

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

ABOLFAZL KHADEMI<sup>1\*</sup>, MAJID FEKRI<sup>2</sup> AND MAJID MAHMOODABADI<sup>3</sup>

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) prepared at 600° 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 treated 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 بیوپچار ضایعات مختلف پسته بر برخی ویژگی‌های حاصلخیزی یک خاک لومی

ابوالفضل خادمی جلگه نژاد<sup>۱\*</sup>، مجید فکری<sup>۲</sup>، مجید محمودآبادی<sup>۳</sup>

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 بیوپچار 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، بیوپچارهای تهیه‌شده از تفاله نرم پسته، پوست سخت پسته و چوب درختان پسته ۲۰ ساله در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس (به میزان ۰.۵٪ 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 بیوپچار در هر ۵ زمان، افزایش معنی‌داری از میزان قابلیت هدایت الکتریکی و کربن آلی نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد. با افزایش بیوپچار 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 بیوپچار به خاک موجب نگهداشت نیترات و کاهش معنی‌دار نیترات در محلول خاک نسبت به نمونه شاهد شد. کاربرد بیوپچارها سبب افزایش معنی‌دار آهن و افزایش نامنظم از سه عنصر روی، مس و منگنز شده بود که با گذشت زمان به دلیل کاهش تجزیه بیوپچار و تبدیل شکل‌های آنها به شکل‌های با قابلیت دسترسی کمتر، از میزان قابل دسترس این عناصر در خاک کاسته شد.

واژه‌های کلیدی: بیوپچار، 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 محصولات با عنوان بیوپچار می‌تواند به عنوان یکی از راهکارهای کاهش نشر گازهای گلخانه‌ای تلقی شود (Lehmann et al, 2007). بیوپچار یک فرآورده تولیدی از مواد آلی در طی فرایند آتش‌کافت در شرایط بی‌هوازی و نیمه‌هوازی 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 بیوپچار 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, 2007).

\* نویسنده مسئول: a.khademianar@gmail.com

حاضر تلاش دارد تا بتواند با استفاده از این منابع و تبدیل آن‌ها به محصول بیوپچار، به بررسی اثرات کاربرد این محصول بر حاصلخیزی خاک‌های منطقه بپردازد. بنابراین، این پژوهش باهدف بررسی اثر ۳ نوع بیوپچار 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  $30^{\circ}52'$  عرض شمالی و  $55^{\circ}16'$  طول شرقی) از عمق ۳۰-۰ سانتیمتری (با رده‌بندی Typic Petrogypsis) 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 عصاره‌گیری 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 کج‌دال 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 بیوپچارها و خصوصیات آنها

بیوپچارهای 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

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 بیوپچار 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 بیوپچار به خاک ایفا کنند (Glasser et al., 2002). بیوپچارهای 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 بیوپچار 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 پ‌هاش نسبتاً بالای این خاک‌ها می‌باشد 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 بیوپچار در خاک‌های با پ‌هاش 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 نیتروژنه 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 بیوپچار، به واسطه داشتن مقاومت بالا در برابر تجزیه (Liang et al., 2003; Lehmann et al., 2006)، به‌عنوان یک به‌ساز افزایشدهنده 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 آنجایی که 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

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 مورد مطالعه 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 می‌شود، همه نمونه‌های بیوچار تهیه‌شده دارای پ‌هاش بالایی می‌باشند؛ به‌نحوی که 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 می‌توان 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

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<sub>2</sub> 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 پ‌هاش 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:

$$yield(\%) = \frac{B}{M} \times 100 \quad (\text{رابطه ۱})$$

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<sup>۱</sup>

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 مورد استفاده و (۲) زمان خوابانیدن بودند. بر این اساس تیمار نوع بهسازهای مورد استفاده، 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

میزان پتاسیم در منبع اولیه آن دانست. میزان عناصر غذایی کم مصرف موجود در بیوجارهای مورد مطالعه، به منبع اولیه آن‌ها بستگی دارد، به نحوی که هرچه ماده اولیه آن‌ها از عناصر کم مصرف غنی‌تر بوده، بیوجار تولیدی نیز دارای عناصر کم مصرف بیشتری می‌باشد که در بین بیوجارهای مورد مطالعه، بیوجار چوب سخت پسته دارای بیشترین میزان از این عناصر بوده است.

تصعید) در همه بیوجارهای تولیدی نسبت به زیست‌توده اولیه قابل مشاهده بود (جدول ۲)، به نحوی که C/N بیوجارها 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 بیوجارها 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

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

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

جدول ۲. برخی خصوصیات شیمیایی بیوجارهای مورد استفاده در آزمایش و منبع اصلی آن‌ها

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

اکسیژن به ترتیب در گروه‌های آمینی (پیک بدست آمده در ناحیه ۱۶۰۰ cm<sup>-1</sup> در بیوجار پوست پسته) و کربوکسیلیک (ناحیه ۱۰۰۰-۱۳۰۰ cm<sup>-1</sup>) از طریق فرایند کمپلکس کردن، می‌توانند فلزات را جذب سطحی نمایند (Wan and Fatinathan, 2010). پیک بدست آمده در ناحیه ۱۶۰۰ cm<sup>-1</sup> 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 بیوجار چوب پسته و پوست استخوانی آن به میزان قابل توجهی 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 ظاهر شده در ناحیه ۱۳۵۰-۱۴۸۰ cm<sup>-1</sup> مربوط به ارتعاش خمشی گروه‌های آلکانها C-H در چوب

### شناسایی گروه‌های عامل بیوجارهای تولیدی با استفاده از طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز

به منظور شناسایی گروه‌های عامل نمونه‌های بیوجار تولید شده، طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز بر روی نمونه‌های اولیه و بیوجارها انجام گرفت (شکل ۱). همانگونه که مشاهده می‌شود، طیف تبدیل فوریه مادون قرمز تفاله پسته، پوست استخوانی و چوب اولیه آن‌ها از طیف بیوجارهای تولیدی تا حدودی متفاوت می‌باشد. شمار زیادی از گروه‌های عاملی روی سطح بیوجار نشان داده شده است که به تفصیل بیان می‌شود. پیک ظاهر شده در ناحیه ۱۰۰۰-۱۳۰۰ cm<sup>-1</sup> مربوط به ارتعاش کششی C-O- گروه الکلها، اتر، استر و اسیدهای کربوکسیلیک در بیوجارهای 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

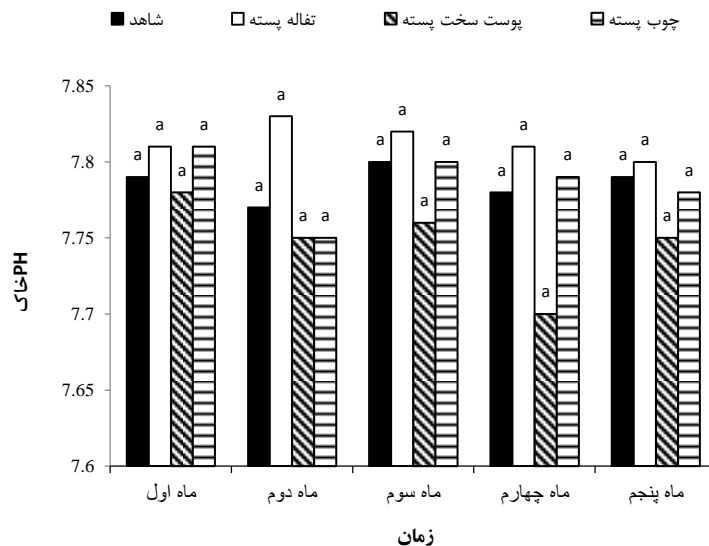


شکل ۱. مقایسه طیف‌سنجی تبدیل فوریه مادون‌قرمز در تیمارهای مواد اولیه و بیوچارهای تولیدشده از آنها

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 پ‌هاش و بیوچار ۴۰۰ سبب افزایش پ‌هاش 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.

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 مورد مطالعه و همچنین بالا بودن آهک و به تبع آن بالا بودن ظرفیت بافری سبب شده است که تغییرات پ‌هاش در نمونه‌های تیمار شده نتواند 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



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

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.,

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

منابع تغییرات	درجه آزادی	پ‌هاش	قابلیت هدایت الکتریکی
تیمار	۳	۰/۰۰۱ <sup>NS</sup>	۵/۴۷۰ <sup>**</sup>
زمان	۴	۰/۰۰۳ <sup>NS</sup>	۰/۲۸۸ <sup>**</sup>
تیمار × زمان	۱۲	۰/۰۰۰ <sup>NS</sup>	۰/۰۲۹ <sup>**</sup>
خطا	۴۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۹

<sup>\*\*</sup> معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، <sup>NS</sup> غیر معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد آزمون دانکن

قابلیت هدایت الکتریکی خاک

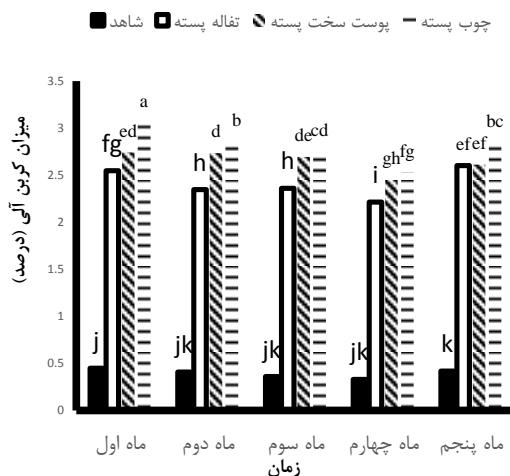
نتایج کسب‌شده از جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) از اثرات

تجزیه میکروبی و کمتر بودن ترکیبات آروماتیک و خشبی ترکیبات بیوجار 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 بیوجار به خاک می‌تواند به دلیل کربن موجود در بیوجار باشد؛ زیرا بخش عمده‌ای از ترکیبات بیوجار را کربن تشکیل می‌دهد (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 بیوجار تهیه شده از این منابع در دماهای بالاتر سبب افزایش ماندگاری کربن آلی خاک می‌شود، همخوانی دارد. در پژوهشی دیگر (Ippolito et al., 2012) مشاهده کردند که میزان کربن آلی خاک‌های تیمار شده با بیوجار 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 بیوجار تفاله پسته، پوست سخت پسته و چوب پسته در زمان‌های مختلف بر میزان کربن آلی، پتاسیم و نیترات خاک

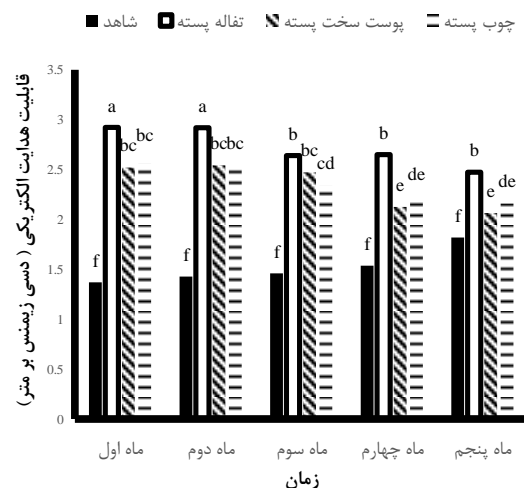
منابع تغییرات	درجه آزادی	O.C	K	NO <sub>3</sub> -N
تیمار	۳	۱۹/۲۶۶**	۴۲۴۱۱۹/۵۷۲**	۷۷۰/۹۵۱**
زمان	۴	۰/۰۶۹**	۳۲۱۴۱/۱۴۱**	۷۰/۱۵۸**
تیمار × زمان	۱۲	۰/۰۱۷**	۲۲۶۱/۵۸۶**	۱۴/۲۶۵**
خطا	۴۰	۰/۰۰۲	۶۴۱/۰۱۷	۰/۵۵۳

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



شکل ۴. اثر تیمارهای بیوجار 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)

نتایج به دست آمده با یافته‌های پژوهش‌های Olmo et al., 2016 و Ippolito et al., 2012 همخوانی دارد. Mustafaa et al., 2010 و DeLuca et al., 2015 به افزایش نسبی قابلیت هدایت الکتریکی در مراحل اولیه پس از کاربرد بیوجار در خاکها اشاره و دلیل آن را وجود نمک‌های محلول در بیوجارها و تجزیه سریع بخش‌های قابل تجزیه این مواد در زمان‌های اولیه بیان کردند. همچنین نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد، باگذشت زمان قابلیت هدایت الکتریکی در خاکهای تیمار شده با بیوجارهای 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 بیوجار بیان کرد. در مطالعات گذشته نیز به ظرفیت بالای زغال برای جذب نمکها اشاره شده است (Bartell and Miller, 1923; Thomas et al., 2013).



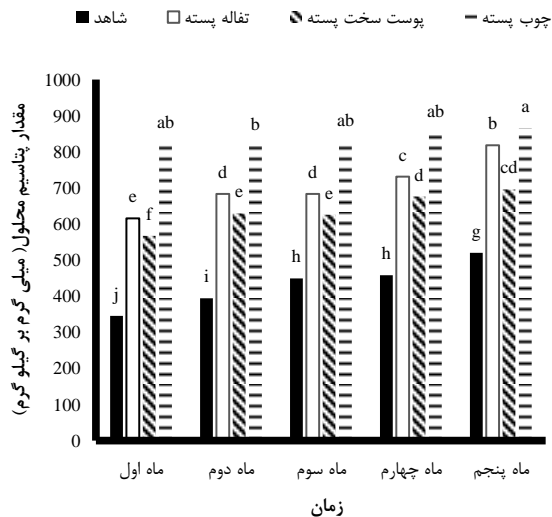
شکل ۳. اثر تیمارهای بیوجار تفاله پسته، پوست سخت پسته و چوب پسته در زمان‌های مختلف بر میزان قابلیت هدایت الکتریکی خاک (میانگین‌های حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد از آزمون دانکن می‌باشند)

### کربن آلی

بر اساس نتایج کسب‌شده از جدول تجزیه واریانس اثر دو فاکتور نوع بهساز و زمان خوابانیدن (جدول ۴) بر میزان کربن آلی، تیمارهای بیوجار 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 بیوجار 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 بیوجار چوب پسته) را می‌توان به مقاومت کمتر به تجزیه،



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)

#### نیترا ت 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 نیترا ت خاک داشته است. کاربرد بیوچارهای مختلف به صورت معنی‌داری سبب کاهش نیترا ت 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 نیترا ت 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 نیترا ت را دارا بوده که در نتیجه آن نیترا ت 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 نیترا ت در نمونه‌های تیمار شده در مقایسه با نمونه شاهد می‌توان بیان کرد، افزودن بیوچارهای ذکرشده، به عنوان مواد آلی، سبب تحریک میکروارگانیزم‌ها و در نتیجه افزایش فعالیت آنها برای تجزیه بیشتر و مصرف نیترا ت خاک شده است. از آنجایی که نیترا ت دارای حلالیت بسیار بالایی در آب می‌باشد و تحت تأثیر کلونیدهای خاک قرار نمی‌گیرد، در نتیجه کاملاً متحرک بوده و

#### 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، به طوری 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 Haeefe 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 به طور 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 قابل توجهی در میزان پتاسیم خاک داشته است (Novak et al., 2009). (Zolfi et al., 2016)

در 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، به عنوان 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 می‌شوند، در شرایط سطوح بالای رطوبتی و یا خاک‌های متراکم به دلیل کاهش فراهمی اکسیژن، روند قابلیت جذب پتاسیم کند می‌شود و چون سالانه مقادیر قابل توجهی 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

مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد از آزمون دانکن می‌باشند)

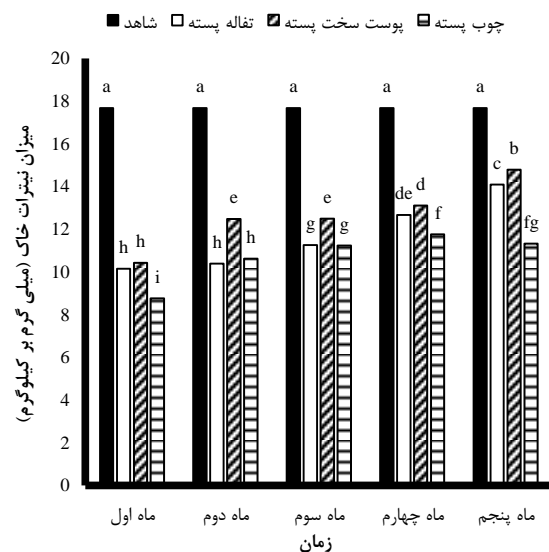
### آهن قابل جذب خاک

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 قابل جذب خاک، داشته است. کاربرد همه تیمارهای بیوچار نسبت به تیمار شاهد، افزایش معنی‌داری در مقدار آهن قابل جذب 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 قابل جذب 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 آلی، آهن قابل دسترس کمتری در خاک برای استفاده گیاه وجود داشته، لذا افزودن ماده آلی 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

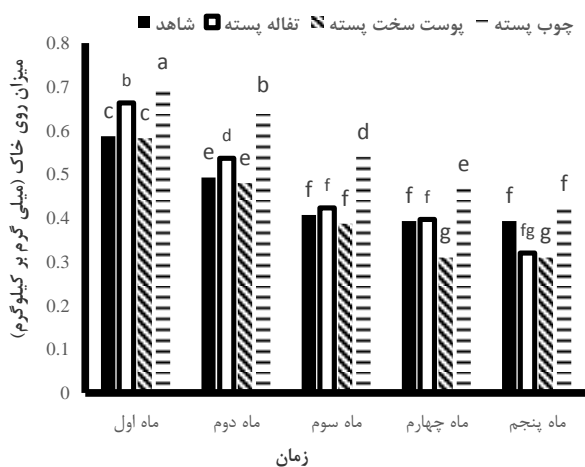
منابع تغییرات	درجه آزادی	Fe	Mn	Cu	Zn
تیمار	۳	۰/۳۶۸**	۳۲/۲۰۰**	۰/۰۲۷**	۰/۰۵۵**
زمان	۴	۰/۱۸۱**	۸/۷۷۹**	۰/۰۱۳**	۰/۱۵۹**
تیمار× زمان	۱۲	۰/۰۱۳**	۰/۹۳۰**	۰/۰۰۱*	۰/۰۰۲**

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 بی‌تحرك 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 می‌شود 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

های جذب در سطح بیوپچار نیز ظرفیت خاک را در ایجاد کمپلکس با یون‌های فلزی و جذب آن‌ها افزایش می‌دهد (Uchimiya et al., 2011). با توجه به ساختار سخت بیوپچار در خاک و افزایش مقاومت آن به تجزیه با افزایش دمای آتش‌کافت (Steiner et al., 2007)، انتظار می‌رود کمپلکس‌های ایجادشده یون‌های فلزی با بیوپچار پایدارتر از سایر منابع ماده آلی باشد (Namgay et al., 2010). ماندگاری طولانی‌مدت اثر بیوپچار 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 (Espinosa et al., 2006) همخوانی دارد. عناصر غذایی موجود در بیوپچار بستگی به منبع اولیه تولید آن دارد (Hossain et al., 2010). از آنجایی که ضایعات جمع‌آوری شده در این پژوهش از تاج پوشش گیاه می‌باشند، به دلیل عدم تحرک عناصر غذایی کم‌مصرف در قسمت‌های فوقانی، میزان عناصر کم‌مصرف بیشتر بوده، بنابراین بیوپچار تولیدشده غنی‌تر می‌باشد که می‌تواند دلیل دیگری بر افزایش میزان روی قابل‌دسترس در خاک باشد.

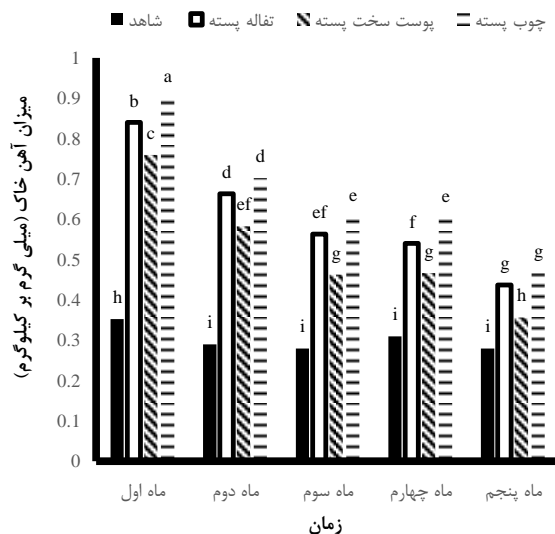


شکل ۸. اثر تیمارهای بیوپچار تفاله پسته، پوست سخت پسته و چوب پسته در زمان‌های مختلف بر میزان روی قابل‌جذب خاک (میانگین‌های حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد از آزمون دانکن می‌باشند)

#### 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 بیوپچار پوست پسته در همه زمانها، به طور معنی‌داری سبب افزایش مس قابل‌دسترس خاک شده است، در حالی که دو بیوپچار دیگر در ماههای اولیه تفاوت

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

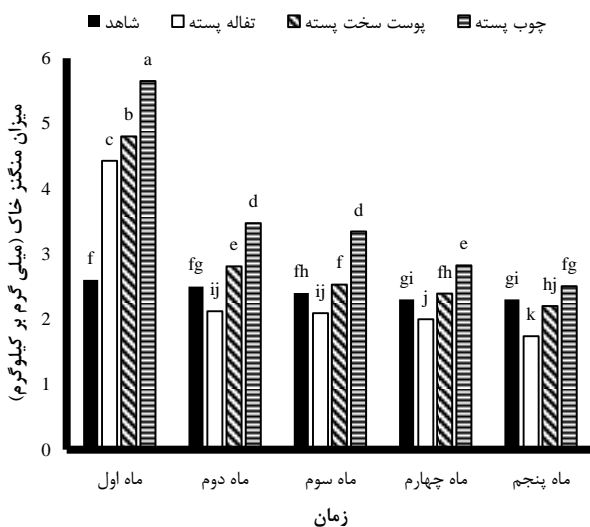


شکل ۷. اثر تیمارهای بیوپچار تفاله پسته، پوست سخت پسته و چوب پسته در زمان‌های مختلف بر میزان آهن قابل‌جذب خاک (میانگین‌های حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۵ درصد از آزمون دانکن می‌باشند)

#### 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 بیوپچارها 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 بیوپچار 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. آهنی بودن خاک و پ-هاش نسبتاً بالای خاک‌های موردپژوهش، کاهش سریع قابلیت استفاده آزادشده را سبب شده است. برخی منابع افزایش قابلیت استفاده عناصر غذایی کم‌مصرف را در اثر کاربرد بیوپچار در خاک (Fellet et al., 2010; Namgay et al., 2011) 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 بیوپچار 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

ذرت، قابلیت استفاده منگنز را در خاک افزایش داده است که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. افزودن بیوپچار به خاک می تواند سبب تأمین مقادیری کربن آلی ناپایدار برای خاک شود که با تجزیه کربن آلی، افزایش غلظت عناصر کم مصرف در خاک نیز زیاد می شود (Lentz and Ippolito, 2012). گذشت زمان های دوم تا پنجم از زمان خوابانیدن، به صورت معنی داری سبب کاهش منگنز قابل دسترس شده است، اما بطور کلی با گذشت زمان روند کاهش از میزان این عنصر در همه نمونه های تیمار شده مشاهده می شود. کاهش ایجاد شده در میزان دسترسی خاک به منگنز (و همچنین آهن) می تواند ناشی از فرم های معدنی این دو عنصر باشد که در طول زمان به فرم های دسترسی کمتر (شکل های شیمیایی متصل به اکسیدهای آهن بی شکل و کریستالی و همچنین شکل باقیمانده) تغییر پیدا کرده اند که نتایج این تحقیق با یافته های (Davis et al., 2009) همخوانی دارد.

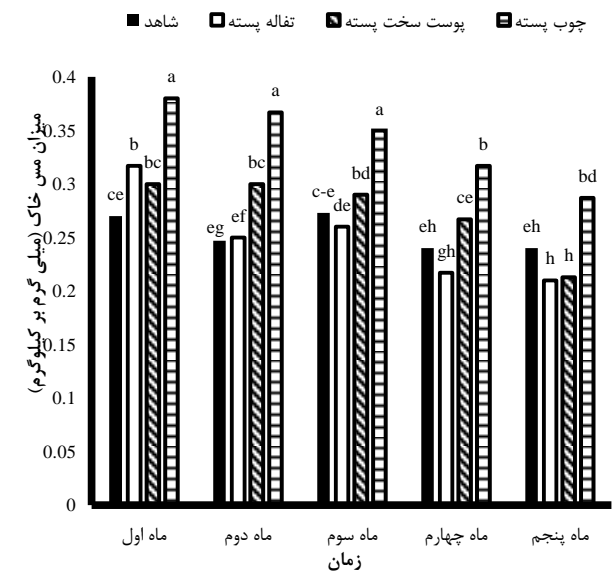


شکل ۱۰. اثر تیمارهای بیوپچار تفاله پسته، پوست سخت پسته و چوب پسته در زمان های مختلف بر میزان منگنز قابل جذب خاک (میانگین های حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف آماری معنی دار در سطح ۵ درصد از آزمون دانکن می باشند)

### نتیجه گیری کلی

مدیریت ضایعات کشاورزی در دنیا به منظور کاهش آلودگی های زیست محیطی (ناشی از سوزاندن آنها) یکی از چالش های مهم و پیش روی محققان و کشاورزان می باشد که در سال های اخیر تبدیل این مواد به فرآورده های مهمی از جمله کربن فعال و بیوپچار، درب های جدیدی را به منظور مدیریت این ضایعات، گشوده است. پهاش قلیایی، میزان ماده آلی و همچنین عناصر کم مصرف پایین و استفاده بیش از حد کشاورزان از کودهای

معنی دار افزایشی نشان داده اند، اما در ماه های انتهایی خوابانیدن، روند کاهش و ثابتی نسبت به نمونه شاهد داشتند. با گذشت زمان، به استثنای بیوپچار تفاله پسته که روند نامشخصی را دارا بود، در همه نمونه های تیمار شده، روند کاهش معنی داری در میزان مس قابل دسترس خاک مشاهده شد. Zolfi et al., 2016 در بررسی اثر بیوپچارهای تهیه شده از کود مرغی در دماهای متفاوت (۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ درجه سلسیوس) بر ویژگی های شیمیایی یک خاک آهکی گزارش کردند که کاربرد بیوپچارهای ذکر شده در زمان های اولیه به صورت معنی داری 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 بیوپچار تفاله پسته، پوست سخت پسته و چوب پسته در زمان های مختلف بر میزان مس قابل جذب خاک (میانگین های حداقل یک حرف مشترک در هر ستون، فاقد اختلاف آماری معنی دار در سطح ۵ درصد از آزمون دانکن می باشند)

### منگنز قابل جذب خاک

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۵) مشاهده شد که کاربرد بیوپچارهای مختلف در تمام مراحل زمانی و همچنین اثرات متقابل آنها، اختلاف معنی داری در سطح ۰/۰۱ بر میزان منگنز قابل جذب خاک داشته اند. افزودن همه نمونه های بیوپچار به خاک باعث افزایش منگنز در ماه اول از خوابانیدن شده است (شکل ۹)، هرچند که با گذشت زمان از مقادیر منگنز قابل دسترس کاسته و حتی در بعضی از نمونه های تیمار شده مانند بیوپچارهای تفاله و پوست سخت پسته نسبت به نمونه شاهد، کاهش مشخصی را داشته اند. نتایج تحقیقات (Najafi-Ghiri, 2015) نشان می دهد که بیوپچارهای تولید شده از ضایعات

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 فراوان تر 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. III, 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 N<sub>2</sub>O 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 Initiative 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 analysis 1. *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 Management 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 copper 1. *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), 638-644.

- 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 Albuquerque, 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

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.