تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۰، شماره ۱، فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۸ (ص ۲۴۶-۲۳۱) DOI: 10.22059/ijswr.2018.244637.667780

The Effect of Different Pistachio Wastes Biochar Application on Some Fertility Properties of a Loam Soil

ABOLFAZL KHADEMI[1*], MAJID FEKRI[2] AND MAJID MAHMOODABADI[3]

1. M.Sc. Student, Department of Soil Science, Agriculture Faculty, Shahid Bahonar University of Kerman. Iran.
2. Professor, Department of Soil Science, Agriculture Faculty, Shahid Bahonar University of Kerman. Iran.
3. Associate Professor, Department of Soil Science, Agriculture Faculty, Shahid Bahonar University of Kerman.Iran.

(Received: Nov. 4, 2017- Revised: May. 13, 2018- Accepted: July. 1, 2018)

ABSTRACT

In this research, the short-term beneficial effect of using different pistachio wastes biochars on improving some fertility properties of a loam soil was investigated. Therefore, the effects of two factors 1) types of amendments added to the soil, including biochars of pistachio mildew (PM), pistachio hard skin (PHS) and wood of 20-year pistachio trees (W) papered at 600^{o} C (with amount of %5 by wt), and 2) time of incubation (1, 2, 3, 4, 5 months), were investigated on pH, electrical conductivity, soluble potassium, nitrate and availability of iron, copper, manganese and zinc. This experiment was performed as factorial based on the completely randomized design with three replicates. The results of this study showed that the application of biochars and different incubation times does not have a significant effect on soil pH. But, the threated soils at all incubation times showed a significant increase in electrical conductivity and organic carbon as compared to the control treatment. Addition of biochars and incubation time increased significantly potassium content of the soil solution, so that the treated soils had an increase of approximately two times solution potassium as compared to the control. Application of biochars to the soil caused an increase in nitrate retention and a decrease in nitrate solution as compared to the control sample. Biochars application led to a significant increase in iron content and irregular increase in zinc, copper and manganese. The availability of these elements in the soil decreased by time due to reduction of biochar decomposition and transformation of those elements from available into less available forms.

Keywords: Biochar, Pistachio wastes, Loam soil, Soil fertility

*Corresponding Author's Email: a.khademianar@gmail.com

اثر کاربرد بیوچار ضایعات مختلف پسته بر برخی ویژگی‌های حاصلخیزی یک خاک لومی

ابوالفضل خادمی جلگه نژاد[1*]، مجید فکری[2]، مجید محمودآبادی[3]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۲. استاد، گروه علوم خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۳. دانشیار، گروه علوم خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳/ ۸/ ۱۳۹۶- تاریخ بازنگری: ۲۳/ ۲/ ۱۳۹۷- تاریخ تصویب: ۱۰/ ۴/ ۱۳۹۷)

چکیده

در این پژوهش اثرات مفید کوتاه‌مدت کاربرد بیوچار ضایعات مختلف پسته بر بهبود برخی ویژگی‌های شیمیایی و حاصلخیزی یک خاک لومی مورد بررسی قرار گرفت. بنابراین، اثرات دو فاکتور ۱) نوع بهسازهای به کار برده شده در خاک شامل، بیوچارهای تهیه‌شده از تفاله نرم پسته، پوست سخت پسته و چوب درختان پسته ۲۰ ساله در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس (به میزان ۵٪ وزنی) و ۲) زمان خوابانیدن بهسازها در خاک (زمان‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ ماه) بر پ‌هاش، قابلیت هدایت الکتریکی، پتاسیم محلول، نیترات و قابلیت دسترسی آهن، مس، منگنز و روی خاک مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. پژوهش حاضر به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان داد که کاربرد مواد بهساز و زمان‌های مختلف خوابانیدن، اثر معنی‌داری بر میزان پ-هاش خاک ندارد. ولی در نمونه خاک‌های تیمار شده با هر سه بیوچار در هر ۵ زمان، افزایش معنی‌داری از میزان قابلیت هدایت الکتریکی و کربن آلی نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد. با افزایش بیوچار و زمان خوابانیدن، میزان پتاسیم محلول خاک افزایش معنی‌داری نشان داد، به نحوی که تمام تیمارها افزایش تقریباً دو برابری نسبت به تیمار شاهد داشته‌اند. افزودن بیوچار به خاک موجب نگهداشت نیترات و کاهش معنی‌دار نیترات در محلول خاک نسبت به نمونه شاهد شد. کاربرد بیوچارها سبب افزایش معنی‌دار آهن و افزایش نامنظم از سه عنصر روی، مس و منگنز شده بود که با گذشت زمان به دلیل کاهش تجزیه بیوچار و تبدیل شکل‌های آنها به شکل‌های با قابلیت دسترسی کمتر، از میزان قابل‌دسترس این عناصر در خاک کاسته شد.

واژه‌های کلیدی: بیوچار، ضایعات پسته، خاک لومی، حاصلخیزی خاک

مقدمه

میزان پایین کربن آلی و قابلیت دسترسی کم عناصر غذایی، به عنوان مهمترین فاکتورهای تولید محصولات کشاورزی در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شوند (Yazdanpanah *et al*, 2016; Mahmoodabadi and Heydarpour, 2014; Havlin *et al* 2005)؛ بنابراین، کشاورزان تلاش دارند تا با استفاده از کودهای شیمیایی و منابع آلی سبب کاهش محدودیت‌های مذکور و در نتیجه آن افزایش عملکرد در زمین‌های زراعی خود شوند. کاربرد کودهای دامی و سایر منابع آلی هرچند می‌تواند سبب افزایش حاصلخیزی خاک شود، اما تجزیه آنها در طول زمان و کاهش دسترسی عناصر می‌تواند اثربخشی آنها را کاهش دهد (Davis et al., 2009; Toor & Bahl, 1997). همچنین از دیگر مشکلات این منابع، نشر گازهای گلخانه‌ای حاصل از کودهای دامی هست که در سال‌های اخیر به عنوان یک چالش زیست‌محیطی مهم شناخته شده است (Smith *et al*, 2007). تبدیل ترموشیمیایی این مواد به محصولاتی با عنوان بیوچار می‌تواند به عنوان یکی از راهکارهای کاهش نشر گازهای گلخانه‌ای تلقی شود (Lehmann *et al*, 2007). بیوچار یک فرآورده تولیدی از مواد آلی در طی فرایند آتش‌کافت در شرایط بی‌هوازی و نیمه هوازی است که عموماً به‌عنوان زغال مشتق شده از زیست‌توده‌های گیاهی شناخته می‌شود. کاربرد این محصول به عنوان یک بهساز مناسب در محیط خاک در سال‌های اخیر به منظور افزایش حاصلخیزی و کاهش آلودگی‌های آلی و غیرآلی خاک، تحقیقات فراوانی را به خود اختصاص داده است (Sohi *et al*, 2010). اولین تجربه‌ها و آزمایش‌های استفاده از زیست‌توده نیم‌سوز شده به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک در حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ سال پیش مستندسازی شده است (Allen, 1847; Lefroy, 1883). امروزه افزودن بیوچار به خاک‌ها به‌عنوان راهکاری مناسب جهت ترسیب کربن درون خاک و کاهش غلظت دی‌اکسید کربن هوا، توجه زیادی را به خود جلب کرده است (Lehmann *et al*,

* نویسنده مسئول: a.khademianar@gmail.com

2003; Laird *et al*, 2010,). علاوه بر این، بیوچار به عنوان یک بهساز مناسب می‌تواند در بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک کمک شایانی کند (Vaccari *et al*, 2011). تحقیقات انجام شده نشان داده است که کاربرد بیوچار در خاک، سبب افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و نگهداری آب در خاک و همچنین رهاسازی تدریجی عناصر محدودکننده در خاک می‌شود (Topoliantz et al., 2002; Nigussie *et al*., 2012; Glasser *et al*., 2002). وجود گروه‌های جذبی در خلل و فرج میکرو و مزو و همچنین اثرات متقابل ویژه با گروه‌های عاملی (خصوصاً با لیگاندهای رها کننده اکسیژن از جمله کربوکسیلات) می‌توانند نقش مهمی را در حاصلخیزی خاک در طی افزودن بیوچار به خاک ایفا کنند (Glasser *et al*., 2002). بیوچارهای تهیه‌شده از منابع مختلف تحت شرایط مختلف، اعم از میزان دما و زمان آتش‌کافت، می‌توانند تأثیرات متفاوتی را بر جنبه‌های مختلف حاصلخیزی خاک بوجود بیاورند (Vaccari *et al*., 2011; Mustafa *et al*., 2010). استفاده از بیوچار به عنوان یک بهساز خاک، در خاک‌های خشک و نیمه خشک (Lehmann *et al*., 2003) به دلیل کم بودن ماده آلی و پایین بودن قابلیت استفاده برخی از عناصر غذایی از جمله فسفر، آهن، روی، منگنز و مس است که عمدتاً ناشی از پ-هاش نسبتاً بالای این خاک‌ها می باشد و به عنوان یک چالش و ایده مهم در تحقیقات بسیاری از محققین جای گرفته است (Havlin *et al*., 2005). برخی از تحقیقات استفاده از بیوچار در خاک‌های با پ-هاش بالا را سبب بهبود وضعیت عناصر غذایی پرمصرف از قبیل پتاسیم و فسفر (Najafi-Ghiri *et al*., 2015; Brewer *et al*., 2012; Laird *et al*., 2010) و عناصر کم‌مصرف و قابلیت نگهداشت آب و فعالیت میکروبی (Brewer *et al*., 2012) دانسته‌اند. هدرروی کودهای شیمیایی به‌ویژه کودهای نیتروژنِه به تبع استفاده از سیستم‌های آبیاری غرقابی (سیستم رایج در بیشتر مناطق تحت کشت پسته) یکی از معضلات مهم در سیستم‌های کشاورزی محسوب می‌شود که می‌تواند مشکلات زیست‌محیطی جدی را سبب شود (Hollister *et al*., 2013; Zhang *et al*., 2014). استفاده از بیوچار، به واسطه داشتن مقاومت بالا در برابر تجزیه (Liang *et al*., 2006; Lehmann *et al*., 2003)، به‌عنوان یک بهساز افزاینده سطوح جاذب خاک می‌تواند نقش بسزایی در نگهداشت نیترات داشته و به تبع آن از آلودگی آب‌های زیرزمینی جلوگیری کند. با توجه به مقدمه گفته‌شده و از آنجایی‌که اغلب اراضی تحت کشت پسته استان کرمان دارای کمبود مواد آلی و برخی از عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف می‌باشند و همچنین از طرف دیگر تولید سالانه مقادیر زیادی ضایعات کشاورزی از این مزارع و بلااستفاده بودن این منابع، تحقیق حاضر تلاش دارد تا بتواند با استفاده از این منابع و تبدیل آن‌ها به محصول بیوچار، به بررسی اثرات کاربرد این محصول بر حاصلخیزی خاک‌های منطقه بپردازد. بنابراین، این پژوهش باهدف بررسی اثر ۳ نوع بیوچار تولیدی از ضایعات مختلف پسته بر خصوصیات شیمیایی و حاصلخیزی یک نمونه خاک از مناطق تحت کشت پسته منطقه انار استان کرمان، در شرایط آزمایشگاهی در مدت زمان ۵ ماه، انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری خاک و تعیین برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

خاک موردبررسی در این پژوهش، از یک باغ پسته در شهرستان انار واقع در استان کرمان (با موقعیت جغرافیایی ′۵۲ °۳۰ عرض شمالی و′۱۶ °۵۵ طول شرقی) از عمق ۳۰-۰ سانتیمتری (با رده‌بندی Typic Petrogypsids) تهیه و پس از انتقال نمونه خاک به آزمایشگاه، برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن اندازه‌گیری شد. بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee and Bauder, 1986)، پ‌هاش خاک در نمونه گل اشباع (Thomas, 1996)، میزان هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع (Rhoades, 1996)، میزان ماده آلی به روش بی‌کرومات (Walkley and Black, 1934)، فسفر قابل‌استفاده با عصاره‌گیری به روش (Olsen *et al*., 195)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی با اسید کلریدریک (Nelson, 1982)، غلظت آهن، منگنز، مس و روی عصاره گیری شده با DTPA، به‌وسیله دستگاه جذب اتمی (Lindsay and Norvell, 1978)، گچ به روش ترسیب با استون، پتاسیم قابل‌استفاده با روش عصاره‌گیری به روش استات آمونیوم، به‌وسیله دستگاه فلیم فتومتر (Knudsen *et al*., 1982)، نیتروژن کل خاک به روش کجلدال و نیترات آن به روش اسپکتروفتومتری (Greenberg and Eaton, 2005) اندازه‌گیری شد. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه قبل از اعمال تیمارها در جدول (۱) نشان داده شده است. خاک مورد پژوهش، لومی و از نظر شوری محدودیتی نداشت. میزان کربن آلی و فسفر قابل جذب آن در محدوده پایین، و به دلیل داشتن ۲۲٪ سولفات کلسیم جزء خاک‌های گچی طبقه‌بندی می‌شود.

تهیه بیوچارها و خصوصیات آنها

بیوچارهای تهیه‌شده در این آزمایش از ضایعات درختان پسته شهرستان انار که شامل ۱) تفاله نرم پسته ۲) پوست سخت پسته و ۳) چوب درختان پسته در طی فرایند آتش‌کافت تهیه گردید. بدین منظور، ابتدا نمونه‌های ذکرشده را با آب داغ (به

منظور خارج‌سازی فنول موجود در تفاله سبز آن) و سپس با آب مقطر چندین بار شستشو و پس از هوا خشک‌کردن، آسیاب و از الک ۱ میلی‌متری عبور داده و در داخل بوته‌های چینی و داخل راکتور (کوره) قرار داده شدند. دمای کوره روی ۶۰۰ درجه سلسیوس تنظیم و برای عاری کردن سیستم از اکسیژن، شیر مربوط به گاز N_2 با درصد خلوص ۹۹/۹۹ به مدت ۵ دقیقه با جریان مشخص (۵ لیتر در دقیقه) باز شد. شیر خروجی سیستم نیز همزمان باز و بعد از ۵ دقیقه بسته و راکتور راه‌اندازی گردید. مدت زمان قرارگیری نمونه‌ها در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس در داخل راکتور، ۳ ساعت بوده است. پس از انجام فرایند گرماکافت و تولید بیوچارهای مد نظر، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آنها به روش‌های معمول اندازه‌گیری شد. قابلیت هدایت الکتریکی و پ-هاش در نسبت ۱:۵ نمونه در آب (Singh *et al.*, 2010) و مقدار کل سایر عناصر به روش هضم در اسید (Zhang *et al.*, 2010) تعیین شد. همچنین عملکرد بیوچار با استفاده از معادله زیر محاسبه شد:

$$yeild(\%) = {}^{B}/_{M} \times 100 \quad \text{(رابطه ۱)}$$

در این معادله M وزن مقدار مشخصی از ضایعات پسته قبل از تبدیل به بیوچار و B وزن بیوچار حاصل از آن بر حسب گرم می‌باشد.

عملکرد بیوچار حاصل از تفاله پسته در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس ۴۶/۷ درصد و بیوچار حاصل از پوست استخوانی پسته ۶۲/۳ درصد و بیوچار حاصل از پوست پسته در این دما ۷۸/۵ درصد بدست آمد.

اعمال تیمارهای موردنظر و فرایند خوابانیدن[1]

به منظور اجرای پژوهش حاضر، طرح به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور و در سه تکرار طرح‌ریزی شد. فاکتورهای اعمال‌شده در این طرح شامل ۱) نوع بهسازهای مورداستفاده و ۲) زمان خوابانیدن بودند. بر این اساس تیمار نوع بهسازهای مورداستفاده، شامل ۱- تیمار شاهد (بدون بیوچار) ۲- بیوچار تفاله پسته ۳- بیوچار پوست استخوانی و ۴- بیوچار چوب پسته بودند که هر کدام به میزان ۵ درصد وزنی با خاک مخلوط شدند. فاکتور دیگر، زمان خوابانیدن در پنج ماه متوالی (زمان‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ ماه) بود که اندازه‌گیری ویژگی‌های منتخب خاک در آنها انجام شد. به منظور انجام این طرح، مقدار ۵ درصد از هر نوع بیوچار به‌طور کامل و یکنواخت به گلدان‌های سه کیلویی حاوی ۲/۵ کیلوگرم خاک (سه تکرار) اضافه و به مدت ۵ ماه تحت شرایط آزمایشگاه، در دمای استاندارد ۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت ظرفیت مزرعه، خوابانیده شدند. در طول زمان‌های مختلف از فرایند خوابانیدن از هر گلدان یک نمونه برداشت و خصوصیات شیمیایی، شامل پ‌هاش، قابلیت هدایت الکتریکی، کربن آلی، پتاسیم محلول، نیترات خاک، آهن، مس، منگنز و روی قابل‌استفاده با استفاده از روش‌های ذکرشده در بخش قبل، در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل‌های آماری

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها به ترتیب با استفاده از آزمون F و دانکن و در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS انجام گرفت. همچنین به منظور رسم نمودارهای موردنیاز، از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک، منابع آلی و بیوچارهای تولیدشده از آنها

پ‌هاش بالا، مقدار کربنات کلسیم معادل و گچ نسبتاً بالا، میزان کربن آلی کم، ظرفیت تبادل کاتیونی نسبتاً پایین و قابلیت استفاده پایین از عناصر کم‌مصرف، فسفر و نیتروژن، از مهمترین مشخصه‌های خاک موردمطالعه می‌باشند (جدول ۱). برخی از ویژگی‌های شیمیایی مواد آلی اولیه و بیوچارهای تولیدی از آنها در جدول (۲) نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می شود، همه نمونه‌های بیوچار تهیه‌شده دارای پ‌هاش بالایی می‌باشند؛ به‌نحوی‌که میزان پ‌هاش آن‌ها از ۱۰/۶۲ تا ۱۱/۳ متغیر بوده که کمترین و بیشترین پ‌هاش به ترتیب متعلق به بیوچار پوست سخت پسته و بیوچار تفاله پسته بود. همانگونه که مشاهده می‌شود پ‌هاش منابع اولیه این مواد (قبل از فرایند آتش‌کافت) در محدوده پ‌هاش ۷ و ۸ بوده است که عملیات آتش‌کافت در دمای بالا سبب افزایش پ‌هاش بیوچارهای تولیدی شده است. افزایش پ‌هاش در نتیجه فرایند آتش‌کافت در دماهای بالا بوسیله محققین زیادی گزارش شده است (Zolfi *et al.*, 2016; Singh et al., 2010) که این افزایش را می توان به افزایش کاتیون‌های قلیایی (سدیم، کلسیم، منیزیم، پتاسیم) و کلسیت در واحد حجم تولیدی کمتر از بیوچار نسبت داد (Mustafa *et al*, 2010; Kookana *et al.*, 2011). همچنین نتایج بدست آمده از مقادیر قابلیت هدایت الکتریکی بیوچارهای تولیدی نشان داد که فرایند آتش‌کافت سبب افزایش در حدود ۲ برابری از این پارامتر نسبت به نمونه‌های اولیه (غیر بیوچار شده) شده است. افزایش نسبت C/N، پتاسیم محلول، غلظت کربن، آهن، روی، مس و منگنز و کاهش نیتروژن کل (در نتیجه فرایند

1. Incubation

تصعید) در همه بیوچارهای تولیدی نسبت به زیست‌توده اولیه قابل مشاهده بود (جدول ۲)، به نحوی که C/N بیوچارها از ۱۷/۸۹ تا ۸۹/۲ متغیر بوده که بیشترین آن مربوط به چوب سخت پسته و کمترین آن به تفاله پسته اختصاص داشت. همچنین میزان پتاسیم محلول در نمونه‌های بیوچارها بین ۵۷۰۰ تا ۱۳۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بوده که بیشترین آن مربوط به تفاله پسته بود که دلیل آن را می‌توان به بالا بودن میزان پتاسیم در منبع اولیه آن دانست. میزان عناصر غذایی کم‌مصرف موجود در بیوچارهای موردمطالعه، به منبع اولیه آن‌ها بستگی دارد، به نحوی که هرچه ماده اولیه آن‌ها از عناصر کم‌مصرف غنی‌تر بوده، بیوچار تولیدی نیز دارای عناصر کم‌مصرف بیشتری می‌باشد که در بین بیوچارهای مورد مطالعه، بیوچار چوب سخت پسته دارای بیشترین میزان از این عناصر بوده است.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

خصوصیت	مقدار	خصوصیت	مقدار
پ‌هاش	۷/۷۹	فسفر ($mg\ kg^{-1}$)	۸/۲۳
قابلیت هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	۱/۳۲	منگنز ($mg\ kg^{-1}$)	۲/۴
CEC ($Cmol(+)\ Kg^{-1}$)	۱۱/۴۳	مس ($mg\ kg^{-1}$)	۰/۲۷
بافت خاک	لومی	روی ($mg\ kg^{-1}$)	۰/۶۱
مقدار کربن آلی (٪)	۰/۴۶	آهن ($mg\ kg^{-1}$)	۰/۲۴
نیتروژن کل (٪)	۰/۰۳	پتاسیم ($mg\ kg^{-1}$)	۳۴۰
میزان گچ (٪)	۲۲	نیتروژن- نیتراتی ($mg\ kg^{-1}$)	۱۷/۶
کربنات کلسیم معادل (٪)	۱۸/۲		

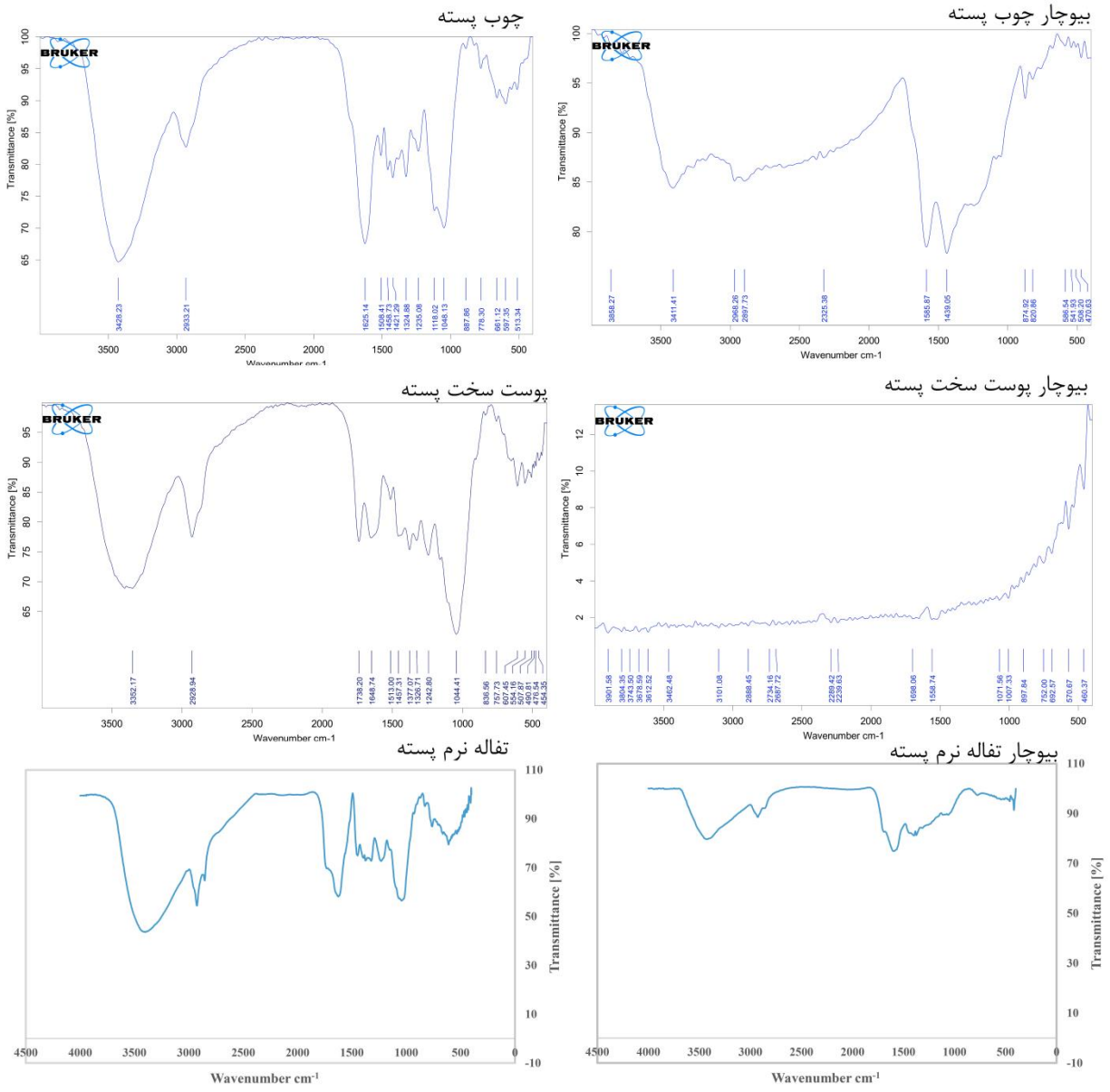
جدول ۲. برخی خصوصیات شیمیایی بیوچارهای مورداستفاده در آزمایش و منبع اصلی آن‌ها

ماده آلی	pH	EC	O.C	N	C/N	NO^{3-}	K	Fe	Zn	Cu	Mn
		($ds\ m^{-1}$)		(%)			($mg\ kg^{-1}$)				
تفاله پسته	۷/۷۴	۳/۹۲	۳۳/۲۴	۲/۳۴	۱۴/۲۰	۶/۶۵	۹۸۰۰	۲۶۵	۹/۹۳	۰/۸۹	۷۸
بیوچار تفاله پسته	۱۱/۳	۷/۷۶	۳۶/۳۲	۲/۰۳	۱۷/۸۹	۶/۶۴	۱۳۲۰	۳۶۴	۱۱/۳۵	۱/۲۶	۹۳
پوست سخت پسته	۷/۱۹	۳/۲۳	۳۹/۱۲	۱/۶۵	۲۳/۷۰	۷/۰۸	۴۵۲۰	۴۸۷	۹/۴۵	۲/۲۳	۷۱
بیوچار پوست سخت پسته	۱۰/۶۲	۵/۲۵	۴۶/۲۳	۰/۷۲	۶۴/۲۰	۰/۸	۵۷۰۰	۶۴۱	۹/۶۳	۲/۴۷	۸۶
چوب سخت پسته	۸/۰۲	۳/۱۲	۵۱/۲	۰/۸	۶۴	۱/۰۵	۷۲۳۰	۷۳۸	۱۰/۲۱	۲/۶۴	۹۸
بیوچارچوب سخت پسته	۱۰/۸۱	۵/۴	۶۴/۲۳	۰/۷۲	۸۹/۲۰	۱/۵۲	۹۸۰۰	۹۱۰	۱۴/۳۱	۳/۷۴	۱۱۳

شناسایی گروه‌های عامل بیوچارهای تولیدی با استفاده از طیف سنجی تبدیل فوریه مادون‌قرمز

به منظور شناسایی گروه‌های عامل نمونه‌های بیوچار تولیدشده، طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون‌قرمز بر روی نمونه‌های اولیه و بیوچارها انجام گرفت (شکل ۱). همانگونه که مشاهده می‌شود، طیف تبدیل فوریه مادون‌قرمز تفاله پسته، پوست استخوانی و چوب اولیه آن‌ها از طیف بیوچارهای تولیدی تا حدودی متفاوت می‌باشد. شمار زیادی از گروه‌های عاملی روی سطح بیوچار نشان داده شده است که به تفصیل بیان می‌شود. پیک ظاهرشده در ناحیه cm^{-1} ۱۳۰۰-۱۰۰۰ مربوط به ارتعاش کششیC-O- گروه الکل‌ها، اتر، استر و اسیدهای کربوکسیلیک در بیوچارهای چوب، پوست استخوانی و تفاله پسته می‌باشد. حضور اتم‌های O در گروه‌های هیدروکسیل و کربوکسیل را نباید نادیده گرفت. مطالعات گذشته نشان داده است که هر دو اتم نیتروژن و اکسیژن به ترتیب در گروه‌های آمینی (پیک بدست آمده در ناحیه cm^{-1}۱۶۰۰ در بیوچار پوست پسته) و کربوکسلیک (ناحیه cm^{-1} ۱۳۰۰-۱۰۰۰) از طریق فرایند کمپلکس کردن، می‌توانند فلزات را جذب سطحی نمایند (Wan and Fatinathan, 2010). پیک بدست آمده در ناحیه cm^{-1} ۱۶۰۰-۱۴۰۰ مربوط به ارتعاش کششی متوسط C=C در گروه‌های حلقوی آروماتیک موجود در چوب پسته و پوست استخوانی آن می‌باشد. شدت عبوری این گروه‌های حلقوی آروماتیک در بیوچار چوب پسته و پوست استخوانی آن به میزان قابل‌توجهی نسبت به منبع اولیه آنها کاهش یافته است که می‌توان بیان کرد که در نتیجه آن، سایت‌های جذبی بیشتری برای برخی کاتیون ها و آنیون‌ها وجود دارد که با تحقیقات (Cui *et al.*, 2016) مطابقت دارد. پیک ظاهرشده در ناحیه cm^{-1} ۱۴۸۰-۱۳۵۰ مربوط به ارتعاش خمشی گروه‌های آلکان‌ها C-H- در چوب

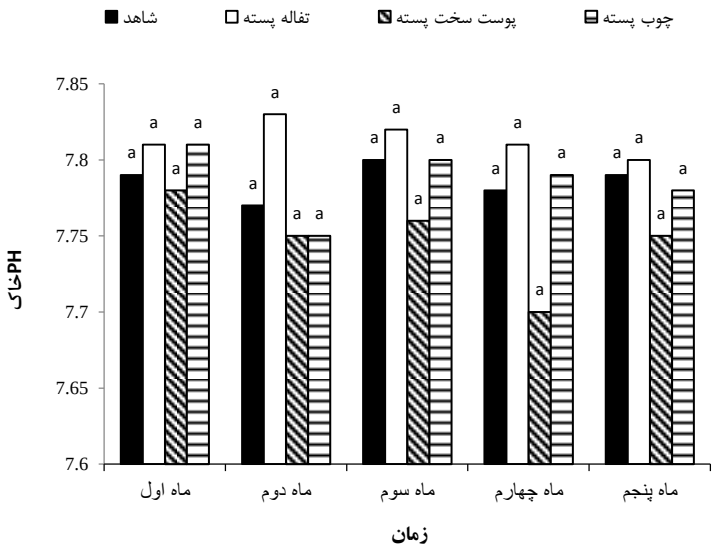
پسته و پوست استخوانی آن می‌باشد. همچنین پیک ظاهر شده در ناحیه ۲۸۵۰-۳۰۰۰ cm^{-1} مربوط به ارتعاش کششی قوی آلکانها موجود در بیوچار چوب پسته، تفاله پسته و پوست استخوانی می‌باشد. پیک ظاهرشده در ناحیه ۳۳۰۰-۳۵۰۰ cm^{-1} مربوط به ارتعاش کششی متوسط گروه آمین‌ها N-H در بیوچارهای چوب پسته، بیوچار تفاله پسته و پوست استخوانی آن با شدت عبوری کمتری می‌باشد که این گروه‌های عاملی نیز دارای بار مثبت می‌باشند که وجود آن در بیوچار باعث افزایش ظرفیت تبادل آنیونی و جذب آنیون مهم نیترات در تحقیق حاضر، خواهد شد. پیک بدست آمده در ناحیه ۱۶۰۰ cm^{-1} مربوط به ارتعاش خمشی متوسط گروه آمین‌ها (N-H) در چوب پسته و بیوچار آن می‌باشد. پیک‌ها در فرکانس ۳۵۰۰ cm^{-1}- ۳۷۰۰ مربوط به ارتعاش کششی آزاد قوی گروه الکل‌ها (O-H) در بیوچارها می‌باشد. وجود این باندها نشان‌دهنده ظرفیت بیشتر جذب است. گروه‌های عامل هیدروکسیل بارزترین گروه عامل در طیف FTIR بیوچار است که این گروه‌های عامل می‌تواند باعث افزایش ظرفیت جذب توسط بیوچار نسبت به ماده اولیه شوند که دلیل آن تبادل لیگاندی بین سایت‌های هیدروکسیلی است که افزایش پ-هاش بیوچار تفاله پسته نسبت به ماده اولیه آن را می‌توان به دلیل آزادسازی همین گروه‌های عاملی معرفی کرد (Ahmad *et al.*, 2014; Cui *et al.*, 2016). به طور کلی می‌توان گفت با توجه به طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون‌قرمز می‌توان پیش‌بینی کرد که بیوچارهای تولیدشده نسبت به ماده اولیه قابلیت نگهداری بیشتری از آنیون‌ها و کاتیون‌ها (عناصر غذایی) را دارا می باشند.



شکل ۱. مقایسه طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون‌قرمز در تیمارهای مواد اولیه و بیوچارهای تولیدشده از آنها

پ‌هاش خاک

نتایج بدست آمده از تجزیه واریانس میانگین‌های بدست آمده از پ‌هاش خاک‌های تیمار شده از انواع بیوچار در زمان‌های خوابانیدن مختلف نشان می‌دهد (جدول ۳) که منابع تغییرات ذکرشده اثر معنی‌داری بر این خصوصیت از خاک نداشته و از نظر آماری تفاوت معنی‌داری بین تیمارها و اثرات متقابل آنها وجود ندارد. بالا بودن پ‌هاش خاک موردمطالعه و همچنین بالا بودن آهک و به تبع آن بالا بودن ظرفیت بافری سبب شده است که تغییرات پ‌هاش در نمونه‌های تیمار شده نتوانند تفاوت معنی‌داری را با نمونه شاهد و یا با یکدیگر داشته باشند. نتیجه تحقیقات بدست آمده از پژوهش حاضر با دست‌آوردهای (Wan and Fatinathan, 2010; Kimetu *et al.*, 2008; Fathi and Mir Seyyed Hossein, 2016) همخوانی دارد. در بررسی اثر بیوچارهای تهیه‌شده از کود مرغی در دماهای متفاوت (۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ درجه سلسیوس) بر ویژگی‌های شیمیایی یک خاک آهکی گزارش شد که کود مرغی و بیوچار ۲۰۰ سبب کاهش پ هاش و بیوچار ۴۰۰ سبب افزایش پ-هاش خاک شده است (Zolfi *et al.*., 2016). اثرگذاری بیوچارها در دمای بالا بر روی خاک‌های اسیدی به وفور گزارش شده است که نتایج این تحقیقات نشان از افزایش پ‌هاش در خاک‌های اسیدی دارد (Hossain *et al.*, 2010 and Lu *et al.*, 2014). در این تحقیقات نشان داده شد که کاربرد بیوچارها در خاک‌های اسیدی، سبب افزایش ۲ واحدی از پ‌هاش خاک شده است.



شکل ۲. اثر تیمارهای بیوچار تفاله پسته، پوست سخت پسته و چوب پسته در زمان‌های مختلف بر میزان پ-هاش خاک
(میانگین‌های حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد از آزمون دانکن می‌باشند)

جدول ۳. تجزیه واریانس میانگین مربعات اثر تیمارهای بیوچار تفاله پسته، پوست سخت پسته و چوب پسته در زمان‌های مختلف بر میزان پ-هاش و قابلیت هدایت الکتریکی خاک

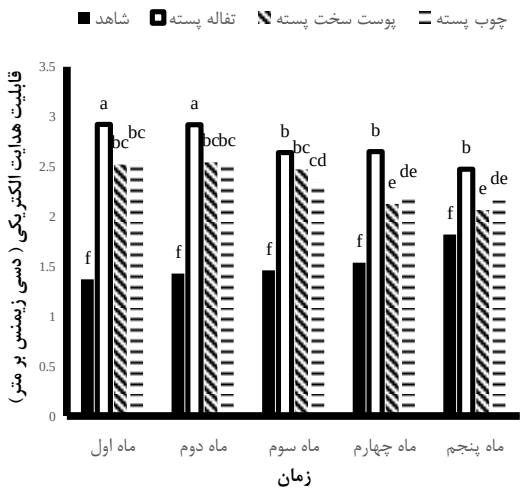
منابع تغییرات	درجه آزادی	پ-هاش	قابلیت هدایت الکتریکی
تیمار	۳	۰/۰۰۱^{ns}	۵/۴۷۰**
زمان	۴	۰/۰۰۳^{ns}	۰/۲۸۸**
تیمار× زمان	۱۲	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۰۲۹**
خطا	۴۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۹

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، ns غیر معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد آزمون دانکن

قابلیت هدایت الکتریکی خاک

نتایج کسب‌شده از جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) از اثرات تیمارهای اعمال‌شده بر قابلیت هدایت الکتریکی نشان داد که اثر تیمارهای ذکرشده به تنهایی و همچنین اثرات متقابل این فاکتورها به نحو معنی‌داری بر این خصوصیت از خاک معنی‌دار بوده است، به نحوی که خاک‌های تیمار شده با بیوچارهای مختلف ضایعات پسته افزایش معنی‌داری در میزان قابلیت هدایت الکتریکی خاک نسبت به تیمار شاهد داشته‌اند. بیشترین میزان قابلیت هدایت الکتریکی مربوط به تیمار تفاله پسته در ماه اول بود که افزایشی در حدود ۲ برابر نسبت به تیمار شاهد داشته است (شکل ۳). افزایش میزان قابلیت هدایت الکتریکی خاک را می‌توان به وجود نمک‌های محلول در آب موجود در بیوچارهای تولیدشده در دمای بالا نسبت داد (Singh *et al.*,

2010). نتایج به دست آمده با یافته‌های پژوهش‌های Olmo *et al.*, 2016 و Ippolito *et al.*, 2012 همخوانی دارد. Mustafa *et al.*, 2010 و DeLuca *et al.*, 2015 به افزایش نسبی قابلیت هدایت الکتریکی در مراحل اولیه پس از کاربرد بیوچار در خاکها اشاره و دلیل آن را وجود نمک‌های محلول در بیوچارها و تجزیه سریع بخش‌های قابل‌تجزیه این مواد در زمان‌های اولیه بیان کردند. همچنین نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد، باگذشت زمان قابلیت هدایت الکتریکی در خاکهای تیمار شده با بیوچارهای مختلف کاهش نسبتاً معنی‌داری در بعضی از خاکهای تیمار شده، به خصوص از ماه سوم به بعد، داشته است (شکل ۳) که دلیل آن را می‌توان به جذب سطحی نمک توسط بیوچار بیان کرد. در مطالعات گذشته نیز به ظرفیت بالای زغال برای جذب نمک‌ها اشاره شده است (Bartell and Miller, 1923; Thomas *et al.*, 2013).



شکل ۳. اثر تیمارهای بیوچار تفاله پسته، پوست سخت پسته و چوب پسته در زمان‌های مختلف بر میزان قابلیت هدایت الکتریکی خاک (میانگین‌های حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد از آزمون دانکن می‌باشند)

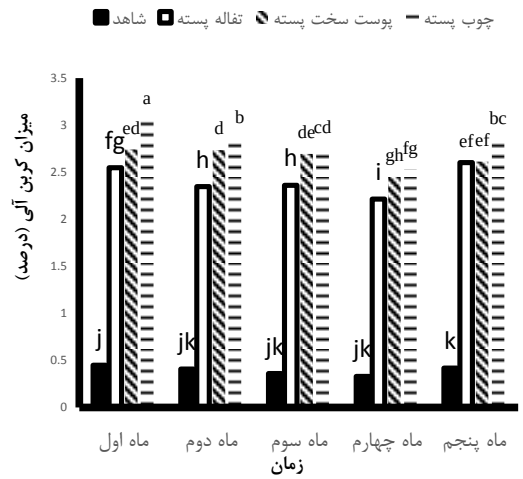
کربن آلی

بر اساس نتایج کسب‌شده از جدول تجزیه واریانس از اثر دو فاکتور نوع بهساز و زمان خوابانیدن (جدول ۴) بر میزان کربن آلی، تیمارهای بیوچار تفاله پسته، پوست سخت پسته و چوب پسته در طی مراحل زمانی ۵ ماهه بر میزان کربن آلی خاک تأثیر معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ درصد داشته‌اند. تیمار بیوچار چوب پسته در ماه اول بیشترین میزان کربن آلی خاک را به میزان ۸۵/۲۶ درصد نسبت به تیمار شاهد به خود اختصاص داد و بعد از ماه اول با کاهش اندکی در میزان کربن آلی خاک به میزان نسبتاً ثابتی رسید (شکل ۴). کاهش میزان کربن آلی در خاک در گذر زمان در بعضی از تیمارها (مانند خاک تیمار شده با بیوچار چوب پسته) را می‌توان به مقاومت کمتر به تجزیه، تجزیه میکروبی و کمتر بودن ترکیبات آروماتیک و خشبی ترکیبات بیوچار نسبت داد (Schmidt and Noack, 2000) که با نتایج (Wardle *et al.*, 2008) و (Hamer *et al.*, 2004) همخوانی دارد. از طرفی، دلیل افزایش کربن آلی خاک بعد از افزودن بیوچار به خاک می‌تواند به دلیل کربن موجود در بیوچار باشد؛ زیرا بخش عمده‌ای از ترکیبات بیوچار را کربن تشکیل می دهد (Rogovska *et al.*, 2011; Andress *et al.*, 2015). نتایج به دست آمده با یافته‌های Beheshti *et al.*, 2016; Zolfi 2016) که گزارش دادند، منابع آلی (کود مرغی) سبب افزایش مقادیر کربن آلی خاک و بیوچار تهیه‌شده از این منابع در دماهای بالاتر سبب افزایش ماندگاری کربن آلی خاک می شود، همخوانی دارد. در پژوهشی دیگر (Ippolito *et al.*, 2012) مشاهده کردند که میزان کربن آلی خاک‌های تیمار شده با بیوچار با مقادیر مصرفی مختلف، تأثیرهای مختلفی بر میزان کربن آلی خاک داشته به صورتی که میزان مقادیر مصرفی بالاتر موجب افزایش کربن آلی خاک گردیده است.

جدول ۴. تجزیه واریانس میانگین مربعات اثر تیمارهای بیوچار تفاله پسته، پوست سخت پسته و چوب پسته در زمان‌های مختلف بر میزان کربن آلی، پتاسیم و نیترات خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	O.C	K	NO_3-N
تیمار	۳	۱۹/۲۶۶**	۴۲۴۱۱۹/۵۷۲**	۷۷۰/۹۵۱**
زمان	۴	۰/۰۶۹**	۳۲۱۴۱/۱۴۲**	۷۰/۱۵۸**
تیمار× زمان	۱۲	۰/۰۱۷**	۲۲۶۱/۵۸۶**	۱۴/۲۶۵**
خطا	۴۰	۰/۰۰۲	۶۴۱/۰۱۷	۰/۵۵۳

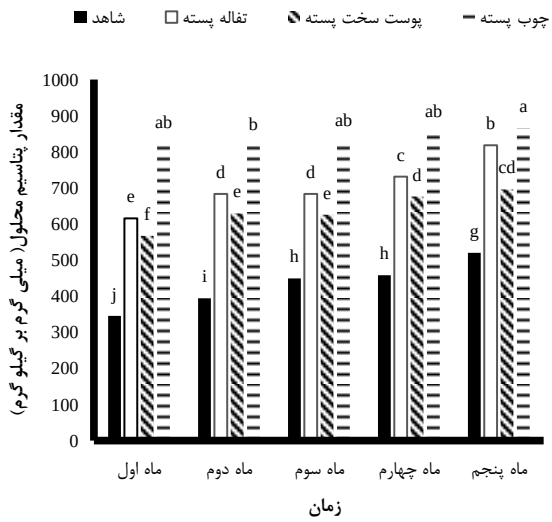
** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، ns غیر معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد آزمون دانکن



شکل ۴. اثر تیمارهای بیوچار تفاله پسته، پوست سخت پسته و چوب پسته در زمان‌های مختلف بر میزان کربن آلی خاک (میانگین‌های حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد از آزمون دانکن می‌باشند)

پتاسیم محلول خاک

با توجه به نتایج ارائه‌شده در جدول تجزیه واریانس از اثرات منابع تغییرات بر پتاسیم محلول (جدول ۴) مشاهده شد که اثرات فاکتورها و اثرات متقابل آنها در سطح یک درصد بر میزان پتاسیم محلول خاک معنی‌دار می‌باشد. بر طبق نتایج، باگذشت زمان میزان پتاسیم محلول خاک با یک روند ملایمی افزایش یافت، به‌طوری که تیمار بیوچار چوب پسته در ماه پنجم بیشترین میزان پتاسیم خاک را به میزان ۶۰/۱۴ درصد نسبت به تیمار شاهد به خود اختصاص داد که این افزایش در میزان پتاسیم در محلول خاک توسط بیوچار را می‌توان به منبع اولیه ماده آلی که از آن بیوچار تهیه شده است، نسبت داد (شکل ۵). نتایج Haefele *et al.*, 2011 در بررسی اثر کاربرد بیوچار (بقایای گیاهی برنج) بر میزان پتاسیم خاک نشان داد که کاربرد بیوچار باعث افزایش قابلیت پتاسیم در خاک شده است. روند تغییرات پتاسیم محلول خاک در ماه‌های مختلف به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است که این نتایج با یافته‌های (Gaskin *et al.*, 2010) و (Olarieta *et al.*, 2011) همخوانی دارد. در پژوهشی دیگر که در یک خاک لومی تیمار شده با بیوچار ضایعات گردو انجام گرفت، نشان داده شد که خاک‌های تیمار شده با بیوچار نسبت به تیمار شاهد افزایش قابل‌توجهی در میزان پتاسیم خاک داشته است (Novak *et al.*, 2009). Zolfi *et al.*, 2016در بررسی اثر بیوچارهای تهیه‌شده از کود مرغی در دماهای متفاوت (۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ درجه سلسیوس) بر ویژگی های شیمیایی یک خاک آهکی گزارش کردند که هرچند کاربرد کود مرغی سبب افزایش قابلیت استفاده پتاسیم در خاک شده بود، اما کاربرد بیوچار تهیه‌شده از آن در دمای بالاتر با افزایش قابلیت استفاده پتاسیم در خاک همراه بوده است. افزایش قابل‌ملاحظه در مقادیر پتاسیم محلول با کاربرد بیوچارهای مختلف نشان می‌دهد که می‌توان از این منبع، به‌عنوان یک منبع حاوی پتاسیم در مدیریت حاصلخیزی خاک‌هایی که کمبود پتاسیم دارند استفاده کرد (Najafi-Ghiri, 2015; Habibi *et al.*, 2017). از آنجایی که در اکثر باغات تحت کشت پسته، آبیاری به صورت غرقابی صورت می‌گیرد و همچنین به دلیل شخم‌های متعدد با مدیریت نادرست باعث تراکم خاک می شوند، در شرایط سطوح بالای رطوبتی و یا خاک‌های متراکم به دلیل کاهش فراهمی اکسیژن، روند قابلیت جذب پتاسیم کند می‌شود و چون سالانه مقادیر قابل‌توجهی ضایعات در مناطق پسته‌کاری حاصل می‌شود لذا مدیریت این بقایا و تبدیل آن‌ها به بیوچار تأثیر بسزایی در افزایش میزان پتاسیم و همچنین بهبود ویژگی‌های کیفی خاک دارد؛ بنابراین می‌توان این بهساز را به عنوان یک منبع اصلاح‌کننده در باغات تحت کشت پسته که کمبود پتاسیم دارند جهت بهبود وضعیت حاصلخیزی، با احتیاط از خطرات احتمالی کاربرد آن، توصیه نمود.

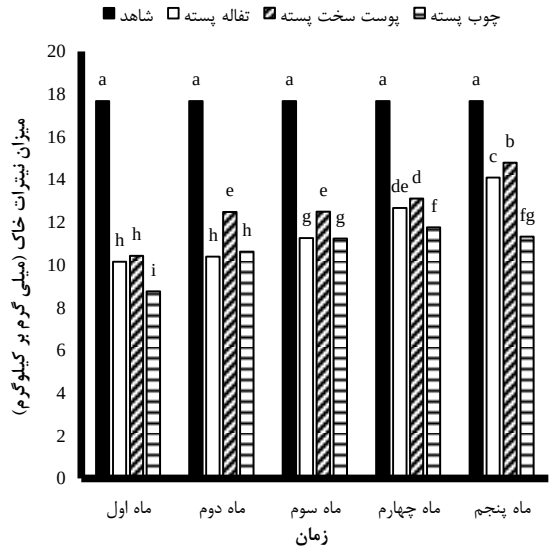


شکل ۵. اثر تیمارهای بیوچار تفاله پسته، پوست سخت پسته و چوب پسته در زمان‌های مختلف بر میزان پتاسیم محلول خاک (میانگین‌های حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد از آزمون دانکن می‌باشند)

نیترات خاک

بر اساس داده‌های بدست آمده از جدول (۴)، اثر تیمارهای مختلف بیوچار در طی زمان و اثرات متقابل آنها، اثر معنی‌داری (در سطح ۰/۰۱)، بر میزان نیترات خاک داشته است. کاربرد بیوچارهای مختلف به صورت معنی‌داری سبب کاهش نیترات خاک در مقایسه با نمونه شاهد شده است. بیشترین کاهش در نمونه‌های تیمار شده با بیوچار پوست پسته در ماه اول از خوابانیدن بدست آمد. در طرف مقابل با گذشت زمان، در نمونه های تیمار شده با بیوچارهای مختلف، میزان نیترات افزایش معنی‌داری نشان داده است. گزارش‌های انجام شده نشان داده است که بیوچار به واسطه قابلیت جذب آنیونی (علاوه بر خاصیت جذب کاتیونی بالا) و همچنین سطح ویژه بالا، قابلیت نگهداشت بالایی از نیترات را دارا بوده که در نتیجه آن نیترات در عصاره خاک کاهش یافته است (Downie *et al.*, 2007; Hollister *et al.*, 2013; Lie *et al.*, 2014; Zhang *et al.*, 2014). در نگاهی دیگر به کاهش میزان نیترات در نمونه‌های تیمار شده در مقایسه با نمونه شاهد می‌توان بیان کرد، افزودن بیوچارهای ذکرشده، به عنوان مواد آلی، سبب تحریک میکروارگانیزم‌ها و درنتیجه افزایش فعالیت آن‌ها برای تجزیه بیشتر و مصرف نیترات خاک شده است. از آنجایی که نیترات دارای حلالیت بسیار بالایی در آب می‌باشد و تحت تأثیر کلوئیدهای خاک قرار نمی‌گیرد، در نتیجه کاملاً متحرک بوده و

چنانچه مقدار نیترات و حرکت آن در خاک بالا باشد در معرض خطر آبشویی قرار می‌گیرد. آبشویی نیترات معمولاً مکانیسم عمده هدرروی نیتروژن از خاک‌های زراعی تحت شرایط سیستم‌های کشت آبی محسوب می‌شود. در یافته‌های پژوهشگران مختلف در زمینه نگهداشت نیترات و کاهش آن در زه آب خروجی، نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که کاربرد بیوچار موجب کاهش نیترات در عصاره خاک یا زه آب گردیده است. Ghorbani, *et al.* 2016 بیان کردند که بیوچار پوسته شلتوک برنج موجب کاهش آبشویی نیترات و نگهداشت آن در خاک شده است. Prendergast-Miller *et al.*, 2011 مشاهده کردند که خاک‌های اصلاح‌شده با مقادیر بالای بیوچار نسبت به مقادیر پایین‌تر، نیترات بیشتری را در ذرات بیوچار و همچنین در ریزوسفر خود دارا می‌باشند که دلیل آن را به دام افتادن نیترات توسط بیوچار بیان کردند. در پژوهش‌های (Rajkovich *et al.*, 2012) نشان داده شد که بالا رفتن مقدار مصرف بیوچار (تا ۷ درصد) می‌تواند باعث بی‌تحرک شدن نیتروژن (آلی شدن) و در نتیجه کاهش آبشویی آن شود. Ducey *et al.*, 2013 نیز با افزودن ۱۰ درصد بیوچار به نمونه خاک آهکی فرسایش یافته، دریافتند که روند تثبیت نیتروژن با افزودن بیوچار سریع‌تر می شود و همچنین ممکن است که افزودن بیوچار به خاک حرکت چرخه نیتروژن را کاهش دهد که یافته‌های این محقق با نتایج Cayuela *et al.*, 2013 همخوانی داشت. به‌طور کلی نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر نشان داد که بیشترین تأثیر از نگهداشت نیترات در نمونه‌های تیمار شده از بیوچارهای چوب پسته و تفاله پسته می‌باشد.



شکل ۶.. اثر تیمارهای بیوچار تفاله پسته، پوست سخت پسته و چوب پسته در زمان‌های مختلف بر میزان نیترات خاک (میانگین‌های حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد از آزمون دانکن می‌باشند)

آهن قابل‌جذب خاک

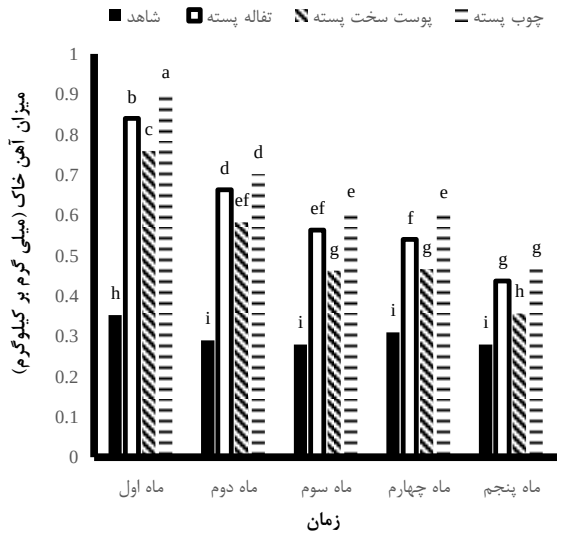
با توجه به نتایج ارائه‌شده در جدول (۵) از جدول تجزیه واریانس، مشاهده شد که کاربرد بیوچارهای مختلف در تمام مراحل زمانی اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ بر میزان آهن قابل‌جذب خاک، داشته است. کاربرد همه تیمارهای بیوچار نسبت به تیمار شاهد، افزایش معنی‌داری در مقدار آهن قابل‌جذب در خاک داشته است که می‌توان بیان کرد، علاوه بر مقادیر بالا از آهن در درون نمونه‌های بیوچار که در طی مراحل تجزیه آزاد می‌شوند، کاربرد مواد آلی سبب افزایش قابلیت دسترسی و به عبارتی سبب کلاته شدن عناصر، به خصوص عناصر کم‌مصرف می‌شود. Van Herwijnen *et al.*, 2007 در تحقیقات خود نشان دادند، تغییر در قابلیت استفاده عناصر غذایی کم‌مصرف در خاک تحت تأثیر ویژگی‌های مواد آلی و خاک می‌باشد که با تجزیه مواد آلی، عناصر غذایی موجود در آن آزاد می‌شود. با گذشت زمان خوابانیدن، مقدار آهن نسبت به زمان‌های اولیه کاهش نشان داده است که دلیل آن را می‌توان به تجزیه سریعتر در زمان‌های ابتدایی و کاهش سرعت تجزیه در زمان‌های انتهایی بیان کرد (Zolfi *et al.*., 2016). مقدار بیوچار چوب پسته در ماه اول بیشترین میزان آهن قابل‌جذب خاک را دارا بود که حدود ۶۰/۷۷ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داده است (شکل ۷). Najafi-Ghiri(2015) در تحقیق خود نشان داد که کاربرد بیوچار ضایعات پنبه و کنجد سبب افزایش معنی‌داری در قابلیت استفاده آهن خاک شده است که با یافته‌های پژوهش حاضر همخوانی دارد. Hossain *et al.*, 2011 نیز بیان کردند که مقدار عناصر در بیوچار بستگی به دمای تولید آن داشته و با افزایش دمای تولید، مقدار عناصر کم‌مصرف در بیوچار افزایش می‌یابد؛ بنابراین تأثیر بیشتری بر بهبود وضعیت حاصلخیزی عناصر کم‌مصرف دارند. در خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک به دلیل پایین بودن مقادیر ماده الی، آهن قابل‌دسترس کمتری در خاک برای استفاده گیاه وجود داشته، لذا افزودن ماده الی به خاک سبب بهبود قابلیت دسترسی عناصر کم‌مصرف از جمله آهن خواهد شد.

جدول ۵- تجزیه واریانس میانگین مربعات اثر تیمارهای بیوچار تفاله پسته، پوست سخت پسته و چوب پسته در زمان‌های مختلف بر میزان عناصر میکرو خاک

منابع تغییرات	درجه آزادی	Fe	Mn	Cu	Zn
تیمار	۳	۰/۳۶۸**	۳۲/۲۰۰**	۰/۰۲۷**	۰/۰۵۵**
زمان	۴	۰/۱۸۱**	۸/۷۷۹**	۰/۰۱۳**	۰/۱۵۹**
تیمار× زمان	۱۲	۰/۰۱۲**	۰/۹۳۰**	۰/۰۰۱*	۰/۰۰۲**

خطا	۴۰	۰/۰۰۱	۰/۰۱۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰

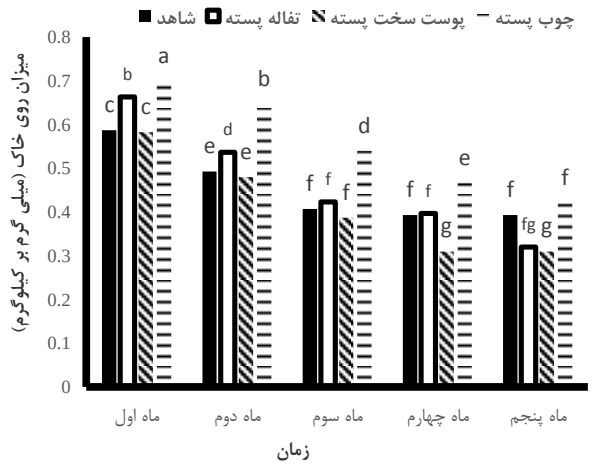
** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، ns غیر معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد آزمون دانکن



شکل ۷. اثر تیمارهای بیوچار تفاله پسته، پوست سخت پسته و چوب پسته در زمان‌های مختلف بر میزان آهن قابل‌جذب خاک (میانگین‌های حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد از آزمون دانکن می‌باشند)

روی قابل‌جذب خاک

جدول تجزیه واریانس از اثر منابع تغییرات بر میزان روی قابل‌جذب خاک (جدول ۵) نشان از معنی‌دار بودن تیمارها و اثرات متقابل آن بر میزان این عنصر دارد. کاربرد برخی از بیوچارها سبب افزایش معنی‌دار روی قابل‌دسترس در مقایسه با نمونه شاهد شده است (شکل ۸). هرچند که با گذشت زمان از ماه اول به بعد سیر نزولی در همه تیمارها مشاهده می‌شود، به نحوی که کمترین میزان روی قابل‌جذب خاک با کاربرد بیوچار پوست سخت پسته در ماه پنجم به میزان ۴۸/۱۸ درصد نسبت به تیمار شاهد به دست آمد (شکل ۷). تغییر در قابلیت استفاده عناصر غذایی کم‌مصرف در خاک تحت تأثیر ویژگی‌های مواد آلی و خاک می‌باشد. آهکی بودن خاک و پ-هاش نسبتاً بالای خاک‌های موردپژوهش، کاهش سریع قابلیت استفاده عناصر آزادشده را سبب شده است. برخی منابع افزایش قابلیت استفاده عناصر غذایی کم‌مصرف را در اثر کاربرد بیوچار در خاک (Fellet *et al.*, 2011; Namgay *et al.* 2010) و برخی کاهش آن را (Kookana *et al.*, 2011) گزارش کرده‌اند. هرچند مکانیسم‌های متعددی مسئول افزایش یا کاهش نگهداری عناصر غذایی در خاک می‌باشد (Sposito, 1984). مطالعات انجام شده نشان داد که اضافه نمودن بیوچار به خاک با تأثیر بر ظرفیت تبادل یونی و فعالیت‌های میکروبی بر قابلیت استفاده یون‌های غذایی مؤثر است (Atkinson *et al.*, 2010). تشکیل گروه‌های عامل محل های جذب در سطح بیوچار نیز ظرفیت خاک را در ایجاد کمپلکس با یون‌های فلزی و جذب آن‌ها افزایش می‌دهد (Uchimiya *et al.*, 2011). با توجه به ساختار سخت بیوچار در خاک و افزایش مقاومت آن به تجزیه با افزایش دمای آتش‌کافت (Steiner *et al.*, 2007)، انتظار می‌رود کمپلکس‌های ایجادشده یون‌های فلزی با بیوچار پایدارتر از سایر منابع ماده آلی باشد (Namgay *et al.*, 2010). ماندگاری طولانی‌مدت اثر بیوچار بر قابلیت استفاده عناصر غذایی و ویژگی‌های خاک، به دلیل مقاومت بیشتر آن به تجزیه گزارش شده است (Fellet *et al.*, 2011). نتایج به دست آمده از این تحقیق با یافته‌های (Ippolito *et al.*, 2012) و (Davis and Westfall, 2009) و (Espinoza *et al.*, 2006) همخوانی دارد. عناصر غذایی موجود در بیوچار بستگی به منبع اولیه تولید آن دارد (Hossain *et al.*, 2010). از آنجایی که ضایعات جمع‌آوری‌شده در این پژوهش از تاج پوشش گیاه می‌باشند، به دلیل عدم تحرک عناصر غذایی کم‌مصرف در قسمت‌های فوقانی، میزان عناصر کم‌مصرف بیشتر بوده، بنابراین بیوچار تولیدشده غنی‌تر می‌باشد که می‌تواند دلیل دیگری بر افزایش میزان روی قابل‌دسترس در خاک باشد.

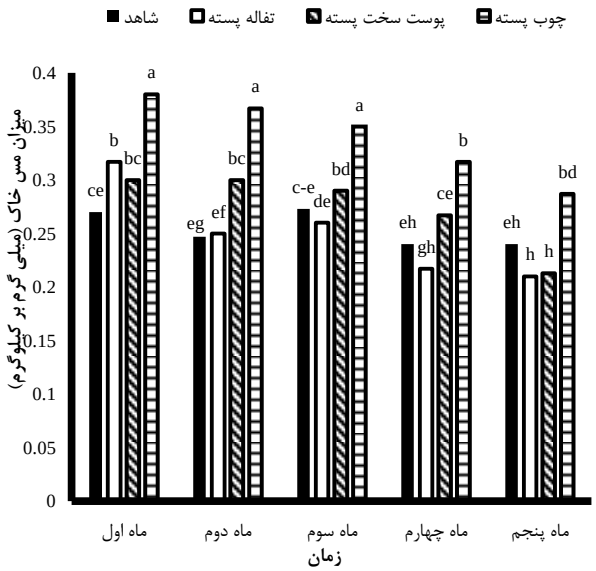


شکل ۸. اثر تیمارهای بیوچار تفاله پسته، پوست سخت پسته و چوب پسته در زمان‌های مختلف بر میزان روی قابل‌جذب خاک (میانگین‌های حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد از آزمون دانکن می‌باشند)

مس قابل‌جذب خاک

با توجه به داده‌های ارائه‌شده در جدول تجزیه واریانس از اثرات منابع تغییرات بر مقادیر مس قابل‌جذب خاک (جدول ۵) مشاهده شد که اثرات فاکتورها و اثرات متقابل آنها به صورت معنی‌داری در سطوح یک و پنج درصد، بر مقادیر مس قابل‌جذب خاک اثر دارند. کاربرد بیوچار پوست پسته در همه زمانها، به طور معنی‌داری سبب افزایش مس قابل دسترس خاک شده است، در حالی که دو بیوچار دیگر در ماههای اولیه تفاوت

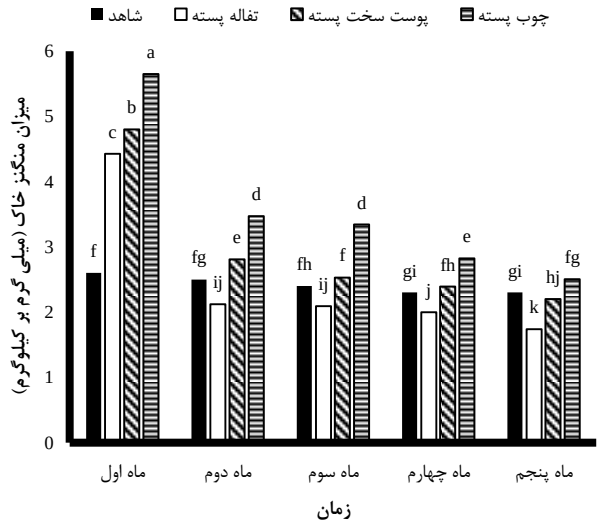
معنی‌دار افزایشی نشان داده‌اند، اما در ماههای انتهایی خوابانیدن، روند کاهشی و ثابتی نسبت به نمونه شاهد داشتند. با گذشت زمان، به‌استثنای بیوچار تفاله پسته که روند نامشخصی را دارا بود، در همه نمونه‌های تیمار شده، روند کاهشی معنی‌داری در میزان مس قابل‌دسترس خاک مشاهده شد. Zolfi *et al.*, 2016 در بررسی اثر بیوچارهای تهیه‌شده از کود مرغی در دماهای متفاوت (۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ درجه سلسیوس) بر ویژگی‌های شیمیایی یک خاک آهکی گزارش کردند که کاربرد بیوچارهای ذکرشده در زمان‌های اولیه به صورت معنی‌داری سبب افزایش آهن و منگنز شده است، اما با گذشت زمان از قابلیت دسترسی این عناصر کاسته شده است که دلیل آن را کاهش سرعت تجزیه و آزادسازی کمتر این عناصر در طول زمان بیان کردند.



شکل ۹. اثر تیمارهای بیوچار تفاله پسته، پوست سخت پسته و چوب پسته در زمان‌های مختلف بر میزان مس قابل‌جذب خاک (میانگین‌های حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد از آزمون دانکن می‌باشند)

منگنز قابل‌جذب خاک

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۵) مشاهده شد که کاربرد بیوچارهای مختلف در تمام مراحل زمانی و همچنین اثرات متقابل آنها، اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ بر میزان منگنز قابل‌جذب خاک داشته‌اند. افزودن همه نمونه‌های بیوچار به خاک باعث افزایش منگنز در ماه اول از خوابانیدن شده است (شکل ۹)، هرچند که با گذشت زمان از مقادیر منگنز قابل‌دسترس کاسته و حتی در بعضی از نمونه‌های تیمار شده مانند بیوچارهای تفاله و پوست سخت پسته نسبت به نمونه شاهد، کاهش مشخصی را داشته‌اند. نتایج تحقیقات (Najafi-Ghiri, 2015) نشان می‌دهد که بیوچارهای تولیدشده از ضایعات ذرت، قابلیت استفاده منگنز را در خاک افزایش داده است که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. افزودن بیوچار به خاک می تواند سبب تأمین مقادیری کربن آلی ناپایدار برای خاک شود که با تجزیه کربن آلی، افزایش غلظت عناصر کم‌مصرف در خاک نیز زیاد می‌شود (Lentz and Ippolito, 2012). گذشت زمان‌های دوم تا پنجم از زمان خوابانیدن، به صورت معنی‌داری سبب کاهش منگنز قابل‌دسترس شده است، اما بطور کلی با گذشت زمان روند کاهشی از میزان این عنصر در همه نمونه‌های تیمار شده مشاهده می‌شود. کاهش ایجادشده در میزان دسترسی خاک به منگنز (و همچنین آهن) می‌تواند ناشی از فرم‌های معدنی این دو عنصر باشد که در طول زمان به فرم‌های با دسترسی کمتر (شکل‌های شیمیایی متصل به اکسیدهای آهن بی‌شکل و کریستالی و همچنین شکل باقیمانده) تغییر پیدا کرده‌اند که نتایج این تحقیق با یافته‌های (Davis *et al.*, 2009) همخوانی دارد.



شکل ۱۰. اثر تیمارهای بیوچار تفاله پسته، پوست سخت پسته و چوب پسته در زمان‌های مختلف بر میزان منگنز قابل‌جذب خاک (میانگین‌های حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد از آزمون دانکن می‌باشند)

نتیجه‌گیری کلی

مدیریت ضایعات کشاورزی در دنیا به منظور کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی (ناشی از سوزاندن آنها) یکی از چالش‌های مهم و پیش روی محققان و کشاورزان می‌باشد که در سال‌های اخیر تبدیل این مواد به فراورده‌های مهمی از جمله کربن فعال و بیوچار، درب‌های جدیدی را به منظور مدیریت این ضایعات، گشوده است. پهاش قلیایی، میزان ماده آلی و همچنین عناصر کم‌مصرف پایین و استفاده بیش از حد کشاورزان از کودهای

نیتروژنی در زمین‌های زیر کشت پسته استان کرمان، مجموعه محدودیت‌هایی می‌باشد که می‌توان با کاربرد صحیح بیوچار مرتفع شوند. در تحقیق حاضر تلاش شده است به بررسی اثربخشی بیوچارهای مختلف تولیدی از ضایعات مختلف پسته (تفاله نرم پسته، پوست سخت پسته و چوب درختان پسته) در دمای بالا (۶۰۰ درجه سلسیوس)، بر خصوصیات مختلف حاصلخیزی خاک پرداخته شود. نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد هر سه بهساز در زمان‌های مختلف خوابانیدن، اثر معنی‌داری بر میزان پ‌هاش خاک نداشته است. ولی در نمونه خاک‌های تیمار شده با هر سه بیوچار در هر ۵ زمان، افزایش معنی‌داری از میزان قابلیت هدایت الکتریکی و کربن آلی نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد. بیشترین افزایش کربن آلی از نمونه های بیوچار چوب پسته حاصل شد که نسبت به تیمار شاهد افزایش ۸۵/۳۴ درصدی را نشان داده است. با افزایش بیوچار و زمان، میزان پتاسیم محلول خاک افزایش معنی‌داری نشان داد؛ به‌نحوی که تمام تیمارها افزایش تقریباً دو برابری نسبت به تیمار شاهد داشتند. افزودن بیوچار به خاک موجب نگهداشت نیترات و کاهش معنی‌دار نیترات در محلول خاک نسبت به نمونه شاهد شد که کمترین نیترات مربوط به بیوچار چوب پسته در ماه اول بود که نسبت به تیمار شاهد، کاهش ۷۹/۸۸ درصدی را نشان داد. کاربرد بیوچارها سبب افزایش معنی‌دار آهن و افزایش نامنظم از سه عنصر روی، مس و منگنز شده بود که با گذشت زمان به دلیل کاهش تجزیه بیوچار و تبدیل شکل های آن به شکل‌های با قابلیت دسترسی کمتر، از میزان این عناصر در خاک کاسته شد. بیشترین اثرات مثبت بیوچارهای تولیدی بر خصوصیات حاصلخیزی خاک، ناشی از کاربرد بیوچارهای تفاله پسته و چوب پسته می‌باشد که ارجحیت بیشتری نسبت به بیوچارهای پوست سخت پسته دارا بودند. از آنجا که تفاله پوست پسته نسبت به چوب پسته فراوان‌تر و قابل‌دسترس‌تر می‌باشد، لذا بیوچار این ماده می‌تواند به عنوان ماده پیشنهادی به منظور بهبود خصوصیات حاصلخیزی خاک در منطقه معرفی شود.

REFERENCES

Ahmad, M., Rajapaksha, A. U., Lim, J. E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., and Ok, Y. S. (2014). Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: a review. *Chemosphere, 99*, 19-33.

Allen, R. L. (1847). A brief compend of American agriculture: CM Saxton.

Atkinson, C. J., Fitzgerald, J. D., and Hipps, N. A. (2010). Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant and soil, 337*(1-2), 1-18.

Bartell, F., and Miller, E. (1923). Adsorption by activated sugar charcoal. II1, 2. *Journal of the American Chemical Society, 45*(5), 1106-1115.

Beheshti, M., Alikhani, H., Motesharezadeh, B., Mohammadi, L. (2016). Quality variations of cow manure biochar generated at different pyrolysis temperatures. *Iranian Journal of Soil Research*, 47(2), 259-267.

Brewer, C. E., Hu, Y.-Y., Schmidt-Rohr, K., Loynachan, T. E., Laird, D. A., and Brown, R. C. (2012). Extent of pyrolysis impacts on fast pyrolysis biochar properties. *Journal of Environmental Quality, 41*(4), 1115-1122.

Cayuela, M. L., Sánchez-Monedero, M. A., Roig, A., Hanley, K., Enders, A., and Lehmann, J. (2013). Biochar and denitrification in soils: when, how much and why does biochar reduce N2O emissions? *Scientific reports, 3*, 1732.

Cui, X., Hao, H., Zhang, C., He, Z., and Yang, X. (2016). Capacity and mechanisms of ammonium and cadmium sorption on different wetland-plant derived biochars. *Science of the Total Environment, 539*, 566-575.

Davis, J., and Westfall, D. (2009). Fertilizing corn. Colorado State University Extension Fact Sheet No. 0.538. In.

Davis, J., Davidson, R., and Essah, S. (2009). Fertilizing potatoes. Colorado State University Extension Fact Sheet No. 0.541. In.

DeLuca, T. H., Gundale, M. J., MacKenzie, M. D., and Jones, D. L. (2015). Biochar effects on soil nutrient transformations. *Biochar for environmental management: science, technology and implementation, 2*, 421-454.

Downie, A., Van Zwieten, L., Doughty, W., and Joseph, F. (2007). *Nutrient retention characteristics of chars and the agronomic implications.* Paper presented at the Proceedings, International Agrichar Iniative Conference, 30th April-2nd May.

Ducey, T. F., Ippolito, J. A., Cantrell, K. B., Novak, J. M., and Lentz, R. D. (2013). Addition of activated switchgrass biochar to an aridic subsoil increases microbial nitrogen cycling gene abundances. *Applied soil ecology, 65*, 65-72.

Espinoza, L., Slaton, N., and Mozaffari, M. (2006). Understanding the numbers on your soil test report. University of Arkansas Cooperative Extension FSA2118. In.

Fathi Gerdelidani, A., Mirseyed Hosseini, H., Farahbakhsh, M. (2016). Some effects of spent mushroom compost and bagasse biochar on alkaline phosphatase activity and phosphorus availability in some calcareous soils. *Iranian Journal of Soil Research*, 46(4), 801-812. (In Farsi)

Fellet, G., Marchiol, L., Delle Vedove, G., and Peressotti, A. (2011). Application of biochar on

mine tailings: effects and perspectives for land reclamation. *Chemosphere, 83*(9), 1262-1267.

Gaskin, J. W., Speir, R. A., Harris, K., Das, K., Lee, R. D., Morris, L. A., and Fisher, D. S. (2010). Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. *Agronomy Journal, 102*(2), 623-633.

Gee, G. W., and Bauder, J. W. (1986). Particle-size analysis1. *Methods of soil analysis: Part 1—Physical and mineralogical methods*(methodsofsoilan1), 383-411.

Ghiri, M. N., Abtahi, A., Owliaie, H., Hashemi, S. S., and Koohkan, H. (2011). Factors affecting potassium pools distribution in calcareous soils of southern Iran. *Arid land research and management, 25*(4), 313-327.

Ghorbani, M., Asadi, H., Abrishamkesh, S. (2016). Effect of Rice Husk Biochar on Nitrate Leaching in a Clayey Soil. *Journal of Managment System.* 9(29): 127-134. (In Farsi)

Greenberg, A and A. Eaton. (2005). Standard Methods for Examination of Water and Waste Water. *American Public Health Association.*

Habibi, H., Motesharezadeh, B., Alikhani, H. (2017). Effect of biochar and biological treatments on nutrient elements content (P, K, Ca, Mg, Fe and Mn) of Amaranthus in oil polluted soil. *Iranian Journal of Soil Research,* 48(2), 369-384. (In Farsi)

Haefele, S., Konboon, Y., Wongboon, W., Amarante, S., Maarifat, A., Pfeiffer, E., and Knoblauch, C. (2011). Effects and fate of biochar from rice residues in rice-based systems. *Field Crops Research, 121*(3), 430-440.

Hamer, U., Marschner, B., Brodowski, S., and Amelung, W. (2004). Interactive priming of black carbon and glucose mineralisation. *Organic Geochemistry, 35*(7), 823-830.

Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L., and Nelson, W. L. (2005). *Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management* (Vol. 515): Pearson Prentice Hall Upper Saddle River, NJ.

Hollister, C. C., Bisogni, J. J., and Lehmann, J. (2013). Ammonium, nitrate, and phosphate sorption to and solute leaching from biochars prepared from corn stover (Zea mays L.) and oak wood (Quercus spp.). *Journal of Environmental Quality, 42*(1), 137-144.

Hossain, M. K., Strezov, V., Chan, K. Y., and Nelson, P. F. (2010). Agronomic properties of wastewater sludge biochar and bioavailability of metals in production of cherry tomato (Lycopersicon esculentum). *Chemosphere, 78*(9), 1167-1171.

Hossain, M. K., Strezov, V., Chan, K. Y., Ziolkowski, A., and Nelson, P. F. (2011). Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar. *Journal of Environmental Management, 92*(1), 223-228.

Ippolito, J. A., Laird, D. A., and Busscher, W. J. (2012). Environmental benefits of biochar. *Journal of Environmental Quality, 41*(4), 967-972.

Kimetu, J. M., Lehmann, J., Ngoze, S. O., Mugendi, D. N., Kinyangi, J. M., Riha, S., and Pell, A. N. (2008). Reversibility of soil productivity decline with organic matter of differing quality along a degradation gradient. *Ecosystems, 11*(5), 726.

Knudsen, D., Peterson, G., and Pratt, P. (1982). Lithium, sodium, and potassium. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*(methodsofsoilan2), 225-246.

Kookana, R. S., Sarmah, A. K., Van Zwieten, L., Krull, E., and Singh, B. (2011). Biochar application to soil: agronomic and environmental benefits and unintended consequences. In *Advances in agronomy* (Vol. 112, pp. 103-143): Elsevier.

Laird, D. A., Fleming, P., Davis, D. D., Horton, R., Wang, B., and Karlen, D. L. (2010). Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. *Geoderma, 158*(3-4), 443-449.

Lehmann, J. (2007). (2007a).“Bio-energy in the black”. Frontiers in Ecology and the Environment 5, 381-387.

Lehmann, J., da Silva, J. P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., and Glaser, B. (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and soil, 249*(2), 343-357.

Lentz, R., and Ippolito, J. (2012). Biochar and manure affect calcareous soil and corn silage nutrient concentrations and uptake. *Journal of Environmental Quality, 41*(4), 1033-1043.

Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'neill, B., and Petersen, J. (2006). Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America Journal, 70*(5), 1719-1730.

Lindsay, W. L., and Norvell, W. A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper1. *Soil Science Society of America Journal, 42*(3), 421-428.

Lu, K., Yang, X., Shen, J., Robinson, B., Huang, H., Liu, D., and Wang, H. (2014). Effect of bamboo and rice straw biochars on the bioavailability of Cd, Cu, Pb and Zn to Sedum plumbizincicola. *Agriculture, ecosystems and environment, 191*, 124-132.

Mahmoodabadi, M., and Heydarpour, E. (2014). Sequestration of organic carbon influenced by the application of straw residue and farmyard manure in two different soils. *International Agrophysics, 28*(2), 169-176.

Najafi, g. M. (2015). Effect of different biochars application on some soil properties and nutrients availability in a calcareous soil. *Iranian Journal of Soil Research, 29(3), 352-358.*

Namgay, T., Singh, B., and Singh, B. P. (2010). Influence of biochar application to soil on the availability of As, Cd, Cu, Pb, and Zn to maize (Zea mays L.). *Soil Research, 48*(7), 638-647.

Nelson, R. (1982). *Carbonate and gypsum.--p. 181-197*. Retrieved from

Nigussie, A., Kissi, E., 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 and Environmental Science, 12*(3), 369-376.

Novak, J. M., Lima, I., Xing, B., Gaskin, J. W., Steiner, C., Das, K., and Busscher, W. J. (2009). Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. *Ann. Environ. Sci, 3*(2), 195-206.

Olarieta, J. R., Padrò, R., Masip, G., Rodríguez-Ochoa, R., and Tello, E. (2011). 'Formiguers', a historical system of soil fertilization (and biochar production?). *Agriculture, ecosystems and environment, 140*(1-2), 27-33.

Olmo, M., Villar, R., Salazar, P., and Alburquerque, J. A. (2016). Changes in soil nutrient availability explain biochar's impact on wheat root development. *Plant and soil, 399*(1-2), 333-343.

Olsen, S., Cole, C., Watanabe, F., and Dean, L. (1954). Estimation of available phosphorus by extraction with sodium bicarbonate (Circular 39). *Washington DC: USDA*.

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.

Rajkovich, S., Enders, A., Hanley, K., Hyland, C., Zimmerman, A. R., and Lehmann, J. (2012). Corn growth and nitrogen nutrition after additions of biochars with varying properties to a temperate soil. *Biology and Fertility of Soils, 48*(3), 271-284.

Rhoades, J. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods*(methodsofsoilan3), 417-435.

Rogovska, N., Laird, D., Cruse, R., Fleming, P., Parkin, T., and Meek, D. (2011). Impact of biochar on manure carbon stabilization and greenhouse gas emissions. *Soil Science Society of America Journal, 75*(3), 871-879.

Singh, B., Singh, B. P., and Cowie, A. L. (2010). Characterisation and evaluation of biochars for their application as a soil amendment. *Soil Research, 48*(7), 516-525.

Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., and Scholes, B. (2007). Greenhouse gas mitigation in agriculture Philosophical Transactions of the Royal Society (B). In: Accepted.

Sohi, S. P., Krull, E., Lopez-Capel, E., and Bol, R. (2010). A review of biochar and its use and function in soil. In *Advances in agronomy* (Vol. 105, pp. 47-82): Elsevier.

Sposito, G. (1984). *The surface chemistry of soils*: Oxford University Press.

Steiner, C., Teixeira, W. G., Lehmann, J., Nehls, T., de Macêdo, J. L. V., Blum, W. E., and Zech, W. (2007). Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant and soil, 291*(1-2), 275-290.

Thomas, G. (1996). Soil pH and soil acidity. *Methods of Soil Analysis Part 3—Chemical Methods*(methodsofsoilan3), 475-490.

Thomas, S. C., Frye, S., Gale, N., Garmon, M., Launchbury, R., Machado, N., and Winsborough, C. (2013). Biochar mitigates negative effects of salt additions on two herbaceous plant species. *Journal of Environmental Management, 129*, 62-68.

Toor, G., and Bahl, G. (1997). Effect of solitary and integrated use of poultry manure and fertilizer phosphorus on the dynamics of P availability in different soils. *Bioresource technology, 62*(1-2), 25-28.

Topoliantz, S., Ponge, J.-F., Arrouays, D., Ballof, S., and Lavelle, P. (2002). Effect of organic manure and the endogeic earthworm Pontoscolex corethrurus (Oligochaeta: Glossoscolecidae) on soil fertility and bean production. *Biology and Fertility of Soils, 36*(4), 313-319.

Uchimiya, M., Klasson, K. T., Wartelle, L. H., and Lima, I. M. (2011). Influence of soil properties on heavy metal sequestration by biochar amendment: 1. Copper sorption isotherms and the release of cations. *Chemosphere, 82*(10), 1431-1437.

Vaccari, F., Baronti, S., Lugato, E., Genesio, L., Castaldi, S., Fornasier, F., and Miglietta, F. (2011). Biochar as a strategy to sequester carbon and increase yield in durum wheat. *European Journal of Agronomy, 34*(4), 231-238.

van Herwijnen, R., Hutchings, T. R., Al-Tabbaa, A., Moffat, A. J., Johns, M. L., and Ouki, S. K. (2007). Remediation of metal contaminated soil with mineral-amended composts. *Environmental Pollution, 150*(3), 347-354.

Walkley, A., and Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science, 37*(1), 29-38.

Wan, N., and Fatinathan, S. (2010). Pb (II) biosorption using chitosan and chitosan derivatives beads: equilibrium, ion exchange and mechanism studies. *Journal of Environmental Sciences, 22*(3), 338-346.

Wardle, D. A., Nilsson, M.-C., and Zackrisson, O. (2008). Fire-derived charcoal causes loss of forest humus. *Science, 320*(5876), 629-629.

Yazdanpanah, N., Mahmoodabadi, M., and Cerdà, A. (2016). The impact of organic amendments on soil hydrology, structure and microbial respiration in semiarid lands. *Geoderma, 266*, 58-65.

Zhang, A., Cui, L., Pan, G., Li, L., Hussain, Q., Zhang, X., and Crowley, D. (2010). Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous

oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China. *Agriculture, ecosystems and environment, 139*(4), 469-475.

Zhang, A., Liu, R., Gao, J., Zhang, Q., Xiao, J., Chen, Z., and Yang, L. (2014). Effects of biochar on nitrogen losses and rice yield in anthropogenic-alluvial soil irrigated with Yellow river water. *Journal of Agro-Environment Science, 33*(12), 2395-2403.

Zolfi Bavariani, M., Ronaghi, A., Karimian, N., Ghasemi, R., and Yasrebi, J. (2016). Effect of Poultry Manure Derived Biochars at Different Temperatures on Chemical Properties of a Calcareous Soil. *JWSS-Isfahan University of Technology, 20*(75), 73-86.