893. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144893>
- Zhang, Y., Wang, J., & Feng, Y. (2021). The effects of biochar addition on soil physicochemical properties. *CATENA*, 202, 105284. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105284>
- Zwetsloot, M. J., Lehmann, J., Bauerle, T., Vanek, S., Hestrin, R., & Niggussie, A. (2016). Phosphorus availability from bone char in a P-fixing soil influenced by root-mycorrhizae-biochar interactions. *Plant Soil*, 408, 95-105. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-2905-2>