FANPAYA
Knowledge Based Company
(PUBLISHERS)

Journal of Environmental Sciences Studies (JESS)
Volume 10, Number 2 , Summer (2025)

Journal Homepage: www.jess.ir
Print ISSN: 2588-6851 Online ISSN: 2645-520X

Investigating the availability of some macronutrient and micronutrient and carbon sequestration in the presence of various types of biochars in a calcareous soil

Zahra varasteh khanlari[1*]

[*]1. Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran.
[*]Email Address: Zahra.varasteh@malayeru.ac.ir

Article Info

Article Type:
Research Paper

Article History:

Received Date:
2024/07/24
Revised Date:
2024/08/09
Accepted Date:
2024/08/12
Published Date:
2025/07/26

Keywords:
Release,
Cluster analysis,
Carbon pool index (CPI),

ABSTRACT

To investigate the availability of potassium, phosphorus, iron and zinc elements and carbon sequestration in the presence of various types of biochars, a factorial experiment was performed in three replications. For this purpose, biochars were used at 10 % (w/w). The experimental treatments included control soil (CS), soil + grape waste biochar (GSB), soil + brown walnut shell (NSB) and soil + poultry manure biochar (PMB). The soils were kept for two months at a temperature of 25 ± 3 degrees Celsius in a humidity of 70% of the field capacity and samples were taken from the soils at 5, 10, 30 and 60 days and the release of potassium, phosphorus, iron, zinc and carbon sequestration were measured in the samples. The results showed that the addition of GSB, NSB and PMB biochar caused an increase of 589.3, 55.6 and 493.2% of potassium and an increase of 28.6, 13.7 and 110.4% of soil phosphorus compared to the control. Also, the addition of biochar GSB, NSB and PMB caused an increase of 163.0, 6.7 and 19.5% of iron and an increase of 20.4, 36.0 and 55.5% on the soil compared to the control. NSB treatment released about 10% of potassium and 4.5% of zinc during 60 days of incubation, while this amount for both elements in GSB and PMB treatments was an average of 2%. Regarding iron release, the most efficient treatment was GSB and the least efficient was PMB. The highest carbon pool index (CPI) during incubation was seen in NSB treatment. The order of CPI index in different treatments was as follows: NSB > PMB > GSB In the cluster analysis, it was found that NSB treatment had the greatest effect on the measured factors.

Cite this article: Zahra Varasteh Khanlari(2025). Investigating the availability of some macronutrient and micronutrient and carbon sequestration in the presence of various types of biochars in a calcareous soil**,** Journal of Environmental Sciences Studies, 10(2) , Pages 10110-10122.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Every year, a large amount of agricultural waste is produced in the world, which can make an important contribution to the supply of soil organic matter. One of the effective ways to provide soil organic matter is to convert these wastes into compounds that, in addition to providing energy, also reduce the volume and weight of waste materials. These compounds, while increasing the efficiency of water consumption, do not endanger the health of the soil and the environment. One of these compounds is biochar. Biochar is a product of thermal chemical combustion and carbonization of organic biomass, which is usually produced through pyrolysis of biomass at different temperatures under low oxygen conditions. Biochar decomposition rate is much lower than other organic materials and 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. Biochars have attracted the attention of researchers in order to increase soil carbon (C) storage, increase crop yield, improve physical, chemical and biological properties of soil and accelerate the cycle of soil nutrients. Therefore, the purpose of this study was to investigate the release of some essential nutrients from different biochars and carbon sequestration.

Materials and methods

To carry out this research, the ratio of 10 percent by weight of biochars was used. For this purpose, 10 grams of each biochar was added to 90 grams of soil. Also, the control soil was prepared in three replicates. The experimental treatments included soil + grape waste biochar (GSB), soil + brown walnut shell biochar (NSB), soil + poultry manure biochar (PMB) and control soil (CS). The samples were incubated for two months at a temperature of 25 ± 3. During this period, the humidity was maintained at 70% of the field capacity and soil samples were taken at 5, 10, 30 and 60 days to determine the release of phosphorus, potassium, iron and zinc elements and to calculate carbon sequestration.

Results and discussion

The results showed that the addition of GSB, NSB and PMB biochar caused an increase of 589.3, 55.6 and 493.2% of potassium and an increase of 28.6, 13.7 and 110.4% of soil phosphorus compared to the control. The order of potassium release from the biochar treatment was as follows: NSB> PMB> GSB, regarding potassium release, NSB was the most efficient treatment and GSB was the least efficient. This study showed that the release of potassium from biochars was higher compared to other elements during the incubation time. Phosphorus release percentage in PMB treatment was more than other treatments. However, compared to other elements, the release of phosphorus continued with a slower process. This indicates that biochars can release phosphorus to the soil for more than one cropping season. The order of phosphorus release from different treatments was as follows: PMB > NSB > GSB. By adding biochars, the absorbable iron concentration increased. But this increase in GSB treatment compared to other treatments was significant (average 2.6 times during incubation time). Iron concentration increased from 12.0 mg kg^{-1} (average of all times) to 31.6, 12.8 and 14.4 mg kg^{-1} in GSB, NSB and PMB treatments, respectively. The order of iron release from the treatments was as follows: GSB > NSB > PMB. By adding biochar, the concentration of zinc in the soil increased compared to the control. Zinc concentration increased from 8.1 mg kg^{-1} in control soil (average of all times) to 9.8, 11.1 and 12.7 mg kg^{-1} in GSB, NSB and PMB treatments, respectively. Regarding zinc release, NSB was the most effective treatment and PMB was the least effective. The release order was: NSB > GSB > PMB. The highest carbon pool index (CPI) during incubation was seen in NSB treatment which was about 30% more than GSB treatment and 18% more than PMB treatment. The order of CPI index in different treatments was as follows: NSB > PMB > GSB. In the cluster analysis, it was found that NSB treatment had the greatest effect on the measured factors.

Conclusion

Biochar is an environmentally friendly material and its use in the soil can lead to an increase in organic matter and the content of nutrients. The results of this research showed that the addition of biochar to the soil increased the macronutrient and micronutrient studied. It also increased carbon sequestration in the soil. But it is difficult for a specific biochar to act as a complete nutrient. Therefore, it can be stated that the biochars used have long-term agricultural value, and considering Iran's climate and the severe lack of organic matter, biochar can be recommended as a stable organic matter in the soil.

مجله مطالعات علوم محیط زیست
جلد ۱۰ ، شماره ۲
Journal Homepage:www.jess.ir
شاپای چاپی: 2588-6851 شاپای الکترونیکی: 2645-520X

FANPAYA
Knowledge Based Company
(PUBLISHERS)

بررسی فراهمی برخی عناصر پرمصرف و کم مصرف و ترسیب کربن در حضور انواع بیوچارها در یک خاک آهکی

زهرا وارسته خانلری[1*]

[1*]-استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.
[*]ایمیل نویسنده مسئول: Zahra.varasteh@malayeru.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله علمی پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۳/۰۵/۰۳
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۳/۰۵/۱۹
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳/۰۵/۲۲
تاریخ انتشار:
۱۴۰۴/۰۵/۰۴

کلید واژه ها:
رهاسازی،
تجزیه و تحلیل خوشه ای،
شاخص مخزن کربن (CPI).

چکیده

به منظور بررسی فراهمی عناصر پتاسیم، فسفر، آهن و روی و ترسیب کربن در حضور انواع بیوچارها، آزمایش فاکتوریل در سه تکرار انجام شد. بدین منظور از بیوچارها در ۱۰ درصد وزنی استفاده گردید. تیمارهای آزمایش شامل خاک شاهد (CS)، خاک + بیوچار ضایعات انگور (GSB)، خاک + پوسته قهوه‌ای گردو (NSB) و خاک + بیوچار کود مرغی (PMB) بود. خاک‌ها به مدت دو ماه در دمای ۳±۲۵ درجه سلسیوس در رطوبت ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه نگه‌داری شدند و در زمان‌های ۵، ۱۰، ۳۰ و ۶۰ روز از خاک‌ها نمونه‌برداری صورت گرفت و رهاسازی پتاسیم، فسفر، آهن، روی و ترسیب کربن در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که افزودن بیوچار GSB، NSB و PMB به ترتیب موجب افزایش ۵۸۹/۳، ۵۵/۶ و ۴۹۳/۲ درصدی پتاسیم و افزایش ۲۸/۶، ۱۳/۷ و ۱۱۰/۴ درصدی فسفر خاک در مقایسه با شاهد شدند. همچنین افزودن بیوچار GSB، NSB و PMB به ترتیب موجب افزایش ۱۶۳/۰، ۶/۷ و ۱۹/۵ درصدی آهن و افزایش ۲۰/۴، ۳۶/۰ و ۵۵/۵ درصدی روی خاک در مقایسه با شاهد گردیدند. تیمار NSB چیزی حدود ۱۰ درصد از پتاسیم و ۴/۵ درصد از روی خود را طی ۶۰ روز انکوباسیون آزاد کرد در حالی که این مقدار برای هر دو عنصر در دو تیمار GSB و PMB به طور میانگین ۲ درصد بود. با توجه به انتشار آهن، کارآمدترین تیمار GSB و ناکارآمدترین تیمار PMB بود. بیشترین شاخص مخزن کربن (CPI) در طی انکوباسیون در تیمار NSB دیده شد. ترتیب شاخص CPI در تیمارهای مختلف به این صورت بود: NSB> PMB> GSB در تجزیه و تحلیل خوشه‌ای مشخص شد که تیمار NSB بیشترین تاثیر را بر فاکتورهای اندازه‌گیری شده داشت.

ناشر: انتشارات فن پایا

DOI: 10.22034/JESS.2024.469568.2278

۱-مقدمه

در مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران به دلیل شرایط اقلیمی و کمبود آب، پوشش گیاهی اندک بوده همین امر منجر به ورود کم کربن به خاک می‌گردد. در این شرایط تولیدات گیاهی و حاصلخیزی خاک به خطر می‌افتد. استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی حاصل از ضایعات آلی در خاک‌های مختلف به‌طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است. یکی از این اصلاح‌کننده‌های آلی بیوچار است. بیوچار محصول احتراق حرارتی شیمیایی و کربنیزاسیون زیست توده‌آلی است که معمولاً از طریق پیرولیز زیست توده در دمای مختلف تحت شرایط اکسیژن کم تولید می‌شود. بیوچار محتوای ۴۰ تا ۹۰ درصد کربن بوده و پایداری آن بسته به شرایط تولید صدها یا حتی هزاران سال تخمین زده شده است . کاربرد بیوچار بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اثر گذاشته و از طریق افزایش نگه‌داری آب و عناصر غذایی قابل دسترس موجب افزایش رشد و نمو گیاهان می‌گردد . افزودن بیوچار ترسیب کربن و غلظت عناصر غذایی را در کوتاه مدت و بلند مدت هم در شرایط آزمایشگاهی و هم در مزرعه تحت تاثیر قرار می‌دهد. بیوچار از طروق مختلف بر غلظت مواد مغذی در خاک تاثیر می‌گذارد: ۱- به عنوان یک منبع مغذی برای گیاهان و میکروارگانیسم‌ها عمل می‌کند ۲- به عنوان مخزن عناصر مغذی عمل کرده و بر تحرک و زیست فراهمی عناصر موثر است و ۳- موجب افزایش تخلخل خاک گردیده و با تغییر خصوصیات فیزیکی خاک بر واکنش‌ها و چرخه عناصر غذایی در خاک تاثیر می‌گذارد. بیوچار می‌تواند منبع مهم عناصر غذایی برای گیاهان باشد و می‌تواند عناصر پرمصرف اولیه و ثانویه و عناصر کم مصرف را برای گیاهان فراهم نماید. برخی از عناصر مانند N و S در طی تشکیل بیوچار از مواد اولیه، به صورت گاز منتشر می‌شود. ولی بقیه عناصر مغذی طی تجزیه بیوچار در خاک آزاد شده و به شکل قابل دسترس در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. رسولی و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که کاربرد بیوچار به خاک منجر به افزایش هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی و محتوای آهن، مس، روی، منگنز ، پتاسیم و فسفر قابل دسترس گیاه شد. محققان، بسیاری از بیوچارها را با هم مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که بیوچارها بسته به منشاء تولید آن‌ها ممکن است دارای سطوح مختلف پتاسیم باشند. نجفی قیری و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که پتاسیم کل در ریشه شیرین بیان به‌طور قابل توجهی کمتر از بیوچار تولید شده از زباله‌های شهری و کود گاوی می‌باشد به‌طوری که بر محتوای پتاسیم یک خاک آهکی تاثیری ندارد. در حالی‌که بیوچار تولید شده از ضایعات شهری و کود گاوی پتاسیم قابل عصاره‌گیر با اسیدنیتریک را به ترتیب ۵۰۰ و ۱۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش دادند . کریمی و همکاران (۱۳۹۹) با کاربرد بیوچار باگاس نیشکر تهیه شده در دماهای ۲۰۰، ۳۵۰ و ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به یک خاک آهکی به این نتیجه رسیدند که کاربرد هر سه نوع بیوچار موجب افزایش فسفر قابل استفاده (۷۶-۲ درصد) و پتاسیم قابل جذب (۱۸/۱-۵/۲ درصد) گردید. علاوه بر این بیوچار نسبت به سایر موادآلی ظرفیت زیادی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای داشته و می‌تواند کربن را برای دوره‌های طولانی ذخیره نماید. چینتالا و همکاران (۲۰۱۴) گزارش دادند که سالانه حجم زیادی از ضایعات آلی به‌ویژه در صنایع وابسته به کشاورزی تولید می‌شود که اغلب آن‌ها سوزانده شده که این امر موجب ورود مقدار قابل توجهی دی اکسیدکربن به اتمسفر می‌گردد. درحالی‌که تبدیل این پسماندها به بیوچار و افزودن آن‌ها به خاک علاوه بر بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک موجب ذخیره کربن اتمسفر برای قرن‌ها و حتی هزاران سال در خاک می‌گردد . کرمی و همکاران (۱۴۰۰) با بررسی تاثیر کاربرد بیوچار ذرت و نیشکر در ترسیب کربن خاک به این نتیجه رسیدند که کاربرد بیوچار در خاک موجب ترسیب بیشتر کربن در مقایسه با شاهد شد. ولی تاثیر بیوچار نیشکر به دلیل کربن بالاتر از بیوچار ذرت بیشتر بود. اطلاعات کمی درباره کاربرد بیوچار در خاک‌های آهکی وجود دارد. در حالی‌که یکی از مهم‌ترین محدودیت این خاک‌ها فراهمی کم عناصر غذایی مانند فسفر و عناصر ریزمغذی برای گیاهان به دلیل pH بالا و موادآلی کم این خاک‌ها است .تولید ضایعات در استان همدان زیاد است. این ضایعات یا سوزانده می‌شوند و یا بلااستفاده در خاک باقی می‌مانند. بنابراین معرفی بیوچار به‌منظور استفاده از این ضایعات برای کاهش مشکلات زیست محیطی و افزایش حاصلخیزی خاک بسیار مهم است. از سوی دیگر موادآلی کم خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران یک مشکل مهم حاصلخیزی است که ممکن است به‌وسیله کاربرد بیوچار حل شود. بنابراین هدف از این مطالعه بررسی رهاسازی برخی عناصر غذایی ضروری از بیوچارهای مختلف و ترسیب کربن بود.

۲-روش انجام تحقیق

- **تهیه خاک مورد مطالعه**

این پژوهش به منظور برر سی رها سازی برخی عنا صر غذایی از بیوچارهای مختلف و تر سیب کربن انجام گرفت. بدین منظور نمونه خاک مرکبی از شهرستان ملایر واقع در استان همدان تهیه گردید. نمونه خاک به آزمایشگاه منتقل و بعد از هواخشک شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شـد. در نمونه خاک بافت به روش هیدرومتری، pH و هدایت الکتریکی ، کربن‌آلی ، فسـفر قابل جذب ، پتاسـیم قابل جذب به روش استات آمونیوم یک مولار در pH=7، آهن و روی قابل عصاره‌گیر با DTPA تعیین گردید (جدول ۱).

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

بافت خاک	pH	هدایت الکتریکی	کربن‌آلی	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	آهن قابل جذب	روی قابل جذب
		($dS\ m^{-1}$)	(%)	($mg\ kg^{-1}$)			
لوم شنی	۷/۶	۰/۵	۰/۹۵	۷۲/۰	۱۹۸/۴	۱۰/۲	۸/۸

- **تهیه بیوچار و تعیین ویژگی‌ها**

در این پژوهش زی ست توده مورد ا ستفاده برای تهیه بیوچار، ضایعات انگور، پو سته قهوه‌ای گردو و کود مرغی بودند که ضایعات انگور از تاکستان‌های شهرستان ملایر، پوسته قهوه‌ای گردو از شهرستان تویسرکان و کودمرغی از شهرستان بیجار، استان کردستان تهیه گردیدند. زی ست توده‌ها برای تبدیل به بیوچار به یک شرکت دانش بنیان در اهواز، ا ستان خوز ستان فر ستاده شدند. در این مرکز زی ست توده‌ها در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس در محیطی با اگسیژن کم به مدت دو ساعت به بیوچار تبدیل شدند. برخی از ویژگی‌های بیوچار نظیر نیتروژن کل به روش کجلدال، pH ، فسفر و پتاسیم کل ، آهن و روی کل و کربن کل تعیین گردیدند (جدول ۲).

جدول ۲- برخی ویژگی‌های شیمیایی بیوچارهای مورد استفاده

نوع بیوچار	pH	نیتروژن کل	کربن‌کل	کربن/نیتروژن	فسفر کل	پتاسیم کل	آهن کل	روی کل
		(%)			(%)			
ضایعات انگور	۹/۲	۰/۹۸	۷۱/۳	۷۲/۷۵	۶/۴	۰/۶۷	۰/۰۴	۰/۰۰۸
پوسته قهوه‌ای گردو	۸/۴	۰/۷۷	۶۲/۱	۸۰/۶۵	۰/۵	۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۰۰۷
کودمرغی	۱۰/۲	۱/۱۰	۸۲/۶	۷۵/۰۹	۲/۶	۰/۴۲	۰/۲۵	۰/۰۳

- **مطالعات انکوباسیونی**

از نسبت ۱۰ درصد وزنی بیوچارها استفاده گردید. بدین منظور به ۹۰ گرم از خاک ۱۰ گرم از هر یک از بیوچارها اضافه گردید. همچنین خاک شاهد هم در سه تکرار تهیه شد. تیمارهای آزمایش شامل خاک+ بیوچار ضایعات انگور (GSB)، خاک+ بیوچار پوسته قهوه‌ای گردو (NSB)، خاک+ بیوچار کود مرغی (PMB) و خاک شاهد (CS) بودند. نمونه‌ها به مدت دو ماه در دمای ۳±۲۵ انکوباسیون شدند. در طی این مدت رطوبت در ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه نگه‌داری شد و در زمان‌های ۵، ۱۰، ۳۰ و ۶۰ روزها از خاک نمونه‌برداری شد و برای تعیین رهاسازی عناصر فسفر، پتاسیم، آهن و روی و محاسبه ترسیب کربن نگه‌داری شدند.

- **رهاسازی عناصر**

رها سازی عناصر غذایی از فرمول زیر محاسبه گردید.

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

- **محاسبه ترسیب کربن**

بر اساس تغییرات در محتوی کربن‌آلی خاک (SOC) بین خاک شاهد و خاک تیمار شده یک شاخص مخزن کربن (CPI[2]) محاسبه گردید. این شاخص از تقسیم SOC در خاک تیمارشده به SOC در خاک شاهد بدست می‌آید. CPI نشان‌دهنده تاثیر اصلاح‌کننده‌های خاک بر تجمع کربن کل خاک است که برای پتانسیل ترسیب کربن بدنبال کاربرد بیوچار مورد استفاده قرار می‌گیرد.

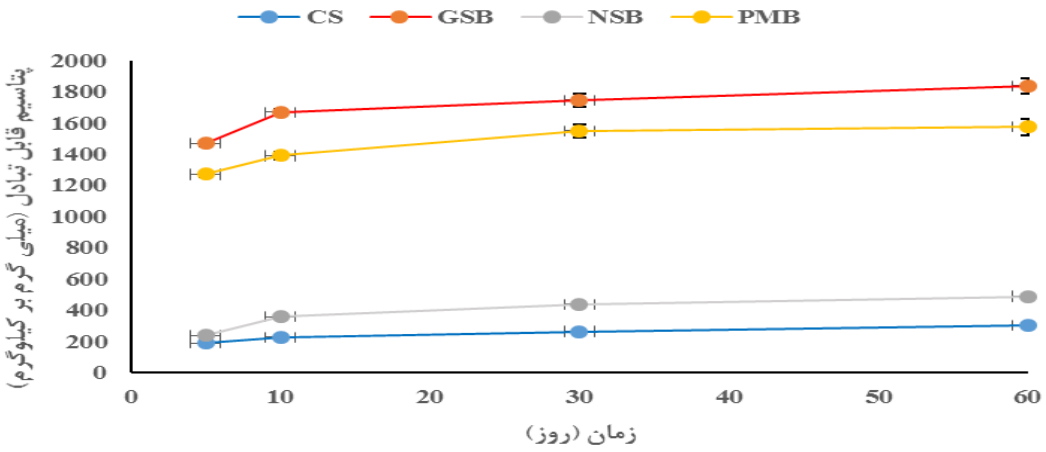
- **تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها**

داده‌های حاصل از ازمایش با کمک نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد. نتایج حاصل از این پژوهش با تجزیه و تحلیل خوشه‌ای[3](CA) مورد بررسی قرار گرفت.

۳- نتایج

- **سینتیک رهاسازی پتاسیم**

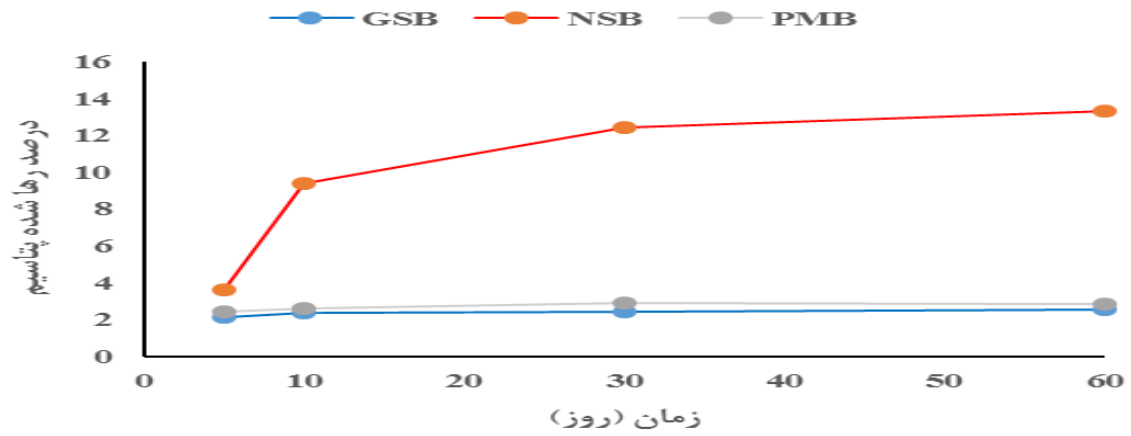
افزودن بیوچار موجب افزایش پتاسیم قابل تبادل در مقایسه با شاهد شد (شکل ۱). غلظت پتاسیم از ۲۴۳/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک شاهد (میانگین کل زمان‌ها)، به ۱۶۷۹/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار GSB، ۱۴۴۵/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم تیمار PMB و ۳۷۹/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار NSB رسید. ژانگ و همکاران (۲۰۲۰) با کاربرد ۲ درصد بیوچار به خاک نشان دادند که پتاسیم محلول و تبادلی به ترتیب ۳۰ و ۱۱ درصد افزایش یافت که این در نتیجه انحلال پتاسیم کانی و افزایش رشد میکروارگانسیم‌های حل‌کننده پتاسیم است. مقدار پتاسیم قابل تبادل در تیمار GSB (به‌طور میانگین ۶/۹-۱/۲ برابر) بیشتر از سایر تیمارها بود. با افزایش زمان انکوباسیون غلظت پتاسیم تبادلی افزایش یافت.



شکل ۱- تغییرات پتاسیم قابل تبادل خاک در تیمارهای مختلف در طی انکوباسیون (CS، GSB، NSB و PMB به ترتیب خاک شاهد، خاک با تیمار بیوچار ضایعات انگور، خاک با تیمار بیوچار پوسته قهوه‌ای گردو و خاک با تیمار بیوچار کودمرغی است)

تیمار NSB به‌طور میانگین ۱۰ درصد از پتاسیم خود را طی ۶۰ روز انکوباسیون رها کرد. ترتیب رهاسازی پتاسیم از تیمار بیوچار به این صورت بود: NSB> PMB> GSB (شکل ۲). نجفی قیری (۱۳۹۴) نشان داد که محتوای پتاسیم بیوچارهای تولید شده از بقایای گیاهی و همچنین تاثیر آن‌ها بر میزان پتاسیم خاک‌های تیمار شده به این ترتیب است: بقایای ذرت= بقایای پنبه > بقایای گندم > بقایای کنجد. با توجه به انتشار پتاسیم کارآمدترین تیمار، NSB و ناکارآمدترین GSB بود (شکل ۲). این مطالعه نشان داد که رهاسازی پتاسیم از بیوچارها در مقایسه با سایر عناصر در طی زمان انکوباسیون بیشتر بود. با توجه به آزادسازی پتاسیم از بیوچار، بیان شده که بیوچار در آزادسازی پتاسیم نقش بسیار عمده‌ای دارد. میزان رهاسازی به مرور زمان افزایش یافت.

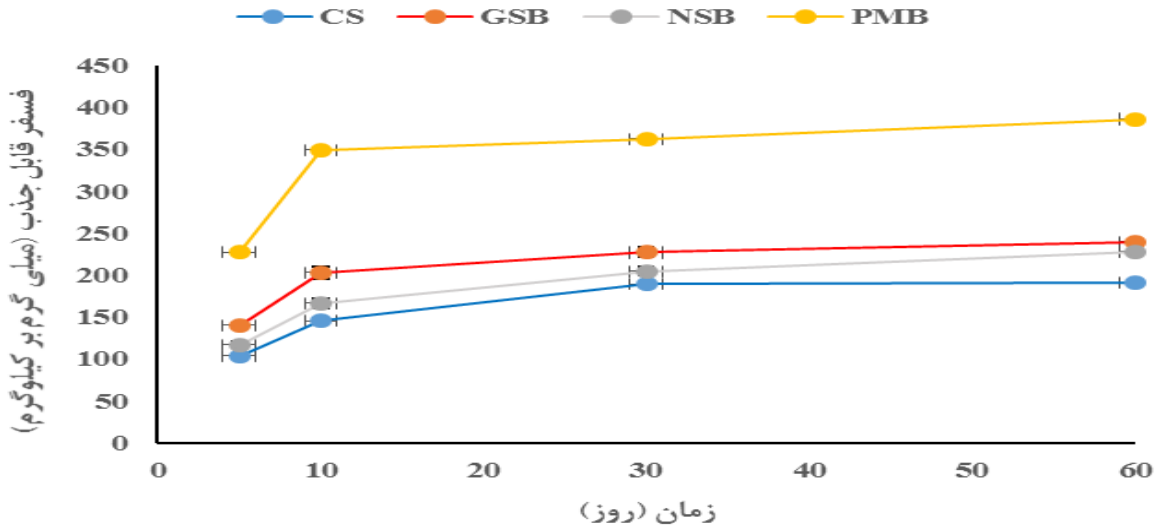
[1] - Soil Organic Carbon
[2] - Carbon Pool Index
[3] -Cluster Analysis



شکل ۲- درصد رها شده پتاسیم خاک در تیمارهای مختلف در طی انکوباسیون (GSB، NSB و PMB به ترتیب خاک با تیمار بیوچار ضایعات انگور، خاک با تیمار بیوچار پوسته قهوه‌ای گردو و خاک با تیمار بیوچار کودمرغی است)

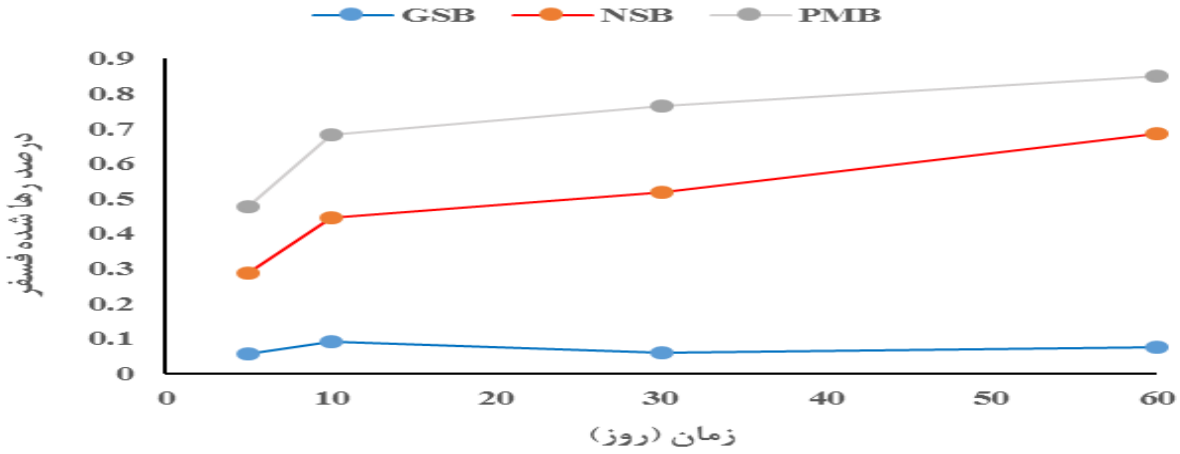
- **سینتیک رهاسازی فسفر**

با افزودن بیوچار به خاک غلظت فسفر قابل جذب در مقایسه با شاهد افزایش یافت (شکل ۳). به‌طوری‌که غلظت فسفر قابل جذب از ۱۵۷/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک شاهد (میانگین زمان‌ها) به ۲۰۲/۲، ۱۷۹/۰ و ۳۲۹/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب در تیمار GSB، NSB و PMB رسید. سونگ و همکاران (۲۰۱۸) با کاربرد بیوچار ذرت به یک خاک آهکی افزایش فسفر قابل استفاده در خاک را گزارش دادند . کاظمی و همکاران (۱۴۰۲) با بررسی رهاسازی عناصر غذایی در حضور بیوچار ضایعات انگور، بیوچار کاه و کلش گندم و بیوچار پوسته قهوه‌ای گردو به این نتیجه رسیدند که افزودن این بیوچارها به ترتیب موجب افزایش ۵۱، ۷۷ و ۵۹ درصدی فسفر و ۵۳۷، ۱۸۵ و ۲۸ درصدی پتاسیم خاک در مقایسه با تیمار شاهد گردیدند. حقایقی سولک و همکاران (۱۴۰۳) با بررسی تاثیر کاربرد لجن فاضلاب و بیوچار آن بر برخی خصوصیات شیمیایی و فعالیت آنزیمی به این نتیجه رسیدند که مقدار فسفر قابل استفاده در تمامی تیمارها در طول زمان انکوباسیون نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی‌دار داشت. با گذشت زمان، رهاسازی افزایش یافت ولی این افزایش از زمان ۵ تا ۱۰ روز با شیب تند ولی از آن به بعد تا پایان انکوباسیون با شیب ملایم افزایش یافت (شکل ۳). زو و همکاران (۲۰۲۰) دو مکانیسم برای افزایش فسفر بعد از کاربرد بیوچار را توضیح دادند که شامل: ۱- افزودن مستقیم فسفر از ساختار بیوچار به خاک، ۲- تاثیر بیوچار بر برخی عوامل خاکی موثر برای در دسترس بودن فسفر مانند pH خاک ، Al_3P ، Fe_3P و Ca_3P خاک و محتوای کربن آلی محلول.



شکل ۳- تغییرات فسفر قابل جذب خاک در تیمارهای مختلف در طی انکوباسیون (CS، GSB، NSB و PMB به ترتیب خاک شاهد، خاک با تیمار بیوچار ضایعات انگور، خاک با تیمار بیوچار پوسته قهوه‌ای گردو و خاک با تیمار بیوچار کودمرغی است)

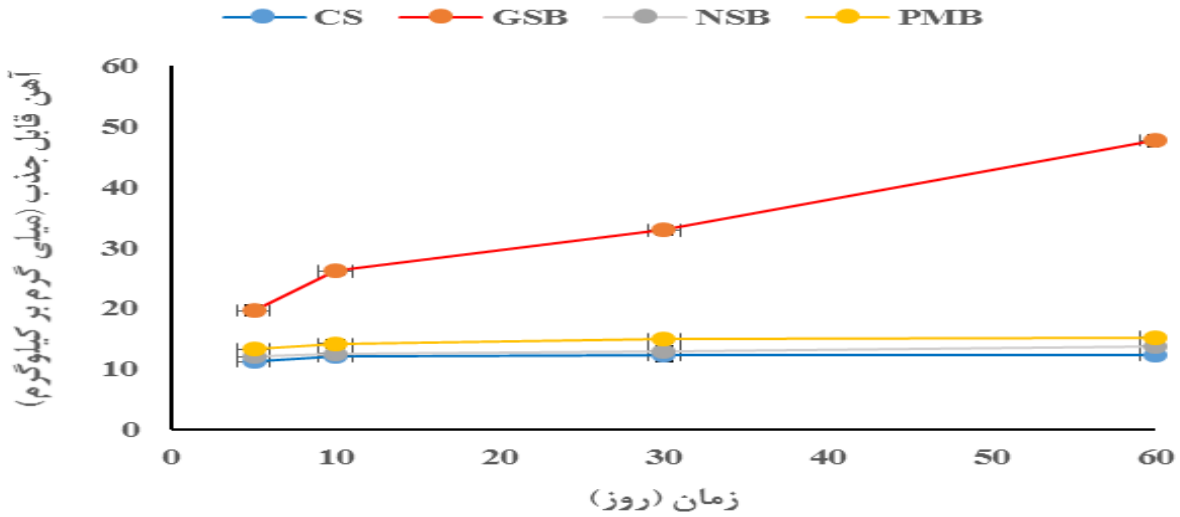
درصد رهاسازی فسفر در تیمار PMB بیش از سایر تیمارها بود (شکل ۴). ولی با این حال در مقایسه با سایر عناصر رهاسازی فسفر با روند کندتری ادامه یافت. این نشان‌دهنده آن است که بیوچارها بیش از یک فصل زراعی می‌توانند فسفر را به خاک آزاد نمایند. فسفر توسط گروههای عاملی سطح بیوچار تثبت می شود و این فسفر پایدار تبدیل به منبع طولانی مدت فسفر شده و به مرور زمان فسفر خود را در اختیار گیاه قرار می‌دهد . ترتیب رهاسازی فسفر از تیمارهای مختلف به این صورت بود: PMB> NSB> GSB



شکل ۴- درصد رها شده فسفر خاک در تیمارهای مختلف در طی انکوباسیون (GSB، NSB و PMB به ترتیب خاک با تیمار بیوچار ضایعات انگور، خاک با تیمار بیوچار پوسته قهوه‌ای گردو و خاک با تیمار بیوچار کودمرغی است)

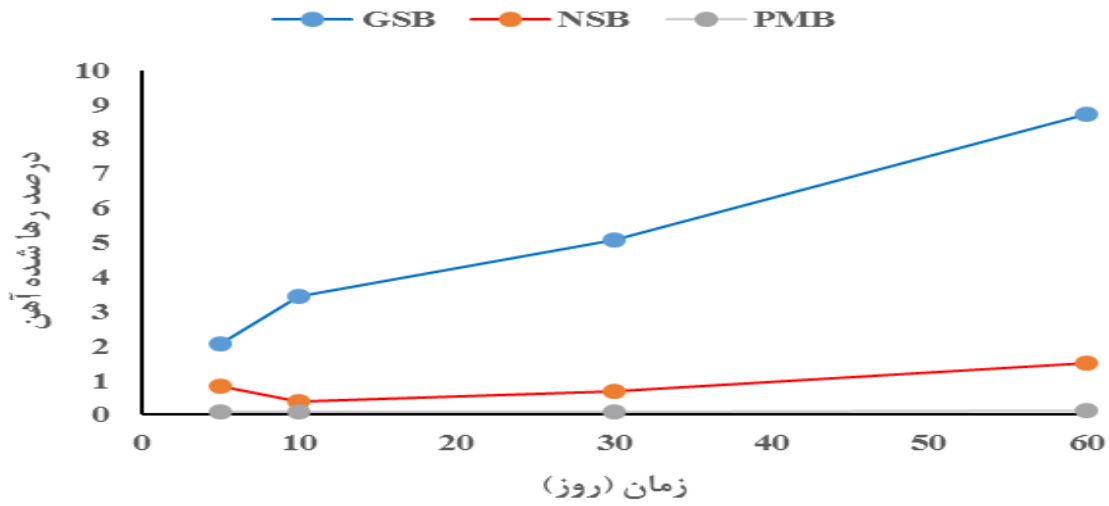
- **سینتیک رهاسازی آهن**

با افزودن بیوچارها غلظت آهن قابل جذب افزایش یافت. ولی این افزایش در تیمار GSB نسبت به سایر تیمارها در مقایسه با شاهد معنی‌دار بود (میانگین ۲/۶ برابر در طی زمان انکوباسیون) (شکل ۵). غلظت آهن از ۱۲/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین کل زمان‌ها) به ۳۱/۶، ۱۲/۸ و ۱۴/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب در تیمار GSB، NSB و PMB رسید. موادآلی و pH دو پارامتر مهم خاک در تعیین فراهمی عناصر ریزمغذی برای گیاهان هستند. بیوچار ممکن است عناصر ریزمغذی را از طریق افزایش محتوای کربن‌آلی محلول افزایش دهد . بیوچارهای تولید شده در دمای پایین موجب افزایش معنی‌دار آهن قابل دسترس در خاک می‌شوند. کریمی و همکاران (۲۰۲۰) افزایش آهن قابل دسترس در دمای پایین را به pH پایین‌تر و تجزیه سریعتر بیوچار نسبت دادند که ممکن است عناصر ریزمغذی و کلات‌های محلول ترکیبات آلی را آزاد کنند.



شکل ۵- تغییرات آهن قابل جذب خاک در تیمارهای مختلف در طی انکوباسیون (CS، GSB، NSB و PMB به ترتیب خاک شاهد، خاک با تیمار بیوچار ضایعات انگور، خاک با تیمار بیوچار پوسته قهوه‌ای گردو و خاک با تیمار بیوچار کودمرغی است)

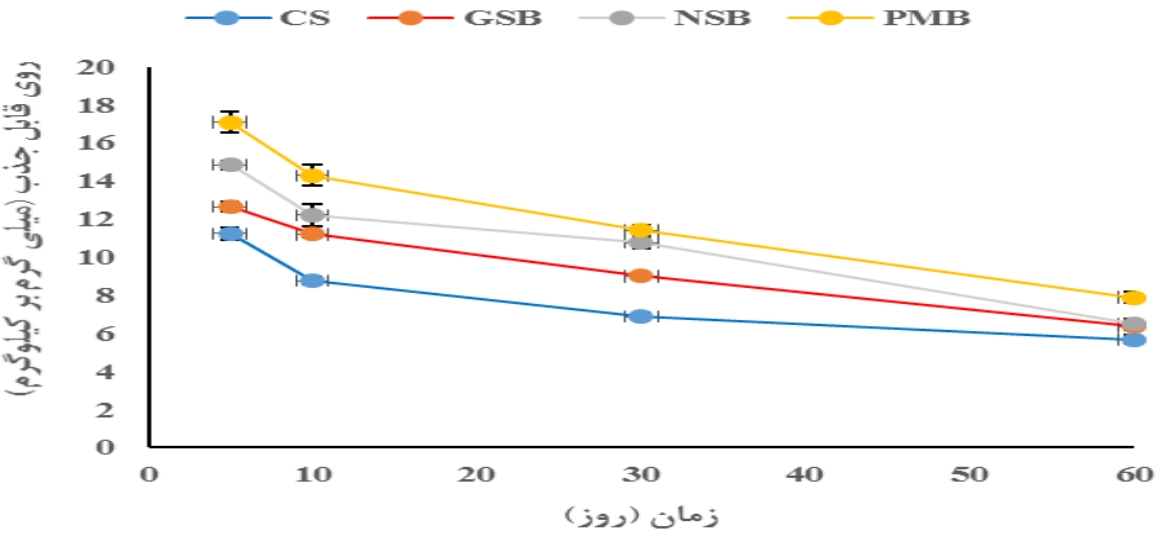
ترتیب رهاسازی آهن از تیمارها به این صورت بود: GSB> NSB> PMB (شکل ۶). با توجه به غلظت آهن کل در بیوچار حاصل از کود مرغی (جدول ۲) انتظار می‌رفت که این تیمار بیشترین رهاسازی را از خود نشان دهد. در حالی‌که کمترین رهاسازی در این بیوچار اتفاق افتاد. مطالعات نشان داده که همیشه محتوای بالای یک عنصر در بیوچار نمی‌تواند تضمینی برای دسترسی بهتر آن عنصر باشد .



شکل ۶- درصد رها شده آهن خاک در تیمارهای مختلف در طی انکوباسیون (GSB، NSB و PMB به ترتیب خاک با تیمار بیوچار ضایعات انگور، خاک با تیمار بیوچار پوسته قهوه‌ای گردو و خاک با تیمار بیوچار کودمرغی است)

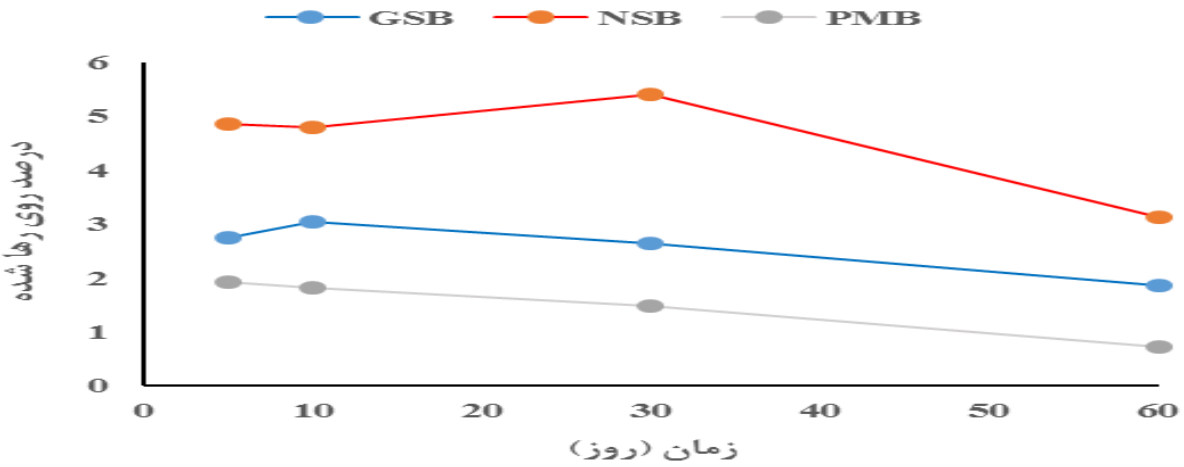
- **سینتیک رهاسازی روی**

با افزودن بیوچار غلظت روی در خاک‌ها در مقایسه با شاهد افزایش یافت (شکل ۷). غلظت روی از ۸/۱ میلی گرم بر کیلوگرم در خاک شاهد (میانگین کل زمان‌ها) به ۹/۸، ۱۱/۱ و ۱۲/۷ میلی گرم بر کیلوگرم به ترتیب در تیمار GSB، NSB و PMB رسید. حسن پور و همکاران (۱۴۰۱) با کاربرد نسبت‌های مختلف (۱، ۳ و ۶ درصد) مخلوط بیوچار کاج و شلتوک برنج در دو خاک آهکی با دو بافت متفاوت به این نتیجه رسیدند که بعد از ۶ ماه انکوباسیون، میزان pH کاهش و غلظت کربن‌آلی، فسفر کل، پتاسیم، آهن، روی و مس قابل جذب افزایش یافت.



شکل ۷- تغییرات روی قابل جذب خاک در تیمارهای مختلف در طی انکوباسیون (CS، GSB، NSB و PMB به ترتیب خاک شاهد، خاک با تیمار بیوچار ضایعات انگور، خاک با تیمار بیوچار پوسته قهوه‌ای گردو و خاک با تیمار بیوچار کودمرغی است)

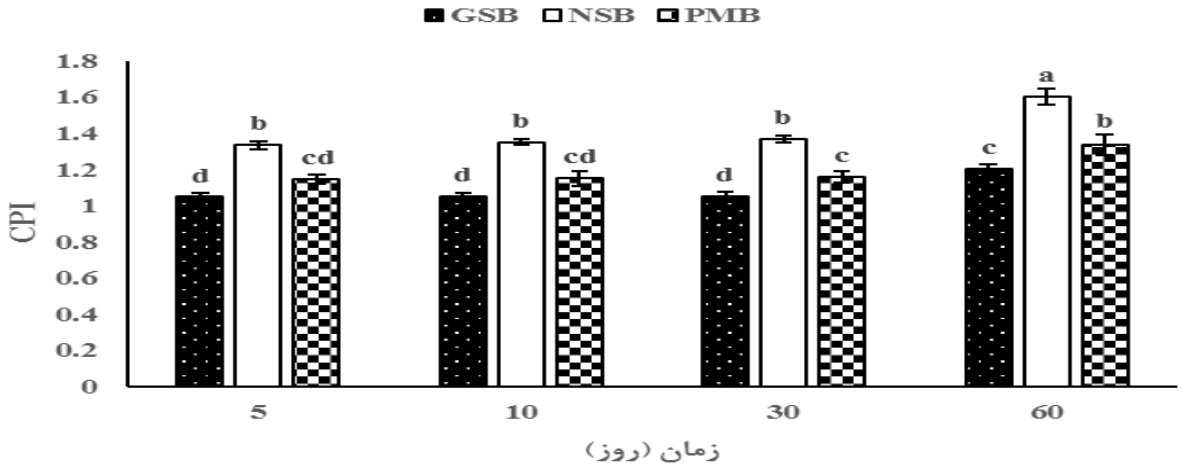
با توجه به انتشار روی (شکل ۸) کارآمدترین تیمار NSB و ناکارآمدترین PMB بود. ترتیب رهاسازی به این صورت بود: NSB> GSB> PMB



شکل ۸- درصد رها شده روی خاک در تیمارهای مختلف در طی انکوباسیون (GSB، NSB و PMB به ترتیب خاک با تیمار بیوچار ضایعات انگور، خاک با تیمار بیوچار پوسته قهوه‌ای گردو و خاک با تیمار بیوچار کودمرغی است)

- **ترسیب کربن**

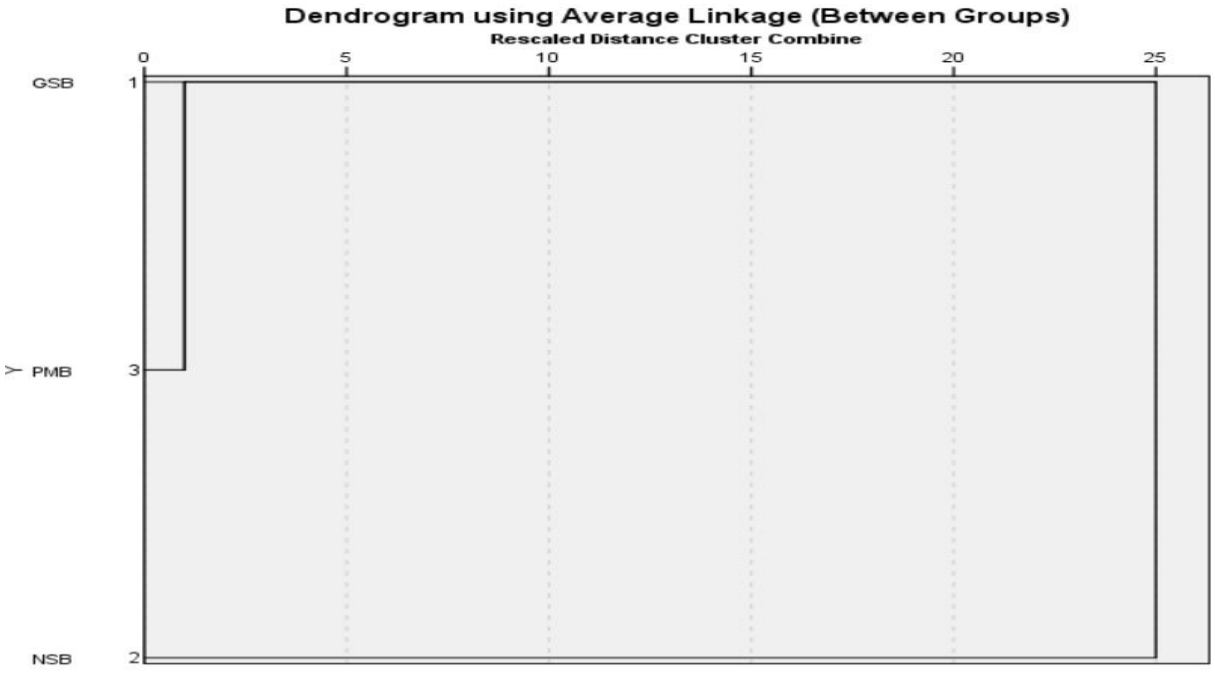
علاوه بر افزایش حاصلخیزی و کیفیت خاک، کاربرد بیوچار در خاک اساساً به منظور افزایش ترسیب کربن به منظور کاهش تغییرات آب و هوایی است . این اثر با محاسبه مقدار شاخص مخزن کربن (CPI) شرح داده شده است. بیشترین این شاخص در طی انکوباسیون در تیمار NSB دیده شد. که حدود ۳۰ درصد از تیمار GSB و ۱۸ درصد از تیمار PMB بیشتر بود (شکل ۹). هر چه C/N ترکیبی بیشتر باشد قادر به ترسیب بیشتر کربن است. بیشترین C/N مربوط به تیمار NSB بود (جدول ۲). خادم و همکاران (۲۰۲۱) با بررسی اثر بیوچار بر وضعیت عناصر غذایی خاک، فعالیت میکروبی و پتانسیل ترسیب کربن در دو خاک آهکی به این نتیجه رسیدند که افزودن بیوچار به خاک موجب افزایش ترسیب کربن گردید. بیوچار ذرت به دلیل داشتن کربن آروماتیک و نسبت C/N بالاتر موجب افزایش ترسیب کربن به ویژه در درصد کاربرد بیشتر بیوجار در بافت ریز شد . ترتیب شاخص CPI در تیمارهای مختلف به این صورت بود: NSB> PMB> GSB کامیاما و همکاران (۲۰۱۰) بیان نمودند که حدود ۵۰ تا ۷۰ درصد کربن موجود در باگاس نیشکر می‌تواند در بیوچار حاصل از آن ذخیره گردد. بنابراین اگر تمام باگاس نیشکر تولید شده در جزیره میاکو ژاپن که کلا ۱۲۰۰۰ تن در سال است به بیوچار تبدیل شود. سالانه ۱۲۰۰ تا ۱۸۰۰ تن دی اکسید کربن تثبت می‌گردد .



شکل ۹- شاخص مخزن کربن (CPI) در تیمارهای مختلف در طی انکوباسیون (GSB، NSB و PMB به ترتیب خاک با تیمار بیوچار ضایعات انگور، خاک با تیمار بیوچار پوسته قهوه‌ای گردو و خاک با تیمار بیوچار کودمرغی است)

- **تجزیه و تحلیل خوشه‌ای (CA)**

تجزیه و تحلیل خوشه‌ای شباهت بین تیمارهای مختلف در طی انکوباسیون را نشان می‌دهد. هر چه فاصله اقلیدسی بین دو تیمار کمتر باشد نشان‌دهنده آن است که دو تیمار به هم شبیه‌تر هستند. از نمودار دو خوشه‌ی اصلی جدا شد (شکل ۱۰). همانطور که از شکل مشخص است تیمار NSB در یک خوشه و تیمار PMB و GSB در خوشه دیگر قرار گرفتند.



شکل ۱۰- گراف خوشه‌ای ۶۰ روز بعد از انکوباسیون (GSB، NSB و PMB به ترتیب خاک با تیمار بیوچار ضایعات انگور، خاک با تیمار بیوچار پوسته قهوه‌ای گردو و خاک با تیمار بیوچار کودمرغی است)

۴- نتیجه‌گیری

بیوچار یک ماده سازگار با محیط زیست بوده و کاربرد آن در خاک می‌تواند منجر به افزایش ماده‌آلی و محتوای عناصر غذایی گردد. نتایج این پژوهش نشان داد که افزودن بیوچار به خاک موجب افزایش عناصر پرمصرف و کم مصرف مورد مطالعه گردید. همچنین موجب افزایش ترسیب کربن در خاک شد. اما برای یک بیوچار خاص دشوار است که به عنوان یک ماده مغذی کامل عمل نماید. بنابراین می‌توان به این صورت بیان نمود که بیوچارهای مورد استفاده دارای ارزش زراعی بلند مدت می‌باشند و با توجه به اقلیم ایران و کمبود شدید موادآلی، بیوچار را می‌توان به‌عنوان یک ماده‌آلی پایدار در خاک توصیه نمود.

منابع

- Angst, T.E., Sohi, S.P. 2013. Establishing release dynamics for plant nutrients from biochar. GCB Bioenergy. Vol. 5, P. 221-226.
- Bastida, F., et al. 2008. Application of fresh and composted organic wastes modifies structure, size and activity of soil microbial community under semiarid climate. Applied Soil Ecology. Vol. 40, p. 318–29.
- Calderón F.J., et al. 2015. A comparison of corn (*Zea mays* L.) residue and its biochar on soil C and plant growth. PLOS ONE. Vol. 10, P. e0121006.
- Cheng, C.H., et al. 2008. Natural oxidation of black carbon in soils:Changes in molecular form and surface charge along a climosequence. Geochimica et Cosmochimica Acta. Vol. 72, P.1598–610.
- Chintala, R., et al. 2014. Effect of biochar on chemical properties of acidic soil. Archives of agronomy and soil science. Vol. 60, P. 393-404.
- Demisie, W., et al. 2014. Effect of biochar on carbon fractions and enzyme activity of red soil. Catena. Vol. 121, P. 214–221.
- Ding, Y., et al. 2010. Evaluation of biochar effects on nitrogen retention and leaching in multi-layered soil columns. Water, Air, & Soil Pollution. Vol. 213, P. 47–55.

- Du, Z.L., et al. 2017. Biochar addition drives soil aggregation and carbon sequestration in aggregate fractions from an intensive agricultural system. Journal of soils and sediments. Vol. 17, P. 581–589.
- Gee, C.W., 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. Vol. 5, P. 383-411.
- Gul, S., Whalen, J.K. 2016. Biochemical cycling of nitrogen and phosphorus in biochar-amended soils. Soil biology and biochemistry. Vol. 103, P. 1–15.
- Hartley, W., et al. 2016. Effects of three different biochars on aggregate stability, organic carbon mobility and micronutrient bioavailability. Journal of Environmental Management. Vol. 181, P. 770–8.
- Havlin, J.L., et al. 2005. Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- Kameyama, K., et al. 2010. Estimation of net carbon sequestration potential with farmland application of bagasse charcoal: life cycle inventory analysis through a pilot sugarcane bagasse carbonization plant. Soil research. Vol. 48, P. 586–592.
- Karimi, A., et al. 2020. Application of biochar changed the status of nutrients and biological activity in a calcareous soil. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. Vol. 20, P. 450–10.
- Khadem, A., et al. 2021. The effects of biochar on soil nutrients status, microbial activity and carbon sequestration potential in two calcareous soils. Biochar, Vol. 3, P. 105-116.
- Leng, L.J., et al. 2020. Nitrogen containing functional groups of biochar: an overview. Bioresource technology reports.
- Li, H., et al. 2017. Mechanisms of metal sorption by biochars: biochar characteristics and modifications. Chemosphere. Vol. 178, P. 466–478.
- Lindsay, W.L., Norvell, W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Science Society of America Journal. Vol. 42, P. 421-448.
- Lusiba, S., et al. 2017. Effect of biochar and phosphorus fertilizer application on soil fertility: soil physical and chemical properties. Archives of agronomy and soil science. Vol. 63, P. 477–490.
- Naeem, M.A., et al. 2018. Combined application of biochar with compost and fertilizer improves soil properties and grain yield of maize. Journal plant nutrition and soil science. Vol. 41, P.112–122.
- Najafi-Ghiri, M., et al. 2013. Factors affecting micronutrient availability in calcareous soils of southern Iran. Arid Land Research and Management. Vol. 27, P. 203–15.
- Najafi-Ghiri, M., et al. 2022. Investigation of biochars application on potassium forms and dynamics in a calcareous soil under different moisture conditions. Archives of Agronomy and Soil Science. Vol. 68, P. 325-339.
- 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 (2nd Ed). Agronomy monograph. Vol. 9, P. 181-196.
- Olsen, S.R., Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. In: Miller, A.L., Methods of soil analysis, part 2. Chemical and mineralogical properties (2nd Ed). Agronomy series NO.9. Soil Science Society of American Journal. USA. P. 404-430.
- Ouyang, L., et al. 2014. Effects of amendment of different biochars on soil enzyme activities related to carbon mineralisation. Soil Research. Vol. 52, P. 706–716.
- Piash,, M.I., et al. 2021. Release of essential plant nutrients from manure and wood-based biochars. Geoderma. Vol. 397, P. 1-11.
- Pierzynski, G. M. 2000. Methods of phosphorus analysis for soils, sediments, residuals, and waters.
- Rasuli, F., et al. 2022. Effect of biochar on potassium fractions and plant-available P, Fe, Zn, Mn and Cu concentrations of calcareous soils. Arid Land Research and Management. Vol. 36, P. 1-26.
- Rowell, D.L. 1994. Soil Science: Methods and Applications. Longman Group, London.
- Singh, B., et al. 2017. Biochar: a guide to analytical methods. CSIRO Publishing. 320p.
- Song, D., et al. 2018. Responses of soil nutrients and microbial activities to additions of maize straw biochar and chemical fertilization in a calcareous soil. European journal of soil biology. Vol. 84, P. 1–10.
- Torres-Dorante, L.O., et al. 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. Vol. 168, P. 352-358.
- Windeatt, J.H., et al. 2014. Characteristics of biochars from crop residues: Potential for carbon sequestration and soil amendment. Journal of Environmental Management. Vol. 146, P.189–197.

- Yanardağ, I.H., et al. 2017. Native soil organic matter conditions the response of microbial communities to organic inputs with different stability. Geoderma. Vol. 295, P. 1–9.
- Zhang, M., et al. 2020. Two-year study of biochar: Achieving excellent capability of potassium supply via alter clay mineral composition and potassium-dissolving bacteria activity. The Science of the Total Environment. Vol. 717, P. 137286.
- Zhao, Y.H., et al. 2018. Release of nutrients and heavy metals from biochar-amended soil under environmentally relevant conditions. Environmental Science and Pollution Research. Vol. 25, P. 2517–2527.
- Zhou, C., et al. 2020. Biochar addition to forest plantation soil enhances phosphorus availability and soil bacterial community diversity. Forest Ecology and Management. Vol. 455, P. 117635.
- حسن پور، الف.، شیروانی، م.، حاج عباسی، م.ع و مجیدی، م.م. ۱۴۰۱. تأثیر بیوچارهای اسیدی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی و قابلیت جذب عناصر غذایی خاک‌های آهکی، نشریه علوم آب و خاک، سال بیست و ششم، شماره دوم، صفحات ۳۹–۵۹.
- حقایقی سولک، الف.، جلیلی، ب و سالک گیلانی، س. ۱۴۰۳. با بررسی تاثیر کاربرد لجن فاضلاب و بیوچار آن بر برخی خصوصیات شیمیایی و فعالیت آنزیمی، مطالعات علوم محیط زیست، دوره ۹، شماره ۲، ص ۸۶۰۷–۸۶۲۵.
- کاظمی، ع.، وارسته خانلری، ز و ضرابی، م. ۱۴۰۲. بررسی رهاسازی عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم از بیوچارهای مختلف و ارتباط آن‌ها با شیمی سطح بیوچار، تحقیقات آب و خاک، دوره ۵۴، شماره ۹، ص ۱۲۸۶–۱۲۹۹.
- کرمی، ص.، لندی، الف.، عنایت ضمیر، ن و زلقی، ر. ۱۴۰۰. تأثیر بیوچارهای ذرت و نیشکر بر برخی خصوصیات بیولوژیکی خاک و ترسیب کربن، علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره ۲۳، شماره ۵، ص ۵۷–۶۹.
- کریمی، الف.، معزی، ع.، چرم، م. و عنایتی ضمیر، ن.، ۱۳۹۹. تاثیر بیوچار باگاس نیشکر بر فراهمی عناصر غذایی و ویژگی‌های زیستی یک خاک آهکی، تحقیقات کاربردی خاک، جلد ۸، شماره ۱، ص ۱–۱۷.
- نجفی قیری، م.، ۱۳۹۴. تأثیر کاربرد بیوچارهای مختلف بر برخی ویژگی‌های خاک و قابلیت جذب بع ضی از عنا صر غذایی در یک خاک آهکی، نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، جلد ۲۹، شماره. ۳، ص ۳۵۱–۳۵۸.