



## Investigating the release of nitrogen, phosphorus and potassium from biochars of grape waste, straw and wheat stubble and walnut shell

Ali-Reza Kazemi<sup>1</sup> | Zahra Varasteh Khanlari<sup>2✉</sup> | Mahboubeh Zarabi<sup>3</sup>

1. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer. Iran.

Email: [a.kazemi9599@gmail.com](mailto:a.kazemi9599@gmail.com)

2. Corresponding Author, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer. Iran.

Email: [Zahra.varasteh@malayeru.ac.ir](mailto:Zahra.varasteh@malayeru.ac.ir)

3. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer. Iran.

Email: [mzarrabi@malayeru.ac.ir](mailto:mzarrabi@malayeru.ac.ir)

| Article Info  | ABSTRACT  |
|---|---|
| <p><b>Article type:</b> Research Article</p> <p><b>Article history:</b></p> <p><b>Received:</b> July. 17, 2023</p> <p><b>Revised:</b> Aug. 23, 2023</p> <p><b>Accepted:</b> Aug. 29, 2023</p> <p><b>Published online:</b> Nov. 22, 2023</p> <p><b>Keywords:</b><br/>Availability of Essential Elements,<br/>Release,<br/>Infrared Spectroscopy.</p> | <p>To investigate the release of nitrogen, Phosphorus and potassium elements from biochar, an experiment was conducted in a completely randomized design in three replications. Biochars were used by 2% in weight (W/W). The experimental treatments included control soil (CS), Soil+ Grape waste biochar (GSB), Soil + wheat straw and stubble (WSB) + brown walnut shell biochar (NSB) and Soil. The samples were incubated for about four months and sampling was done at days of 0, 7, 14, 28, 42, 56, 88 and 120. The results showed that the biochar addition significantly increased the concentrations of nitrogen, phosphorus and potassium in all biochar-amended soils compared to the control soil. Nitrogen concentration ranged from 766.6 mg kg<sup>-1</sup> in control (average of sampling times) to 1272.2, 1366.7, and 1488.9 mg kg<sup>-1</sup> in GSB, WSB and NSB treatments, respectively. Phosphorus concentration enhanced from 44.5 mg kg<sup>-1</sup> in control (time-average of sampling) to 79.1, 67.1, and 70.8 mg kg<sup>-1</sup> in GSB, WSB and NSB, respectively, and the concentration of potassium in the control increased from 103 mg kg<sup>-1</sup> to 656.5, 293.8, and 125.6 mg kg<sup>-1</sup> in the GSB, WSB, and NSB treatments, respectively. The WSB and NSB treatments released an average of 52% and 50.5% of their nitrogen content, respectively during 120 days, increased while GSB released only 28.6% of its total nitrogen on average. The order of nitrogen release rates in biochar were as follows: WSB&gt; NSB&gt; GSB. Regarding the release of phosphorus, NSB was considered to be the most efficient biochar, which was able to release 5% of its phosphorus during 4 months, while, GSB was the lowest effective biochar releasing only 0.5% of its phosphorus during the corresponding time. The order of phosphorus release from biochar treatments was as follows: NSB &gt; WSB &gt; GSB. The amount of available potassium in GSB was 2.3 to 6.7 times higher than the other treatments. The order of potassium release from biochar treatments was as follows: GSB &gt; WSB &gt; NSB. The results of infrared spectroscopy showed that the dissolution of amides containing nitrogen is the main mechanism of N release. The decrease in pH caused by nitrification, probably facilitated Ca-P dissolution from biochar and led to a higher phosphorus release.</p> |

Cite this article: Kazemi, A. R., Varasteh Khanlari, Z., & Zarrabi, M. (2023). Investigating the release of nitrogen, phosphorus and potassium from biochars of grape waste, straw and wheat stubble and walnut shell, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (9), 1283-1297. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.362309.669535>

© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.362309.669535>



## بررسی رهاسازی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم از بیوچارهای مختلف و ارتباط آنها با شیمی سطح

## بیوچار

علیرضا کاظمی<sup>۱</sup>، زهرا وارسته خانلری<sup>۲</sup>، محبوبه ضرابی<sup>۳</sup><sup>۱</sup> گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. رایانامه: [a.kazemi9599@gmail.com](mailto:a.kazemi9599@gmail.com)<sup>۲</sup> نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. رایانامه: [Zahra.varasteh@malayeru.ac.ir](mailto:Zahra.varasteh@malayeru.ac.ir)<sup>۳</sup> گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. رایانامه: [mzarrabi@malayeru.ac.ir](mailto:mzarrabi@malayeru.ac.ir)

## اطلاعات مقاله

## چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۴/۲۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۶/۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۹/۱

## واژه‌های کلیدی:

رهاسازی،  
طیف مادون قرمز،  
قابلیت دسترسی عناصر ضروری.

به منظور بررسی رهاسازی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم از انواع بیوچار، آزمایشی به صورت طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. از بیوچارها در ۲ درصد وزنی استفاده گردید. تیمارهای آزمایش شامل خاک شاهد (CS)، خاک+بیوچار ضایعات انگور (GSB)، خاک+بیوچار پوسته قهوه‌ای گردو (NSB) و خاک+بیوچار کاه و کلش گندم (WSB) بود. نمونه‌ها حدود چهار ماه انکوباسیون و نمونه‌برداری از زمان‌های ۰، ۷، ۱۴، ۲۸، ۴۲، ۵۶، ۸۸ و ۱۲۰ روز صورت گرفت. نتایج نشان داد افزودن بیوچار موجب افزایش معنی‌دار غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در تمام تیمارها در مقایسه با خاک شاهد شد. غلظت نیتروژن از ۷۶۶/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک شاهد (میانگین کل زمان‌ها) به ۱۲۷۲/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار GSB، ۱۳۶۶/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار WSB و ۱۴۸۸/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار NSB رسید. غلظت فسفر از ۴۴/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک شاهد (میانگین کل زمان‌ها) به ۷۹/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار GSB، ۶۷/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار WSB و ۷۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار NSB افزایش یافت و غلظت پتاسیم در خاک شاهد از ۱۰۲/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ۲۹۳/۸ و ۱۲۵/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم بر ترتیب در تیمار GSB، WSB و NSB رسید. تیمار WSB و NSB به ترتیب به طور میانگین ۵۲/۰ و ۵۰/۵ درصد از نیتروژن خود را طی ۱۲۰ روز آزاد کردند در حالی که تیمار GSB به‌طور میانگین فقط ۲۸/۶ درصد از کل نیتروژن خود را آزاد کرد. ترتیب رهاسازی نیتروژن از تیمار بیوچار به این صورت بود:  $WSB \geq GSB > NSB$ . با توجه به انتشار فسفر، کارآمدترین تیمار NSB و ناکارآمدترین تیمار GSB بود. ترتیب رهاسازی فسفر از تیمار بیوچار به این صورت بود:  $NSB > WSB > GSB$ . مقدار پتاسیم قابل دسترسی در تیمار GSB (به‌طور میانگین ۶/۷-۲/۳ برابر) بیشتر از سایر تیمارها بود. بالاترین میزان انتشار در تیمار GSB مشاهده شد. ترتیب رهاسازی پتاسیم از تیمار بیوچار به این صورت بود:  $NSB > WSB > GSB$ . نتایج طیف مادون قرمز نشان داد که انحلال آمیدهای حاوی نیتروژن، مکانیسم اصلی انتشار N می‌باشد. کاهش pH ناشی از نیتریفیکاسیون موجب انحلال Ca-P از بیوچار شده و موجب افزایش رهاسازی فسفر گردیده است.

استناد: کاظمی، علیرضا، وارسته خانلری، زهرا و ضرابی، محبوبه. (۱۴۰۲). بررسی رهاسازی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم از بیوچارهای مختلف و ارتباط آنها با شیمی

سطح بیوچار، مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۴ (۹)، ۱۲۸۳-۱۲۹۷. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.362309.669535>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.362309.669535>

## مقدمه

افزایش اخیر در تولید محصولات جهانی عمدتاً با مصرف زیاد کود شیمیایی حاصل شده است (Tilman et al., 2002) و انتظار می‌رود که میزان مصرف با افزایش تقاضای غذایی در آینده بیشتر شود. با این حال فرایند تولید کودهای مصنوعی بسیار پراثری بوده و ذخیره مواد معدنی برای تولید آنها محدود است. علاوه بر این، هزینه زیست محیطی ترکیبات شیمیایی با حلالیت بالا قابل توجه است، از جمله این هزینه‌ها می‌توان به افت کیفیت آب، سرشارسازی<sup>۱</sup>، تشکیل مه دود فتوشیمیایی و انتشار اکسید نیتروژن اشاره نمود (Vitousek et al., 2009). یکی از روش‌های ممکن برای حل این مشکلات جایگزینی کود مصنوعی با موادالی تجدیدپذیر و استفاده از کودهای کندرهاست (Arden-Clarke and Hodges, 1988). بیوپچار ممکن است تبدیل به یک جایگزین منطقی در این زمینه شود، که می‌تواند به طور موثر مواد مغذی خاک را تأمین کرده و موجب حفظ تنوع زیستی میکروبی برای تولید پایدار محصول شود (Guo et al., 2016; Lehmann and Joseph, 2015).

بیوپچار نتیجه تبدیل ترموشیمیایی از طریق پیرولیز (تجزیه حرارتی-شیمیایی) زیست توده است (Olivera et al., 2017). که در دمای بالا تحت شرایط محدود اکسیژن O<sub>2</sub> قرار می‌گیرند (Yang et al., 2017). این محصول دارای مواد معدنی، ترکیبات آلی فرار و وجود رادیکال‌های آزاد است. این مواد می‌توانند فعالیت میکروبی خاک و فعالیت آنزیم‌های دخیل در چرخه بیوژئوشیمیایی را تغییر دهند (Zhu et al., 2017). علاوه بر این، استفاده از بیوپچار مزایای دیگری برای خاک و محیط زیست مانند ترسیب کربن در درازمدت ایجاد کرده و به کاهش اثرات تغییر آب و هوا کمک می‌کند (Bird et al., 2017). سطح ویژه زیاد و محتوای C آلی، بیوپچار می‌تواند مواد مغذی خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، باروری خاک و تولید محصول را افزایش دهد (Agegnehu et al., 2016). کاربرد بیوپچار می‌تواند فرایندهای مختلف بیوژئوشیمیایی در خاک شامل چرخه کربن، فسفر و نیتروژن را تحت تأثیر قرار دهد (Prendergast-Miller et al., 2011). افزودن بیوپچار به خاک می‌تواند استحکام موادالی در خاک و حفظ نیتروژن و فسفر را بهبود بخشد (Sheng and Zhu, 2018). افزودن بیوپچار موجب تغییر در اشکال نیتروژن شده که متعاقباً موجب تثبیت و تبدیل نیتروژن در خاک می‌شود (Yuan et al., 2018). (Tan et al., 2018) نشان دادند پس از افزودن بیوپچار به خاک شکل نیتروژنی که از بیوپچار به خاک آزاد شده با شکلی که در باقیمانده بیوپچار موجود است با هم متفاوتند. (Piash et al., 2021) با بررسی رهاسازی عناصر ضروری گیاه از بیوپچارهای مبتنی بر کود و چوب به این نتیجه رسیدند که تنها بیوپچار کودمرغی پتانسیل برآوردن نیازهای ذرت شیرین را با رهاسازی نیتروژن، فسفر و پتاسیم کافی دارند. نجفی قیری و همکاران (۱۳۹۶) با بررسی تأثیر کاربرد برخی بقایای گیاهان زراعی و تفاله شیرین بیان و بیوپچار حاصل از آنها بر وضعیت پتاسیم یک خاک آهکی به این نتیجه رسیدند که کاربرد بقایای گیاهی و بیوپچار حاصل از آن می‌تواند تأثیرات زیادی بر وضعیت پتاسیم خاک و رفع کمبود این عنصر داشته باشد که در این میان نقش بیوپچار به مراتب مهم‌تر از موادالی اولیه است. خاک اصلاح شده با بیوپچار می‌تواند نیتروژن آلی را با تبدیل به فرم معدنی نیتروژن (آمونیم و نترات که مستقیماً توسط گیاه مصرف می‌شوند) تحت تأثیر قرار دهد. بیوپچار می‌تواند به عنوان مخزنی برای فسفر عمل کرده و نسبت خاصی از فسفر که برای گیاه مناسب است را تأمین نماید (Dari et al., 2013). (Tan et al., 2017) بیان کردند که تبدیل بقایای گیاهی به بیوپچار سبب تبدیل ترکیبات پیچیده پتاسیم به شکل‌های سادتر می‌شود که به راحتی قابل جذب گیاه می‌باشند. با این حال اکثر مطالعات تاکنون عمدتاً بر توانایی بیوپچار در ترسیب کربن، حذف آلاینده‌ها و بهبود خواص فیزیکی خاک متمرکز بوده است (Kamali et al., 2020). مطالعات بسیار کمی بر توانایی بالقوه بیوپچار در تأمین مواد مغذی خاک تأکید شده است اگر چه می‌تواند نقطه کلیدی برای تشویق کشاورزان جهت استفاده گسترده از بیوپچار باشد. پتانسیل تأمین عناصر غذایی بیوپچار تحت تأثیر بسیاری از عوامل از جمله مواد اولیه، دمای تولید و خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک قرار می‌گیرد (Ok et al., 2018). علاوه بر این رهاسازی و حفظ عناصر مختلف بستگی به تغییرات در خصوصیات بیوپچار در طی انکوباسیون خاک دارد (Ippolito et al., 2015). بر اساس اطلاعات موجود مطالعات محدودی که رهاسازی عناصر ضروری برای گیاه با هم و ارتباط آنها را با شیمی بیوپچار بررسی کند، انجام شده است. بنابراین برای پر کردن این خلا درک اختلاف در مکانیسم رهاسازی عناصر از بیوپچار و ارزش زراعی باقی‌مانده از آن برای بلند مدت ضروری است. بنابراین هدف از این مطالعه تعیین کمیت عناصر N، P و K رها شده از انواع بیوپچارهای استفاده شده در این مطالعه و درک مکانیسم رهاسازی به‌وسیله بررسی طیف مادون قرمز بیوپچار بعد از انکوباسیون می‌باشد.



## مواد و روش‌ها

### تهیه خاک مورد آزمایش

جهت این پژوهش نمونه خاک مرکب از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی متری از مزرعه گندم واقع در شهرستان کبودرآهنگ از استان همدان با موقعیت، طول جغرافیایی  $48^{\circ}43'$  شرقی و عرض جغرافیایی  $35^{\circ}36'$  شمالی تهیه گردید. نمونه خاک به آزمایشگاه منتقل شد. بعد از هوا خشک شدن، ذرات درشت و احیاناً کاه و کلش گندم از آن جدا گردید. سپس خاک از الک ۲ میلی متری عبور داده شد و برای اندازه‌گیری برخی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و مطالعات انکوباسیونی نگاهداری گردید.

### اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee and Boudet, 1986)، قابلیت هدایت الکتریکی و پ.اچ خاک در عصاره ۱:۵ خاک به آب مقطر (Rowell, 1994) اندازه‌گیری شد. پارامترهای نیتروژن کل به روش کجلدال، فسفر فراهم به روش اولسن (Olsen and Sommers, 1982)، پتاسیم قابل جذب به روش استات آمونیوم یک مولار در pH=7، آمونیوم (Tan, 2005) و نترات (Jones, 2001) اندازه‌گیری گردید. کربن آلی به روش اکسیداسیون با دی‌کرومات پتاسیم به روش والکی-بلک (Nelson, 1982)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی اسید (Rowell, 1994) و فسفر و پتاسیم کل در نسبت ۱:۳ اسیدپرکلریدریک: اسیدنیتریک (Pierzynski, 2000) سنجیده شد. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

| مقدار | ویژگی                                   | مقدار | ویژگی                                     |
|-------|---|-------|---|
| ۲۸/۷  | نیتروژن-نتراتی ( $\text{mg kg}^{-1}$ )  | ۲۶۵   | رس ( $\text{g kg}^{-1}$ )                 |
| ۱۶/۱  | فسفر قابل دسترس ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) | ۲۶۰   | سیلت ( $\text{g kg}^{-1}$ )               |
| ۱۰۶/۶ | پتاسیم قابل جذب ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) | ۴۷۵   | شن ( $\text{g kg}^{-1}$ )                 |
| ۱/۳   | مواد آلی (%)                            | ۱۶/۵  | کربنات کلسیم معادل (%)                    |
| ۰/۱۱  | نیتروژن کل (%)                          | ۷/۸   | pH  |
| ۰/۰۲۳ | فسفر کل (%)                             | ۰/۲۱  | هدایت الکتریکی ( $\text{dS m}^{-1}$ )     |
| ۰/۰۶۱ | پتاسیم کل (%)                           | ۳۲/۲  | نیتروژن- آمونیومی ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) |

### اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های شیمیایی بیوپچار

غلظت فسفر و پتاسیم کل در خاکستر نمونه‌ها تعیین گردید. بدین منظور مقدار مشخصی از هر نمونه داخل کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت نگاهداری شد تا خاکستر آن‌ها تهیه شود. سپس نمونه‌ها با ۱۰ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک ۲ مولار عصاره‌گیری شده و فسفر موجود در آن‌ها به روش زرد با دستگاه اسپکتروفتومتر و پتاسیم کل با فلیم فتومتر قرائت گردید (Pierzynski, 2000). نیتروژن کل به روش کجلدال سنجیده شد. برخی ویژگی‌های شیمیایی ترکیبات آلی مورد مطالعه در جدول ۲ آورده شده است. مقایسه خصوصیات بیوپچارها با یکدیگر نشان می‌دهد که بیوپچار حاصل از ضایعات انگور از لحاظ NPK از دو بیوپچار دیگر غنی‌تر است.

جدول ۲. برخی ویژگی‌های شیمیایی ترکیبات آلی مورد استفاده

| ویژگی      | واحد (%) | بیوپچار ضایعات انگور | بیوپچار کاه و کلش گندم | بیوپچار گردو |
|------------|----------|----------------------|------------------------|--------------|
| نیتروژن کل | ۰/۹۸     | ۰/۶۳                 | ۰/۷۷                   |              |
| فسفر کل    | ۶/۳۷     | ۰/۶۹                 | ۰/۴۷                   |              |
| پتاسیم کل  | ۰/۶۷     | ۰/۲۵                 | ۰/۰۸                   |              |

### تهیه و آماده‌سازی تیمارها

تیمارهای مورد استفاده سه نوع بیوپچار بود (دلیل انتخاب این ضایعات گیاهی فراوانی آن‌ها در استان همدان بود):

۱- بیوپچار کاه و کلش گندم: کاه و کلش مورد استفاده برای تهیه این نوع بیوپچار مربوط به همان مزرعه‌ای بود که از آن نمونه‌برداری

خاک صورت گرفته بود.

۲- بیوپچار چوب گردو: چوب قهوه‌ای گردو از شهرستان تویسرکان، استان همدان تهیه شد.

۳- بیوپچار ضایعات انگور: که این ضایعات از تاکستان‌های شهرستان ملایر، استان همدان تهیه گردید.

برای تهیه بیوپچار مورد استفاده، مواد اولیه لازم برای تهیه هر بیوپچار ابتدا در آزمایشگاه به خوبی با آب مقطر شسته شدند و سپس در دمای آزمایشگاه خشک گردیدند. آن گاه برای تهیه بیوپچار مواد اولیه توسط تجزیه حرارتی در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد در محیطی با اکسیژن کم به مدت ۲ ساعت تبدیل به بیوپچار شدند (همتی میتن و همکاران، ۲۰۲۰). بیوپچارها کوبیده و از الک ۰/۵ میلی‌متری عبور داده شدند و به عنوان تیمار آزمایش نگهداری گردیدند. تیمارهای آزمایش شامل خاک شاهد (CS)، خاک با بیوپچار ضایعات انگور (GSB)، خاک با بیوپچار کاه و کلش گندم (WSB) و خاک با بیوپچار گردو (NSB) بود.

### مطالعات انکوباسیونی

برای انجام آزمایش نمونه خاک‌های ۲۰۰ گرمی با نسبت ۲ درصد وزنی از تیمار بیوپچارهای مختلف در سه تکرار آماده گردید. از نمونه خاک شاهد نیز در سه تکرار استفاده شد. برای این که تمام شرایط مشابه شرایط حاکم در مزرعه برای کشت گندم باشد، از کشاورزان منطقه در مورد میزان مصرف کودهای مختلف سوال شد. اوره حدود ۰/۰۳۴ گرم، سوپر فسفات تریپل حدود ۰/۰۱۵ گرم و سولفات پتاسیم حدود ۰/۰۰۷ گرم به گرم خاک اضافه شد. برای اجرای آزمایش از طرح کاملاً تصادفی استفاده گردید. بعد از مخلوط کردن نمونه‌ها، رطوبت آن‌ها به ۷۰ درصد ظرفیت زراعی رسانده شد.

نمونه‌ها حدود چهار ماه (مدت زمان لازم برای کاشت تا برداشت گندم) در دمای  $25 \pm 3$  درجه سانتی‌گراد نگهداری گردیده در مدت زمان انکوباسیون با افزودن آب مقطر و مخلوط نمودن نمونه‌ها، رطوبت در حد ۷۰ درصد ظرفیت زراعی نگهداری شد. نمونه‌برداری از زمان‌های ۰، ۷، ۱۴، ۲۸، ۴۲، ۵۶، ۸۸ و ۱۲۰ روز صورت گرفت و بعد از خشک کردن برای تعیین میزان رهاسازی عناصر غذایی N، P و K نگهداری شدند.

برای تعیین گروه‌های عاملی بیوپچارها بعد از انکوباسیون ظروفی مشابه همان شرایط انکوباسیونی آماده گردید ولی بیوپچارها با خاک مخلوط نشد بلکه داخلی پارچه توری با منافذ بسیار ریز ریخته شد (Piash et al., 2021) و داخل خاک‌های درون ظروف، در همان رطوبت ۷۰ درصد داخل انکوباتور نگهداری شد و بعد از ۱۲۰ روز بیوپچار به مرکز پژوهش‌های متالوژی رازی برای اندازه‌گیری طیف FTIR فرستاده شد.

### تعیین رهاسازی عناصر N، P و K

آمونیم به روش تان (Tan, 2005)، نترات به روش جونز (Jones, 2001)، ازت به روش کج‌لدال و فسفر و پتاسیم به روش مهلیچ ۳ (مهلیچ، ۱۹۸۴) اندازه‌گیری شدند. میزان رهاسازی عناصر از بیوپچار به صورت زیر محاسبه گردید (Piash et al., 2021).

$$\text{عناصر غذایی در خاک شاهد} - \text{عناصر غذایی در خاک تیمار شده} = \frac{\text{درصد عناصر غذایی رهاسازی شده}}{\text{عناصر غذایی در ماده اصلاحی}}$$

### تعیین گروه‌های عاملی

تعیین گروه‌های عاملی نمونه‌های بیوپچار به روش طیف سنجی مادون قرمز<sup>۱</sup> (FTIR) مدل Bomem MB-Series FT-IR Spectrometer در مرکز پژوهش‌های متالورژی رازی انجام گرفت. در این گراف‌ها محور افقی عدد موجی از  $4000-400 \text{ cm}^{-1}$  و محور عمودی درصد عبور از 0-100 است.

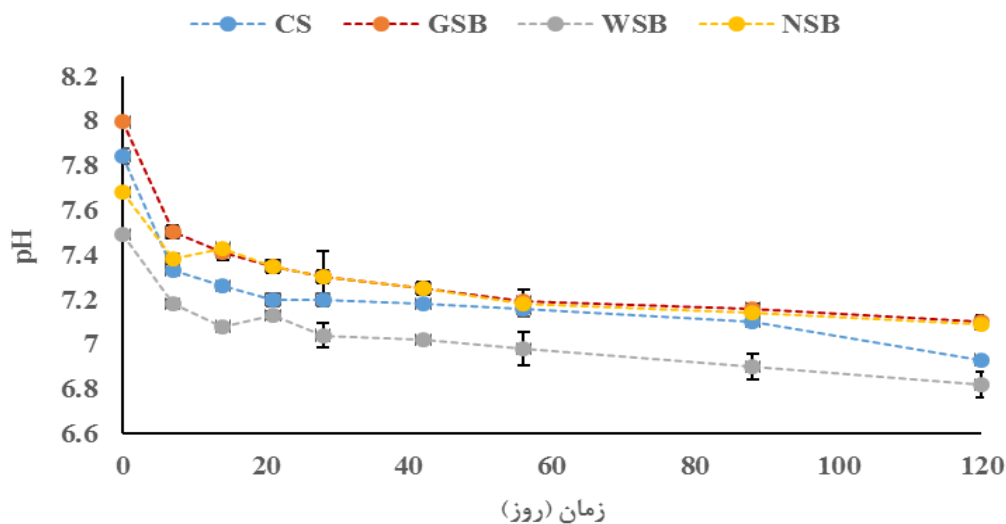
### تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS 23.0 انجام شد. جهت مقایسه میانگین از آزمون دانکن با سطح احتمال ۹۹٪ در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار استفاده شد. سپس نمودارهای مربوطه با استفاده از نرم افزار Microsoft Office Excel 13.0 ترسیم شد.

## نتایج و بحث

### تأثیر تیمارها بر pH خاک

تیمار WSB موجب کاهش pH خاک در مقایسه با شاهد شد (شکل ۱). که این کاهش چیزی حدود ۰/۵ واحد است. دلیل احتمالی کاهش pH به مواد فرار قابل تجزیه نسبت داده شده که میکروارگانیسم‌ها به راحتی می‌توانند این مولکول‌های آلی کوچک را تجزیه کرده و تولید  $\text{CO}_2$ ، اسیدهای آلی و یون‌های آمونیوم نمایند که نهایتاً موجب کاهش pH خاک خواهد شد. علاوه بر این یک همبستگی معنی‌دار بین کاهش pH و افزایش محتوای نیترات وجود دارد که این واقعیت را تایید می‌نماید که نیتریفیکاسیون با آزاد کردن یون‌های  $\text{H}^+$  می‌تواند pH خاک را کاهش دهد (piash et al., 2021). Zhao et al (2014) با کاربرد بیوجار همراه با کود N در دو خاک نیمه گرمسیری چنین pH مشابهی را گزارش نمودند. کاهش pH ممکن است باعث بارهای مثبت بیشتر در سطح بیوجار گردیده که در نهایت موجب کاهش تبخیر  $\text{NH}_3$  شده و جذب یون‌هایی مثل  $\text{NO}_3^-$  و  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  را افزایش می‌دهد (Yin et al., 2017). در طول آنکوباسیون در تمام تیمارها کاهش یافت (شکل ۱).

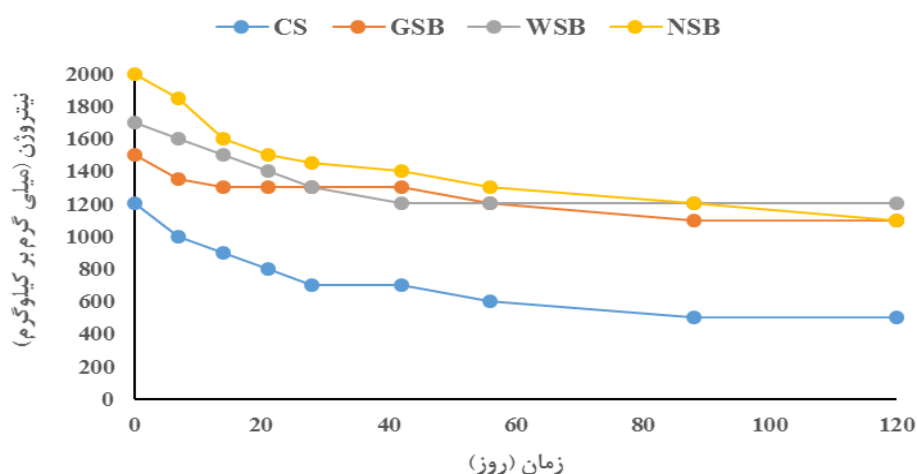


شکل ۱- تغییرات pH خاک تحت تیمارهای مختلف در طی آنکوباسیون (CS، GSB، WSB، NSB) به ترتیب خاک شاهد، خاک با تیمار بیوجار ضایعات انگور، خاک با تیمار بیوجار کاه و کلش گندم و خاک با تیمار بیوجار گردو است

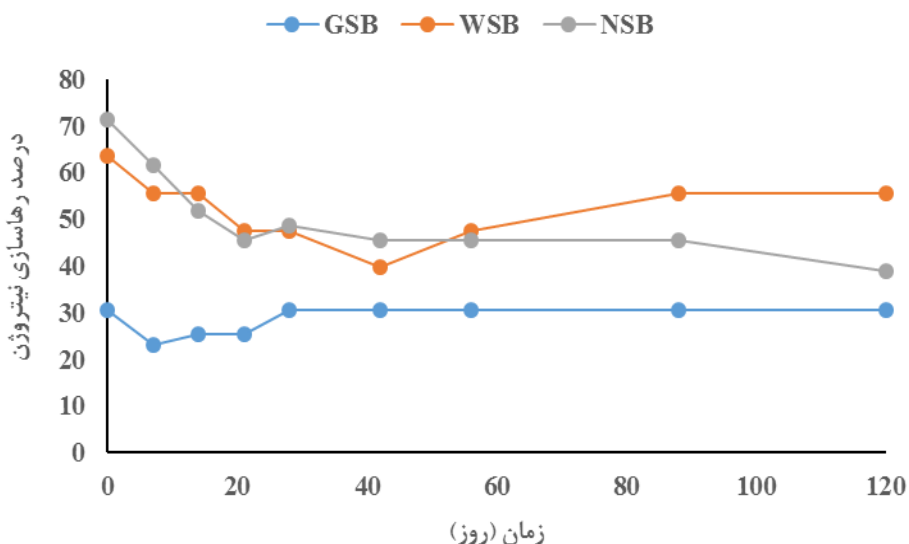
### سینتیک رهاسازی نیتروژن از تیمارها

غلظت نیتروژن کل در کلیه تیمارها در شکل ۲ نشان داده شده است همان‌طور که از شکل مشخص است. افزودن بیوجار به خاک موجب افزایش معنی‌دار غلظت نیتروژن در تمام تیمارها در مقایسه با خاک شاهد شد. اضافه کردن ۲ درصد بیوجار GSB، WSB و NSB به ترتیب ۱/۷، ۱/۹ و ۲/۳ برابر نیتروژن بیشتری نسبت به کود توصیه شده در اختیار گیاه قرار داد. (Nelissen et al (2012) در تحقیقی به این نتیجه رسیدند که افزودن بیوجار موجب تغییر شکل نیتروژن در کوتاه مدت شده و موجب افزایش نیتروژن قابل استفاده در خاک می‌گردند. (Mukherjee and Zimmerman (2013) بیان نمودند که بیوجارها پس از افزوده شدن به خاک می‌توانند مقدار قابل توجهی عناصری مانند نیتروژن و فسفر به خاک آزاد کنند.

درصد رهاسازی خالص نیتروژن از تیمارها در شکل ۳ نمایش داده شده است. تیمار WSB و NSB به ترتیب ۵۲ و ۵۰/۵ درصد از نیتروژن خود را طی ۱۲۰ روز آزاد کردند در حالی که تیمار GSB فقط ۲۸/۶ درصد از کل نیتروژن خود را آزاد کرد (شکل ۳). انحلال N حاوی آمیدها در بیوجار مکانیسم اصلی برای رهاسازی درصد بالای نیتروژن بود. به طوری که انحلال آمیدها و رهاسازی N به‌طور همزمان در ۱۲۰ روز اتفاق افتاده است. با این حال نسبت C/N بیشتر (بالای ۲۰) برخی بیوجارها ممکن است آلی شدن نیتروژن را باعث شده و موجب کاهش فراهمی N گردند (Chan and Xu, 2009). هر سه بیوجار مصرفی C/N بالای ۲۰ داشتند ولی GSB بیشتر از WSB و WSB بیشتر از NSB بود. بنابراین انتظار می‌رفت که GSB کمترین میزان رهاسازی N به محیط را داشته باشد.

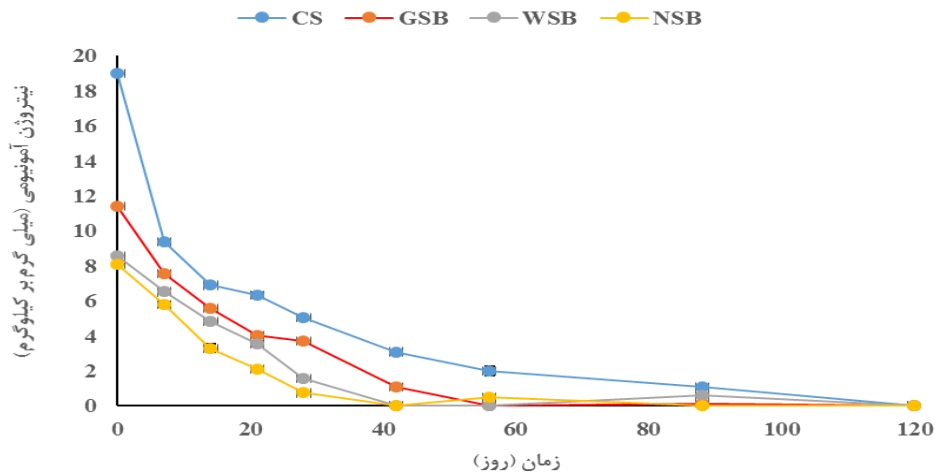


شکل ۲- تغییرات نیتروژن در خاک، تحت تیمارهای مختلف در طی زمان انکوباسیون (CS، GSB، WSB، NSB) به ترتیب خاک شاهد، خاک با تیمار بیوچار ضایعات انگور، خاک با تیمار بیوچار کاه و کلش گندم و خاک با تیمار بیوچار گردو است)



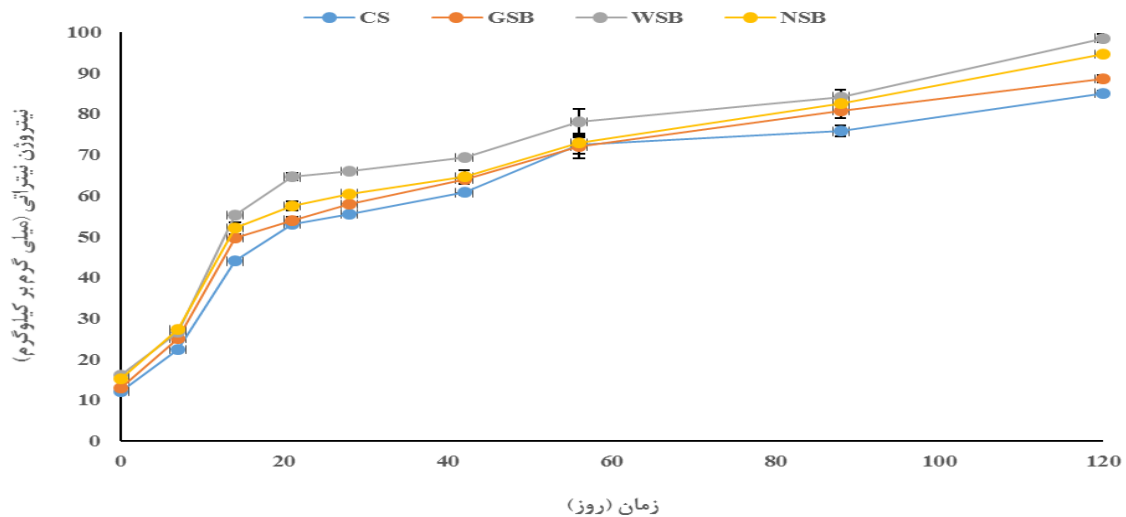
شکل ۳- درصد نیتروژن رها شده در خاک تحت تیمارهای مختلف در طی زمان انکوباسیون (GSB، WSB، NSB) به ترتیب خاک با تیمار بیوچار ضایعات انگور، خاک با تیمار بیوچار کاه و کلش گندم و خاک با تیمار بیوچار گردو است)

با توجه به شکل ۴ رهاسازی آمونیوم در طی مدت زمان انکوباسیون کاهش یافت. Jing et al., (2020) با بررسی اثرات بیوچارهای مختلف کاه بر کربن آلی، نیتروژن، فسفر و فعالیت آنزیم‌های موجود در خاک شالیزار به این نتیجه رسیدند که محتوای نیتروژن-آمونومی با کاربرد بیوچار کاهش یافت. آن‌ها بیان نمودند احتمالاً به این دلیل که بیوچار دارای گروه‌های عاملی حاوی اکسیژن است و سطح آن بسیار متخلخل است، بنابراین، می‌تواند نیتروژن-آمونومی را جذب کند بنابراین، اگر سطح بیوچارها افزایش یابد، ممکن است جذب فیزیکی نیتروژن-آمونومی را بهبود بخشد. Piash et al (2021) با بررسی رهاسازی عناصر ضروری از بیوچار کود و کاج به این نتیجه رسیدند که نیتروژن آمونیومی در طی زمان کاهش یافت. آن‌ها بیان نمودند که دلیل این امر احتمالاً پدیده نیتریفیکاسیون می‌باشد. افزایش نیتریفیکاسیون آمونیوم رها شده این واقعیت را توضیح می‌دهد که بیوچار باعث بهبود نیتریفیکاسیون در خاک می‌شود (Clough et al., 2013). البته نیتریفیکاسیون گسترده ممکن است باعث تجمع میزان قابل توجهی نترات گردد که این به دلیل عدم توانایی خاک در حفظ آن، مطلوب نمی‌باشد. متعاقباً نیتروژن-نیتراتی یا به‌طور مستقیم از طریق آبشویی یا غیرمستقیم با فراهم کردن بستری برای انتشار  $N_2O$  از بین می‌رود (Clough et al., 2013).



شکل ۴- تغییرات نیتروژن آمونیومی خاک تحت تیمارهای مختلف در طی زمان انکوباسیون (CS، GSB، WSB و NSB به ترتیب خاک شاهد، خاک با تیمار بیوجار ضایعات انگور، خاک با تیمار بیوجار کاه و کلش گندم و خاک با تیمار بیوجار گردو است)

همان طور که از شکل ۵ مشخص است نیتروژن نیتراتی در تمام تیمارها با افزایش زمان انکوباسیون افزایش یافت. این افزایش تا زمان ۱۴ روز با شیب تندی انجام گرفت. به طوری که غلظت نیترات در تیمار شاهد از ۱۲ به ۴۴، در تیمار GSB از ۱۲/۹ به ۴۹/۷، در تیمار WSB از ۱۶ به ۵۵/۸ و در تیمار NSB از ۱۵/۲ به ۵۲ میلی گرم بر کیلوگرم رسید. متوسط افزایش غلظت چیزی حدود ۳/۶ برابر در مقایسه با شروع انکوباسیون بود. ولی تا ۸۸ روز افزایش با شیب ملایم (متوسط افزایش غلظت چیزی حدود ۱/۲ برابر) و از ۸۸ روز تا ۱۲۰ روز مجدداً با شیب تندی ادامه یافت. افزایش نیترات با کاهش آمونیوم همبستگی معنی دار دارد که تأییدکننده پدیده نیتریفیکاسیون می باشد.

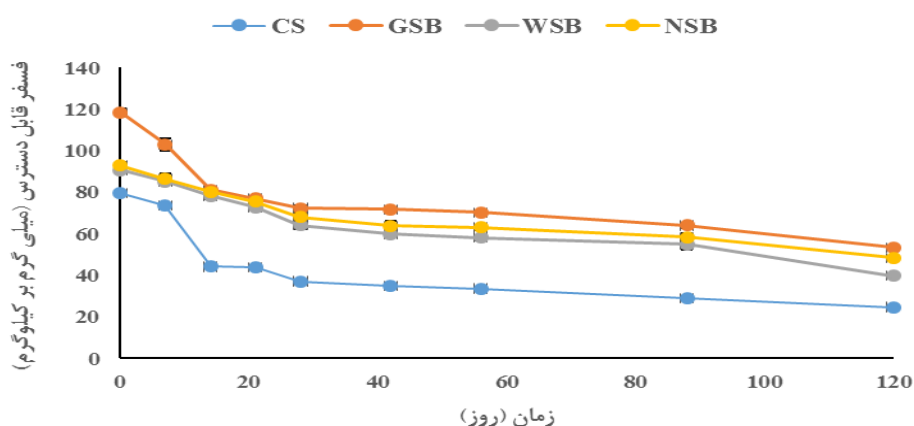


شکل ۵- تغییرات نیتروژن نیتراتی خاک تحت تیمارهای مختلف در طی زمان انکوباسیون (CS، GSB، WSB و NSB به ترتیب خاک شاهد، خاک با تیمار بیوجار ضایعات انگور، خاک با تیمار بیوجار کاه و کلش گندم و خاک با تیمار بیوجار گردو است)

#### سینتیک رهاسازی فسفر از تیمارها

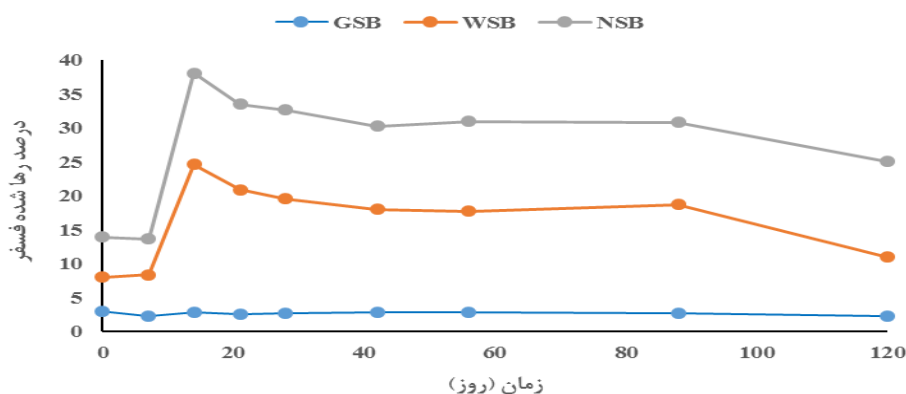
تیمار بیوجار نسبت به شاهد موجب افزایش فسفر قابل دسترس گردید (شکل ۶). بیشترین فسفر قابل دسترس در تیمار GSB (۱۱۸/۴ میلی گرم بر کیلوگرم) در ابتدای انکوباسیون مشاهده گردید. میزان فسفر قابل دسترس در تیمار بیوجار در ابتدای انکوباسیون ۱/۹-۱/۴ برابر بیشتر از میزان کود توصیه شده برای گندم بود. بین تیمار بیوجار NSB و WSB از لحاظ فسفر قابل دسترس اختلاف معنی داری وجود نداشت. گزارش شده است که بیوجار فسفر قابل دسترس را افزایش می دهد که عمدتاً توسط گیاه جذب می گردد (Wang et al., 2014). Nigussie et al (2012) گزارش نمودند که کاربرد بیوجار به طور معنی داری میزان فسفر قابل دسترس خاک را افزایش داد. آن ها نتیجه گرفتند که کاربرد بیوجار در خاک برای افزایش جذب مواد مغذی خاک و در نتیجه برای بالا بردن حاصلخیزی خاک مفید است.





شکل ۶- تغییرات فسفر قابل دسترس خاک تحت تیمارهای مختلف در طی زمان انکوباسیون (CS, GSB, WSB, NSB) به ترتیب خاک شاهد، خاک با تیمار بیوجار ضایعات انگور، خاک با تیمار بیوجار کاه و کلش گندم و خاک با تیمار بیوجار گردو است)

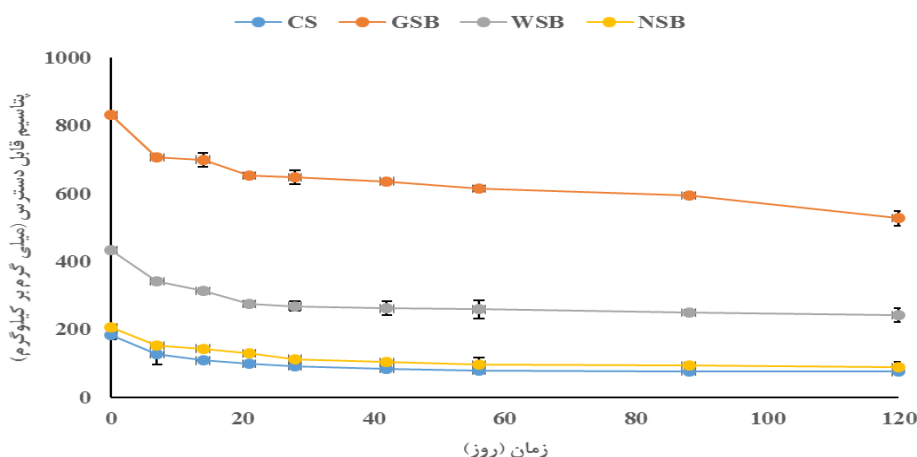
با توجه به انتشار فسفر کارآمدترین بیوجار در این زمینه بیوجار گردو بود. که طی ۱۲۰ روز توانست ۵ درصد از فسفر خود را آزاد کند در حالی که ناکارآمدترین بیوجار انگور بود که فقط ۰/۵ درصد از فسفر خود را طی این مدت آزاد نمود. با توجه به میزان فسفر کل بیوجار حاصل از ضایعات انگور ما انتظار داشتیم که این تیمار میزان رهاسازی بیشتری را نشان دهد. درحالی که کمترین رهاسازی در این بیوجار اتفاق افتاد. بسیاری از مطالعات نشان دادند که همیشه محتوای بالای فسفر بیوجار نمی‌تواند تضمینی برای دسترسی بهتر فسفر باشد. در طی انکوباسیون مقدار فسفر قابل جذب در کلیه تیمارها کاهش یافت (شکل ۷). (Gao et al (2018) با استناد به بسیاری از مطالعات قبلی گزارش نمودند که بیوجار می‌تواند قابلیت فراهمی فسفر را به‌وسیله تثبیت (عمدتاً Ca-P) یا پیوند یونی کاهش دهد. در تمام تیمارها رهاسازی تا روز هفتم تقریباً ثابت و در تیمار NSB و WSB یک افزایش معنی‌دار تا ۲۱ روز داشت که این می‌تواند به دلیل حل کانی‌های فسفات کلسیم به دلیل کاهش pH باشد. (Wang et al (2015) میزان قابل ملاحظه‌ای فسفر در خاک را به دلیل کاهش pH گزارش نمودند. از ۲۱ تا ۸۸ روز رهاسازی به تدریج کم و در ۱۲۰ روز کاهش معنی‌دار شد. کاهش قابلیت دسترسی فسفر در خاک در مراحل بعدی انکوباسیون یک میزان رهاسازی آهسته و ثابت فسفر از بیوجار را تعیین کرد که نشان‌دهنده آن است که بیوجار نمی‌تواند همیشه به عنوان یک منبع فسفر، مقدار ثابت فسفر قابل دسترس در خاک را تضمین نماید. حتی با کاهش فسفر قابل دسترس در پایان ۱۲۰ روز انکوباسیون، مقدار فسفر قابل دسترس در تیمار بیوجار ۴/۶-۶/۲ برابر بیشتر از مقدار توصیه شده کود بود. این یافته‌ها نشان می‌دهد که بیوجار پتانسیل افزایش فسفر قابل دسترس را در خاک شاید بیشتر از یک فصل زراعی دارا می‌باشد. ثابت شده است که گروه‌های عاملی روی سطح بیوجار ممکن است فسفر را تثبیت کنند. اما برخی مطالعات نشان داده‌اند که این فسفر پایدار ممکن است به منبع طولانی مدت فسفر تبدیل شود که آن را به تدریج آزاد و برای گیاهان قابل دسترس کند (Torres-Dorante et al., 2005).



شکل ۷- درصد رها شده فسفر خاک، تحت تیمارهای مختلف در طی زمان انکوباسیون (GSB, WSB, NSB) به ترتیب خاک با تیمار بیوجار ضایعات انگور، خاک با تیمار بیوجار کاه و کلش گندم و خاک با تیمار بیوجار گردو است)

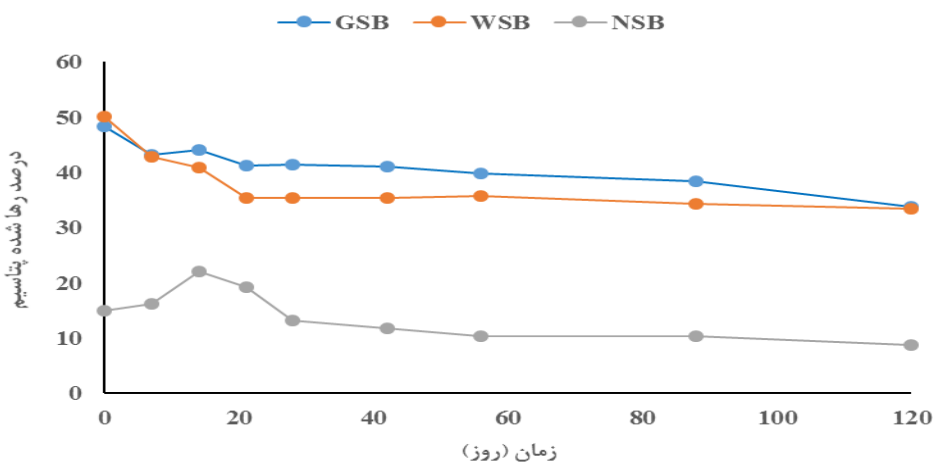
### سینتیک رهاسازی پتاسیم از تیمارها

به طور کلی در دسترس بودن پتاسیم در خاک تیمار شده با بیوچار همراه با کود بیشتر از خاک شاهد همراه با کود بود (شکل ۸). مقدار پتاسیم قابل دسترس در تیمار GSB (به طور میانگین ۶/۷-۲/۳ برابر) بیشتر از سایر تیمارها بود. (Haefele et al., 2011) با بررسی تاثیرات کاربرد بیوچار بقایای برنج بر عناصر قلیایی خاک نشان دادند که بیوچار سبب افزایش قابلیت استفاده پتاسیم گردید اما مقدار کلسیم، منیزیم و سدیم تبادلی را کاهش داد. نجفی قیری (۱۳۹۴) با کاربرد بیوچارهای با منشأ گیاهی مختلف افزایش ۹۳۴ میلی گرم بر کیلوگرم در مجموع شکل های پتاسیم محلول، تبادلی و غیرتبادلی در خاک های آهکی استان فارس را گزارش نمود.



شکل ۸- تغییرات پتاسیم قابل دسترس خاک تحت تیمارهای مختلف در طی زمان انکوباسیون (CS، GSB، WSB و NSB به ترتیب خاک شاهد، خاک با تیمار بیوچار ضایعات انگور، خاک با تیمار بیوچار کاه و کلش گندم و خاک با تیمار بیوچار گردو است)

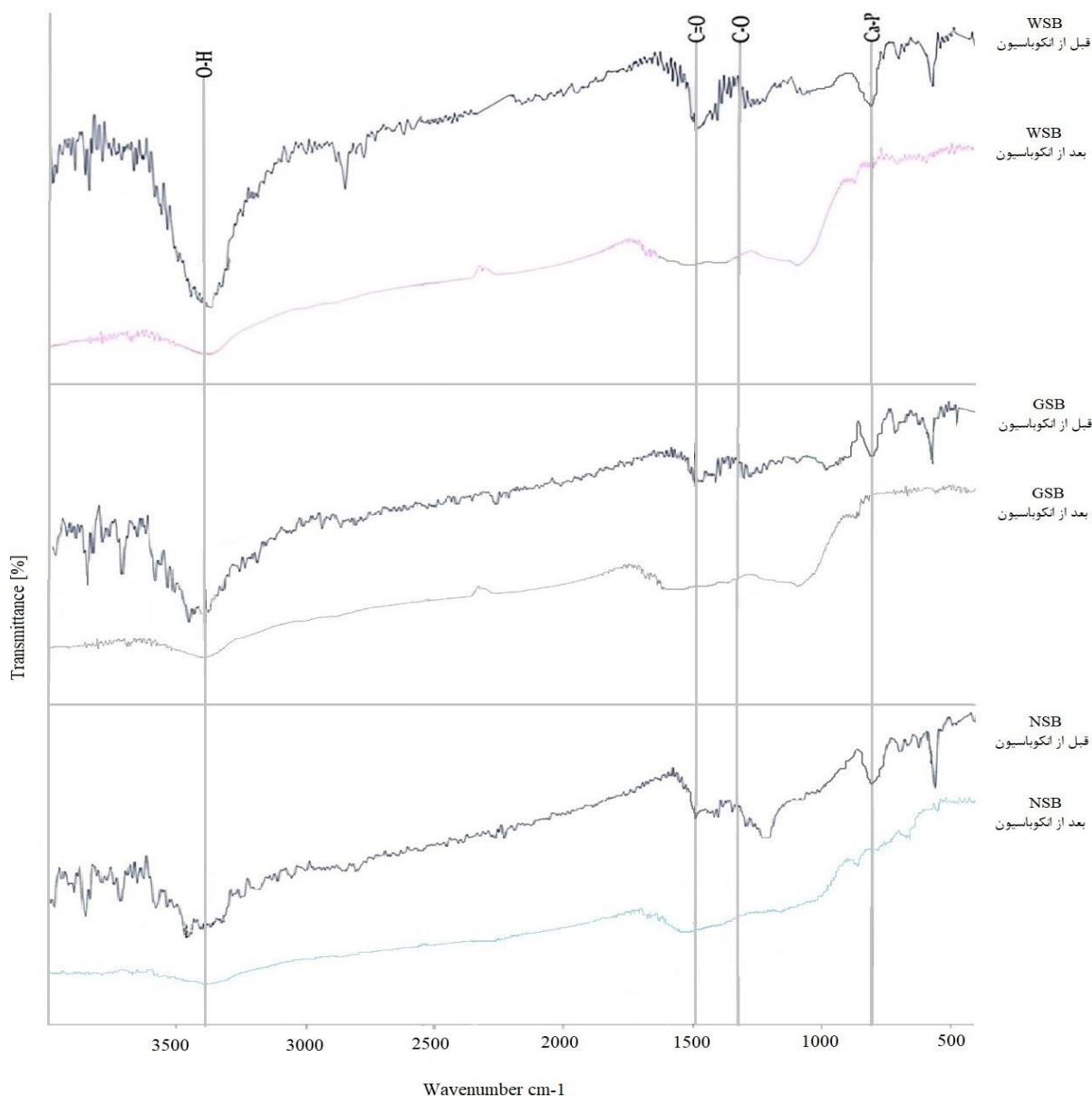
بالاترین میزان انتشار (به طور متوسط ۴۱/۳ درصد در مدت زمان انکوباسیون) در تیمار GSB مشاهده شد (شکل ۹). میزان انتشار در طی زمان کاهش یافت (شکل ۹). از لحاظ میزان آزادسازی بین تیمار GSB و WSB اختلاف معنی داری وجود نداشت و هر دو به طور معنی داری از تیمار NSB بیشتر بودند. مطالعه نشان داد که بین عناصر، رهاسازی پتاسیم در طی مدت زمان انکوباسیون از بیوچار بیشتر از سایر عناصر بود. (Piash et al., 2021) با مطالعه رهاسازی عناصر ضروری از بیوچارهایی بر پایه کود حیوانی و ضایعات چوبی گیاه آزادسازی سریع پتاسیم را مشاهده کردند این محققان با بررسی SEM-EDS کاهش معنی دار پتاسیم از سطح بیوچارها را در پایان انکوباسیون مشاهده نمودند. با توجه به آزادسازی سریع پتاسیم از بیوچار گفته شده که آن تاثیر کوتاه مدت روی خاک دارد (Angst and Sohi, 2013).



شکل ۹- درصد رها شده پتاسیم خاک، تحت تیمارهای مختلف در طی زمان انکوباسیون (GSB، WSB و NSB به ترتیب خاک با تیمار بیوچار ضایعات انگور، خاک با تیمار بیوچار کاه و کلش گندم و خاک با تیمار بیوچار گردو است)

## شناسایی گروه‌های عاملی موجود در ترکیبات آلی مورد مطالعه

گروه‌های عاملی بیوجارهای مورد استفاده در این پژوهش قبل از انکوباسیون در شکل ۱۰ مشخص گردید. از این طیف برای آگاهی از ماهیت پیوندها (تک گانه یا چندگانه بودن) می‌توان استفاده نمود. با توجه به شکل جذب در ناحیه  $871 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به گروه عاملی Ca-P است. پیک در ناحیه  $1400 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به کشش ساختار C-O آروماتیک فنول که نماینده ساختار لیگنین است، می‌باشد. جذب در ناحیه  $1500 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به کشش ارتعاشی C=O گروه آمیدهاست. جذب پهن در ناحیه  $3400 \text{ cm}^{-1}$  نشان‌دهنده وجود گروه عاملی O-H در ساختار این ترکیب است. بعد از ۱۲۰ روز انکوباسیون، پیک  $871 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به Ca-P و تقریباً  $1600 \text{ cm}^{-1}$  آمیدها به تدریج ناپدید شد (شکل ۱۰) که نشان‌دهنده حل ترکیبات فسفات و نیتروژن می‌باشد.



شکل ۱۰- طیف مادون قرمز بیوجارها قبل و بعد از انکوباسیون (WSB, GSB, NSB) به ترتیب خاک با تیمار بیوجار ضایعات انگور، خاک با تیمار بیوجار کاه و کلش گندم و خاک با تیمار بیوجار گردو است)

## نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که با افزودن بیوجار در خاک وضعیت عناصر ضروری مثل نیتروژن، فسفر و پتاسیم برای گیاه بهبود می‌یابد. به طوری که افزودن بیوجار CSB, WSB و NSB به ترتیب موجب افزایش ۶۹، ۷۸ و ۹۴ درصدی نیتروژن خاک در مقایسه با شاهد شد.



افزودن بیوپچار CSB، WSB و NSB نیز به ترتیب موجب افزایش ۷۷، ۵۱ و ۵۹ درصدی فسفر خاک و افزایش ۳۷، ۱۸۵ و ۲۸ درصدی پتاسیم خاک در مقایسه با شاهد شد. با توجه به میزان عناصر رها شده از بیوپچارها به خاک در طی مدت انکوباسیون می‌توان نتیجه گرفت تیمار GSB می‌تواند ارزش زراعی بلند مدت داشته و در مدت زمان مدیدی عناصر به خاک اضافه کند. بنابراین با در دسترس بودن مقادیر فراوان از ضایعات گردو، انگور و گندم در این استان و امکانات تهیه بیوپچار، هم می‌توان از رهاشدن بلا استفاده این ضایعات در طبیعت جلوگیری کرد و هم با توجه به وضعیت اقلیمی ایران و کمبود شدید مواد آلی، می‌توان استفاده از بیوپچار را به عنوان یک ماده آلی پایدار در خاک توصیه نمود.

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

### منابع

نجفی قیری، مهدی و بوستانی، حمیدرضا. (۱۳۹۶). تاثیر کاربرد برخی بقایای گیاهان زراعی و تفاله شیرین بیان و بیوپچار حاصل از آن‌ها بر وضعیت پتاسیم یک خاک آهکی. *نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*. ۲۴ (۳): ۷۷-۹۳.

نجفی قیری، مهدی. (۱۳۹۴). تاثیر کاربرد بیوپچارهای مختلف بر برخی ویژگی‌های خاک و قابلیت جذب بعضی از عناصر غذایی در یک خاک آهکی. *نشریه پژوهش‌های خاک*. ۴۹ (۳): ۳۵۱-۳۵۸.

### REFERENCES

- Angst, T.E. and Sohi, S.P. (2013). Establishing release dynamics for plant nutrients from biochar. *GCB Bioenergy*. 5, 221-226.
- Agegehu, G., Nelson, N. and Bird, M.I. (2016). Crop yield, plant nutrient uptake and soil physicochemical properties under organic soil amendments and nitrogen fertilization on Entisols. *Soil Tillage Research*. 160, 1-13.
- Arden-Clarke, C. and Hodges, R. (1988). The environmental effects of conventional and organic/biological farming systems. II. Soil ecology, soil fertility and nutrient cycles. *Biological Agriculture & Horticulture*. 5, 223-287.
- Bird, M. I., McBeath, A. V., Ascough, P. L., Levchenko, V. A., Wurster, C. M., Munksgaard, N. C. and Williams, A. (2017). Loss and gain of carbon during char degradation. *Soil Biology and Biochemistry*. 106, 80-89.
- Chan, K.Y. and Xu, Z. (2009). Biochar nutrient properties and their enhancement. *Biochar of Environmental Management Science Technology*. 1, 67-84.
- Clough, T.J., Condon, L.M., Kammann, C. and Muller, C. (2013). A review of biochar and soil nitrogen dynamics. *Agronomy*. 3, 275-293.
- Dari, B., Nair, V.D., Harris, W. G., Nair, P.K.R., Sollenberger, L. and Mylavarapu, R. (2016). Relative influence of soil- vs. biochar properties on soil phosphorus retention. *Geoderma*. 280, 82-87.
- Gao, S., Deluca, T.H. and Cleveland, C.C. (2018). Biochar additions alter phosphorus and nitrogen availability in agricultural ecosystems: a meta-analysis. *Science of the Total Environment*. 654, 463-472.
- Gee, C.W. and Bauder, J.W. (1986). Particle size analysis. In: A. Klute. (Ed), Methods of soil analysis. Part, Physical and mineralogical methods. *American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA*. pp. 383-411.
- Guo, M., Uchimiya, S.M. and He, Z. (2016). Agricultural and Environmental Applications of Biochar: *Advances and Barriers*. 63, 495-504.
- Haefele, S.M., Konboon, Y., Wongboon, W., Amarante, S., Maarifat, A.A. and Pfeiffer, E.M. (2011). Effect and fate of biochar from rice residues in rice-based systems. *Field Crops Research*. 121 (3): 430-440.
- Hemati Matin N, Jalali M, Antoniadis V, Shaheen S.M, Wang J, Zhang T, Wang H and Rinklebe J. (2020) Almond and walnut shell-derived biochars affect sorption-desorption, fractionation, and release of phosphorus in two different soils. *Chemosphere*. 241:124888.
- Ippolito, J.A., Spokas, K.A., Novak, J.M., Lentz, R.D and Cantell, K.B. (2015). Biochar elemental composition and factors influencing nutrient. In: Biochar for Environmental Management: Science, *Technology and Implementation*. PP. 139-163.
- Jing, Y., Zhang, Y., Han, I., Wang, P., Mei, Q and Huang, Y. (2020). Effects of different straw biochars on soil organic carbon, nitrogen, available phosphorus, and enzyme activity in paddy soil. *Scientific Reports*. 10:8837 | <https://doi.org/10.1038/s41598-020-65796-2>

- Jones, B. J. R. (2001). Laboratory guide for conducting soil test and plant analysis. New York: Crc. P. 384
- Kamali, M., Jahaninfard, D., Mostafaie, A., Davarazar, M., Gomes, A.P.D., Tarelho, L., Dewil, R. and Aminabhavi, T.M. (2020). Scientometric analysis and scientific trends on biochar application as soil amendment. *Chemical Engineering Journal* 395, 125128.
- Lehmann, J. and Joseph, S. (2015). Biochar for Environmental Management: Science, Technology and Implementation. Routledge. PP: 907.
- Mukherjee, A. and Zimmerman. A.R. (2013). Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar-soil mixture. *Geoderma*. 193, 122-130.
- Najafi Ghairi, M and Boostani, H.R. (2017). Effect of application of crop and licorice root residues and their biochars on potassium status of a calcareous soil. *Journal of Water and Soil Conservation*. Vol. 24(3), 77-93. <http://jwsc.gau.ac.ir>. (In Persian)
- Najafi Ghairi, M. (2014). The effect of using different biochars on some soil characteristics and the ability to absorb some nutrients from a calcareous soil. *Soil research*. 29 (3): 351-358. (In Persian)
- Nelissen, V., Rutting, T., Huygens, D., Staelen, J., Ruyschaert, G. and Boeckx, P. (2012). Maize biochars accelerate short-term soil nitrogen dynamics in a loamy sand soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 55, 20-27.
- Nelson, R.E. (1982). Carbonate and gypsum. In: page, A.L; Miller, R.H; and Keeney, D.R. Methods of soil analysis. Part2. Chemical and microbiological properties (2<sup>nd</sup> Ed). *Agronomy monograph*. No.9. ASA. PP: 181-196
- Nigussie, A., Kissi, E.K., Misganaw, M. and Ambaw, G. (2012). Effect of biochar application on soil properties and nutrient uptake of lettuces (*Lactuca Sativa*) grown in chromium polluted soils. *American Eurasian Journal of Agriculture & Environmental*. 12 (3): 369-376.
- Ok, Y.S., Tsang, D.C., Bolan, N. and Novak, J.M. (2018). Biochar from Biomass and Waste: Fundamentals and Applications. Elsevier.
- Oliveira, F.R., Patel, A.K., Jaisi, D.P., Adhikari, S., Lu, H. and Khanal, S.K. (2017). Environmental application of biochar, Current status and perspectives. *Bioresource Technology*. v.246, p. 110-122.
- Olsen, S.R. and Sommers, L.E. (1982). Phosphorus. In: Miller, A.L., Methods of soil analysis, part 2. Chemical and mineralogical properties (2<sup>nd</sup> Ed). Agronomy series NO.9. *Soil Science Society of American Journal*. USA. pp. 403-430.
- Piash, M.I., Lwabuchi, K., Itoh, T. and Uemura, K. (2021). Release of essential plant nutrients from manure and wood-based biochars. *Geoderma*. 397, 1-11.
- Pierzynski, G. M. (2000). Methods of phosphorus analysis for soils, sediments, residuals, and waters.
- Prendergast-Miller, M.T., Duvall, M. and Sohi, S.P. (2011). Localisation of nitrate in the rhizosphere of biochar-amended soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 43(11), 2243-2246.
- Rowell, D.L. (1994). Soil Science: Methods and Applications. Longman Group, London.
- Sheng, Y. and Zhu, L. (2018). Biochar alters microbial community and carbon sequestration potential across different soil pH. *Science of The Total Environment*. 622-623, 1391-1399.
- Tan, K.H. (2005). Soil Sampling, Preparation, and Analysis. CRC Press.
- Tan, Z., Liu, L., Zhang, L. and Huang, Q., 2017. Mechanistic study of the influence of pyrolysis conditions on potassium speciation in biochar "preparation-application" process. *Science of The Total Environment*. 599: 207-216.
- Tan, Z., Ye, Z., Zhang, L. and Huang, Q. (2018). Application of the 15N tracer method to study the effect of pyrolysis temperature and atmosphere on the distribution of biochar nitrogen in the biomass-biochar-plant system. *Science of The Total Environment*. 622-623, 79-87.
- Tilman, D., Cassman, K.G., Matson, P.A., Naylor, R. and Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices, *Nature*. 418, 671-677.
- Torres-Dorante, L.O., Claassen, N., Steingrobe, B. and Olf, H.W. (2005). Hydrolysis rates of inorganic polyphosphates in aqueous solution as well as in soils and effects on P availability. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 168 (3): 352-358.
- Vitousek, P.M., Naylor, R., Crews, T., David, M., Drinkwater, L., Holland, E., Johnes, P., Katzenberger, J., Martinelli, L. and Matson, P. (2009). Nutrient imbalances in agricultural development. *Science*. 324, 1519-1520.
- Wang, T., Camps-Arbestain, M. & Hedley, M. (2014). The fate of phosphorus of ash-rich biochars in a soil-plant system. *Plant and Soil*. 375, 61-74.
- Wang, L., Xue, C., Nie, X., Liu, Y. and Chen, F. (2018). Effects of biochar application on soil potassium dynamics and crop uptake. *Journal of Plant Nutrition of Soil Science*. 181, 635-643.



- Yang, X., Meng, J., Lan, Y., Chen, W., Yang, T., Yuan, J. and Han, J. (2017). Effects of maize stover and its biochar on soil CO<sub>2</sub> emissions and labile organic carbon fractions in Northeast China. *Agriculture, Ecosystem and Environment*. 240, 24-31.
- Yin, Q., Zhang, B., Wang, R. and Zhao, Z. (2017). Biochar as an adsorbent for inorganic nitrogen and phosphorus removal from water: a review. *Environmental Science and Pollution Research*. 24, 26297-26309.
- Yuan, S., Tan, Z. and Huang, Q. (2018). Migration and transformation mechanism of nitrogen in the biomass–biochar–plant transport process. *Renew. Sustain Energy Reviews*. 85, 1–13.
- Zhao, X., Wang, S. and Xing, G. (2014). Nitrification, acidification, and nitrogen leaching from subtropical cropland soils as affected by rice straw-based biochar: laboratory incubation and column leaching studies. *Journal of Soil and Sediments*. 14, 471-482.
- Zhu, L. X., Xiao, Q., Cheng, H. Y., Shi, B. J., Shen, Y. F. and Li, S. Q. (2017). Seasonal dynamics of soil microbial activity after biochar addition in a dryland maize field in North-Western China. *Ecological Engineering*. 104,141-149.

## Evaluation of nitrogen, phosphorus, and potassium release from biochars of grape waste, straw and wheat stubble and walnut shell

### EXTENDED ABSTRACT

#### Background and purpose:

A large amount of agricultural wastes is annually produced all around the world, which can make a significant contribution to soil organic matter storage. One of the effective ways to provide soil organic matter is to convert these wastes into compounds which can provide energy and simultaneously reduce the volume and weight of waste materials. These compounds also improve water use efficiency without causing environmental pollution. One of these compounds is biochar. Biochar decomposition rate is much lower than other organic materials and thus it can remain in the soil for hundreds to thousands of years. Biochar has a high capacity in reducing greenhouse gases and can store carbon in the soil for a long time. Therefore, this study aimed to investigate the rates nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) release from biochars of walnut, grape, straw, and wheat stubble residues.

#### Materials and methods:

This experiment was conducted in a completely randomized design in three replicates. Biochars were used at 2% (W/W). The experimental treatments included control soil (CS), soil + grape waste biochar (GSB), soil + walnut waste (NSB), and soil + wheat straw and stubble biochar (WSB). The samples were incubated at  $25 \pm 3$  °C for about four months (from wheat planting to harvest). During the incubation period, soil moisture contents in treatments were kept constant (70% FC) by adding distilled water to the samples. Sampling was done on days 0, 7, 14, 28, 42, 56, 88, and 120. And after air-drying, the samples were stored to determine the release rate of N, P, and K.

#### Findings:

Biochar addition significantly increased the concentrations of nitrogen, phosphorus and potassium in all biochar-amended soils compared to the control soil. Nitrogen concentration ranged from  $766.6 \text{ mg kg}^{-1}$  in control (average of sampling times) to 1272.2, 1366.7, and 1488.9  $\text{mg kg}^{-1}$  in GSB, WSB and NSB, respectively. Phosphorus concentration enhanced from  $44.5 \text{ mg kg}^{-1}$  in control (average of sampling times) to 79.1, 67.1, and 70.8  $\text{mg kg}^{-1}$  in GSB, WSB and NSB, respectively, and the concentration of potassium in the control increased from  $103 \text{ mg kg}^{-1}$  to 656.5, 293.8, and 125.6  $\text{mg kg}^{-1}$  in the GSB, WSB, and NSB treatments, respectively. The WSB and NSB treatments released an average of 52% and 50.5% of their nitrogen content, respectively during 120 days, while GSB released only 28.6% of its total nitrogen on average. The nitrogen release rates in biochar treatments increased as follows:  $\text{WSB} \geq \text{NSB} > \text{GSB}$ . The highest available phosphorus in the GSB treatment was observed at the beginning of incubation. Regarding the release of phosphorus, NSB was considered to be the most efficient biochar, which was able to release 5% of its phosphorus in 4 months, while, GSB was the least effective biochar releasing only 0.5% of its phosphorus during the corresponding time. Phosphorus release from biochar treatments changed as follows:  $\text{NSB} > \text{WSB} > \text{GSB}$ . The amount of available potassium in GSB was 2.3 to 6.7 times higher than other treatments. The order of potassium release from biochar treatments was as follows:  $\text{GSB} > \text{WSB} > \text{NSB}$ . The results of infrared spectroscopy showed that the dissolution of amides containing nitrogen is the main mechanism of N release. The decrease in pH caused by nitrification probably facilitated Ca-P dissolution from biochar and led to a higher phosphorus release.

#### Conclusion:

The results indicated that NSB seemed to play a role as a complete or complementary source of nitrogen and phosphorus for wheat. Additionally, GSB could contribute to potassium supply for plants. However, inherent soil properties may greatly affect this process as well.