نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۶،ص.۱۲۴۶-۱۲۳۲

Journal of Water and Soil
Vol. 31, No. 4, Sept.-Oct.2017, p. 1232-1246

تأثیر نوع و مقدار بیوچار بر برخی ویژگی‌های خاک و قابلیت استفاده بعضی عناصر غذایی در یک خاک آهکی

ندا مرادی[1*]–میرحسن رسولی صدقیانی[2]– ابراهیم سپهر[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۲۱

چکیده

تجزیه حرارتی ضایعات گیاهی و تبدیل آن به بیوچار و افزودن به خاک علاوه بر ترسیب کربن و کاهش آلودگی هوا می‌تواند سبب اصلاح برخی ویژگی‌های خاک‌های آهکی شود. به منظور بررسی تأثیر بیوچار بر برخی ویژگی‌های خاک آهکی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش شامل نوع بیوچار (ضایعات هرس سیب، هرس انگور و کاه و کلش گندم) و مقدار بیوچار (صفر (B_0)، ۱ (B_1)، ۲ (B_2)، ۴ (B_4) و ۸ (B_8) درصد وزنی/وزنی) بودند. نمونه‌ها به مدت ۶۰ روز در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و ۶۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی نگهداری شده و سپس ویژگی‌های خاک شامل pH، قابلیت هدایت الکتریکی (EC)، مقدار کربن آلی، نیتروژن معدنی، پتاسیم، فسفر، آهن، منگنز، روی و مس قابل استفاده خاک در آن‌ها اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد، به‌طور کلی با افزایش مقدار بیوچار، کربن آلی خاک، و همچنین شکل‌های قابل استفاده پتاسیم، فسفر و منگنز به‌طور معنی‌دار افزایش یافت. درصد کربن آلی خاک در تیمار B_8 ضایعات هرس سیب، هرس انگور و کاه و کلش گندم در مقایسه با شاهد به ترتیب ۳/۷۸، ۳/۸۰ و ۵/۲۴ برابر افزایش نشان داد. همچنین شکل‌های نیتروژن نیتراتی و آمونیومی در هر سه بیوچار با افزایش مقدار کاهش یافتند. بیوچارحاصل ازکاه و کلش گندم سبب کاهش معنی‌دار pH و آهن قابل استفاده خاک و افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک گردید. به‌طور کلی بیوچار حاصل از کاه و کلش گندم بیشترین تأثیر را بر خصوصیات خاک و قابلیت استفاده عناصر غذایی داشت.

واژه‌های کلیدی: پتاسیم، تجزیه حرارتی، ضایعات هرس، کاه و کلش گندم، کربن آلی

مقدمه

یکی از مشکلات کشاورزی در ایران، وجود بقایای گیاهی پس از برداشت محصولات زراعی است که مزاحمت‌های فراوانی برای کشاورزان ایجاد می‌کند. یکی از راه‌کارهای استفاده از بقایای کشاورزی که اخیراً مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است، پیرولیز است (۳۳). تجزیه‌ی زیست توده در اثر حرارت را پیرولیز (Pyrolysis) گویند و هنگامی که این فرآیند در شرایط بدون اکسیژن یا با مقادیر خیلی جزئی اکسیژن رخ دهد، بیوچار تولید می‌شود. بیوچار (Biochar) زغال تهیه شده از زیست توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی است. به عبارت دیگر بیوچار یک بقایای جامد تولید شده توسط تجزیه حرارتی بیوماس در یک ظرف بسته تحت شرایط اکسیژن محدود و در دماهای متوسط (<۷۰۰°C) می‌باشد (۳۹). بیوچار به‌عنوان ماده‌ای که توانایی بهبود پدیده گرمایش زمین را دارد، توجهات زیادی را به خود جلب نموده است، زیرا این ماده ظرفیت زیادی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای دارد و می‌تواند کربن را برای دوره‌های طولانی مدت در خاک ذخیره کند (۱۸).

کاربرد بیوچار در خاک به عنوان یک روش جهت جلوگیری از تغییرات آب و هوا از طریق ترسیب بلند مدت کربن در خاک پیشنهاد شده است (۴۶). بیوچار دارای پتانسیل بازیافت مواد مغذی، تهویه خاک، صرفه اقتصادی، مدیریت سیستم پسماند و عاملی بلند مدت برای ترسیب اقتصادی و مطمئن کربن است. از دیگر اثرات سودمند کاربرد بیوچار در خاک‌های کشاورزی به افزایش ماده آلی خاک، بهبود نگهداری آب درخاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و تعامل با چرخه مواد غذایی خاک از طریق تعدیل pH خاک، افزایش حاصلخیزی خاک و کاهش آبشویی عناصر غذایی می‌توان اشاره کرد (۱۴). بیوچار

۱، ۲ و ۳– به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه
(*– نویسنده مسئول: (Email: n_moradi18@yahoo.com
DOI: 10.22067/jsw.v31i4.61298

ماده‌ای متخلخل با سطح ویژه بالاست (۲۳) که می‌تواند اثرات معنی‌داری بر رطوبت خاک و پویایی عناصر غذایی داشته باشد (۲۱).

مواد قلیایی موجود در بیوچار در مقایسه با مواد اولیه آن‌ها زمانی که نمونه‌های بیوچار با خاک خوابانده شود به راحتی آزاد می‌شود (۴۵). اثر آهک بیوچار روی خاک‌های التی سول اسیدی توسط یوان و خو (۴۸) و یوان و همکاران (۴۹) تأیید شده است. گلاسر و همکاران (۱۴) نشان دادند کاربرد بیوچار می‌تواند pH را در خاک‌های گرمسیری افزایش دهد. pH بیوچار مشابه با خواص دیگر آن، تحت تأثیر نوع مواد اولیه، درجه حرارت تولید و مدت زمان تولید می‌باشد. تاکنون تنها چند مطالعه روی تأثیر بیوچار بر pH خاک آهکی وجود دارد. در تحقیقات انجام شده توسط ون زیتن و همکاران (۴۳)، کاربرد بیوچار ۱ با pH اولیه ۹/۴ و بیوچار ۲ با pH اولیه ۸/۲ هر دو سبب افزایش pH در یک خاک فروسول شدند، امّا تنها بیوچار ۲ سبب افزایش pH خاک آهکی (pH اولیه ۷/۶۷) شد.

بسیاری از مطالعاتی که برروی خاک‌های منطقه ترایوتا انجام شده‌اند، با اندازه‌گیری عناصر غذایی خاک، بیوچار را ماده‌ای سودمند جهت حاصلخیزی خاک برشمردند (۱۴). بیوچار بر خارج کردن عناصر شیمیایی شامل انواع مختلف یون‌های فلزی، مؤثر است. همچنین سبب جذب عناصر غذایی آنیونی همچون یون‌های فسفات نیز می گردد، اگرچه که مکانیسم این فرایندها هنوز به‌طور کامل شناخته شده نیست (۲۲). مطالعات نشان می‌دهند که بیشتر بیوچارها به دلیل داشتن سطوح تبادلی زیاد می‌توانند منجر به افزایش نگهداری عناصر غذایی در خاک شوند. افزودن بیوچار موجب می‌گردد که کارایی استفاده از عناصر غذایی افزایش یابد (۲۵). در طی سه دهه گذشته، تلفات نیتروژن از خاک به‌دلیل استفاده بیش از حد و بهره‌وری پایین کودهای نیتروژنی به خطر جدی تبدیل گشته است، کودهای نیتروژنی از خاک‌های کشاورزی سبب انتشار گازهای N_2، N_2O، NO و NH_3 می‌گردد (۳۵). افزودن بیوچار می‌تواند بر فراهمی نیتروژن و دیگر عناصر غذایی در خاک مؤثر باشد (۲۵). بنابراین افزودن بیوچار به خاک با جلوگیری از هدررفت عناصرغذایی و در نتیجه حفظ منابع آب، بهروه‌وری از پتانسیل بالقوه محیطی را افزایش می‌دهد (۲۶). فسفر یک عنصر غذایی ضروری ماکرو برای گیاهان در خاک است. بطور کلی غلظت فسفر قابل استفاده بعد از افزودن بیوچار افزایش می‌یابد، برای اینکه در طی فرایند تولید بیوچار، فسفر محلول فراوانی تشکیل می‌شود (۳۶) و فسفر می‌تواند وقتی که بیوچار به عنوان اصلاح کننده استفاده گردد، رها شود. افزودن بیوچار به خاک سبب افزایش فراهمی فسفر نیز می‌گردد (۱۹). افزایش معنی‌دار فسفر خاک در اثر افزودن بیوچار به خاک‌های شنی و لومی گزارش شده است. کاهش آبشویی عناصر غذایی (۱۹) و نیز ترسیب کربن آلی (۴۴) در اثر استفاده از بیوچار گزارش شده است. بسیاری از تحقیقات نشان داده‌اند که بیوچار منبع مناسبی برای بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می باشد و رشد گیاهان را بهبود می‌بخشد و خاک‌ها را برای کشت در دراز مدت به ویژه در مناطق گرمسیری، مناسب نگاه می‌دارد (۴، ۵ و ۴۳). همچنین بیوچار سبب بهبود پایداری خاکدانه‌ها نیز می‌گردد. بیوچار می‌تواند به خنثی کردن خاک‌های اسیدی و آماده نمودن شرایط برای فعالیت بیشتر ریزجانداران (۴۰) و جلوگیری از آبشویی عناصر غذایی (به خصوص نیترات) نیز کمک کند.

شناخت تغییرات ایجاد شده بر اثر مصرف بیوچار در خاک، می تواند به عنوان کلید مدیریتی در خاک‌های کشاورزی محسوب شود. گزارش‌های زیادی در خصوص تأثیر بیوچار تهیه شده از منابع مختلف زیست توده تحت شرایط متفاوت تولید بر جنبه‌های حاصلخیزی خاک وجود دارد (۲۲ و ۴۱). اما اغلب تحقیقات انجام شده بر روی بیوچار در خاک‌های اسیدی و در مناطق گرمسیر صورت گرفته است و در خاک‌های آهکی تحقیقات چندانی صورت نگرفته است. از مهمترین ویژگی خاک‌های آهکی، پایین بودن قابلیت استفاده برخی از عناصر غذایی از جمله فسفر، آهن، روی، منگنز و مس است که عمدتاً ناشی از pH نسبتاً بالای این خاک‌ها است. بنابراین با توجه به حجم بالای ضایعات هرس درختان سیب و انگور در استان آذربایجان غربی، تبدیل آنها به بیوچار فرصتی را برای بهبود حاصلخیزی خاک برای استفاده درازمدت فراهم می‌سازد. از این‌رو در پژوهش حاضر تأثیر نوع و مقدار بیوچار تولید شده از ضایعات گیاهی مختلف بر برخی ویژگی های خاک و وضعیت عناصر غذایی در یک خاک آهکی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

طراحی و ساخت دستگاه پیرولیز و تهیه بیوچار

برای تهیه بیوچار، نظر به اهمیت موضوع مقادیر بالایی از شاخه های هرس (ترجیحاً شاخه‌های یک یا دو ساله) از باغ‌های شهرستان ارومیه جمع‌آوری گردید. ضایعات هرس درختان سیب و انگور (اندازه ۳۰-۲۰ میلی‌متر) و کاه و کلش گندم (اندازه ۲۰-۱۰ میلی‌متر) خرد و با آب مقطر شسته و به مدت ۲ روز در دمای ۷۵ درجه سلسیوس داخل آون قرار داده شدند. سپس با ایجاد تغییراتی در یک کوره الکتریکی، شرایط عدم حضور اکسیژن برای پیرولیز فراهم گردید. به این منظور دو راکتور استوانه‌ای از جنس استیل با ابعاد ۷ سانتی‌متر قطر، ۳۱ سانتی‌مترارتفاع طراحی و در شرکت آذر خاک و آب ساخته شدند و جهت پیرولیز در داخل کوره الکتریکی قرار گرفتند. راکتورها دارای یک ورودی گاز و یک خروجی برای فاز گاز و مایع تولیدی بودند. اطراف درِ محفظه دارای عایق حرارتی بود. تا هدررفت گرمایی به حداقل برسد. ضایعات هرس درختان سیب و انگور و کاه کلش گندم بطور جداگانه در راکتور قرار داده شدند و سپس راکتور داخل کوره الکتریکی قرار گرفت. پیرولیز در دمای ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد و

با نرخ افزایش دمای ۳ درجه سانتی‌گراد در هر دقیقه انجام شد. نمونه‌ها به مدت ۱۸۰ دقیقه در دمای مورد نظر نگه داشته شدند و سپس کوره به آرامی با تبادل گرمایی با محیط (۲ درجه سانتی‌گراد کاهش دما در دقیقه) برای رسیدن به دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد یا کم‌تر خنک گردید (۱۸).

اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچار

برای انجام آزمایشات فیزیکی و شیمیایی ابتدا بیوچارها را از الک نیم میلی‌متری عبور داده سپس برخی ویژگی‌های آن مانند pH و EC از نسبت۱:۲۰ بیوچار به آب استفاده شد. سپس نمونه تکان داده شده و پس از ۲۴ ساعت، مقدار pH و قابلیت هدایت الکتریکی (EC) قرائت گردیدند (۳۴)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، به روش استات آمونیوم اصلاح شده یک مولار (pH= 7) اندازه‌گیری گردید (۱۲). کربن، نیتروژن و هیدروژن به روش سوزاندن خشک با دستگاه ECS 4010 CHNSO Analyzer اندازه‌گیری شدند. عصاره‌گیری از خاکستر با اسید کلریدریک ۲ مولار صورت گرفت.

برای تعیین میزان خاکستر بیوچار، مقدار مشخصی از آن را وزن کرده و سپس به مدت ۳ ساعت تحت دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس با استفاده از رابطه ذیل محتوای خاکستر حاصل شد (۲).

$$\text{محتوای خاکستر}(\%) = \frac{\text{وزن خاکستر}(g)}{\text{بیوچار خشک بیوچار}(g)} \times 100$$

خاک مورد مطالعه

جهت انجام مطالعه تعداد ۵ نمونه خاک از زمین‌های زراعی شهرستان ارومیه از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری شد و سپس از بین نمونه‌های خاک یک نمونه براساس مقدار کربن آلی و آهک انتخاب گردید. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، هوا- خشک شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده‌شدند. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نظیر بافت به روش هیدرومتری (۱۳)، pH در سوسپانسیون ۱:۵ خاک و محلول ۰/۰۱ مولار کلرید کلسیم، کربن آلی با روش والکی و بلک اصلاح شده (۳۰)، کربنات کلسیم معادل (CCE) به روش خنثی‌سازی با اسید کلریدریک (۱) و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به روش استات سدیم نرمال (۶) اندازه‌گیری شدند.

خوابانیدن آزمایشگاهی

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، شامل دو فاکتور ۱) نوع بیوچار (ضایعات هرس سیب، هرس انگور و کاه و کلش گندم) و ۲) مقدار بیوچار صفر (B_0)، ۱ (B_1)، ۲ (B_2)، ۴ (B_4) و ۸ (B_8) درصد وزنی/وزنی با سه تکرار در آزمایشگاه گروه علوم خاک ارومیه اجرا گردید. برای اجرای آزمایش خوابانیدن جهت بررسی تأثیر نوع و مقدار بیوچار بر روی ویژگی‌های خاک و عناصر غذایی قابل استفاده خاک، ابتدا به ۱۰۰ گرم از نمونه خاک هوا-خشک شده، از هر یک از بیوچارهای تولید شده (ضایعات هرس سیب، هرس انگور و کاه و کلش کندم) مقدار ۱، ۲، ۴ و ۸ گرم اضافه گردیده و با هم مخلوط شدند. سپس نمونه‌ها در ظروف پلی‌اتیلنی (پلاستیکی) ریخته و سپس رطوبت نمونه‌ها با افزودن آب مقطر به صورت اسپری در ۶۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی تنظیم شدند. برای کاهش از دست رفتن رطوبت در دوره خوابانیدن دهانه ظروف پلی‌اتیلنی بوسیله درپوش پلاستیکی بسته شدند. البته در روی درپوش‌های پلاستیکی ۴ منفذ ریز یکنواخت جهت سادگی تبادلات گازی تعبیه شد. این ظروف پلی اتیلنی به مدت ۲ ماه در شرایط کنترل شده با دمای ۲±۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. در طول مدت خوابانیدن، ظروف توزین شدند تا اگر وزن آنها کم شده باشد، به‌وسیله آب مقطر جبران گردد تا درصد رطوبت نمونه (۶۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای) در طول این دوره ثابت باقی بماند. پس از پایان۶۰ روز نمونه‌ها هواخشک شده و مقدار pH، قابلیت هدایت الکتریکی، کربن آلی خاک، مقدار نیتروژن معدنی، پتاسیم، فسفر، آهن، منگنز، روی و مس قابل استفاده خاک با روش های متداول اندازه‌گیری شدند.کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون تر با استفاده از دی‌کرومات پتاسیم و اسید سولفوریک غلیظ (۴۵)، نیتروژن معدنی (نیترات و آمونیم) با کلرید پتاسیم ۲ مولار (۲۸)، فسفر قابل جذب به روش اولسن با بی‌کربنات سدیم ۰/۵ نرمال (۳۲)، بوسیله اسپکتروفتومتری و پتاسیم قابل استفاده با استات آمونیوم مولار بوسیله نشرشعله‌ای اندازه‌گیری گردیدند (۷). قابلیت هدایت الکتریکی و pH آن در نسبت ۱:۵ خاک به آب تعیین شد (۱۶). جهت اندازه-گیری مقدار آهن، منگنز، مس و روی قابل استفاده در نمونه‌های خاک از روش عصاره‌گیری با محلول DTPA استفاده و با دستگاه جذب اتمی قرائت شد (۲۲).

برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌های به‌دست آمده از این پژوهش شامل تست نرمال بودن و تجزیه واریانس از نرم افزارهای MSTATC و SPSS استفاده شد و مقایسه میانگین از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۰/۰۵انجام گرفت. ترسیم نمودارها نیز با استفاده از نرم افزار Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

ویژگی‌های بیوچار تولیدی از ضایعات هرس سیب، انگور و کاه و کلش گندم

برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است (خاک مورد مطالعه آهکی بوده و دارای شوری پایین و از لحاظ مواد آلی فقیر بود). بعضی از ویژگی‌های بیوچارهای تولید شده در جدول ۲ نشان داده شده است. هر سه بیوچار

تولید شده دارای pH قلیایی بودند. بیوچارهای تولیدی دارای مقدار کربن بالا و نیتروژن پایین بودند. مقدار C در بیوچار مشتق شده از بقایای زراعی کمتر از بقایای چوبی است. چون بقایای زراعی غالب با ترکیبات سلولز و همی سلولز (بسیار قابل تجزیه) در مقایسه با محتوای لیگنین چوب که کمتر قابل تجزیه هستند (۱۰). بیوچار کاه و کلش گندم در مقایسه با بیوچارهای هرس سیب و هرس انگور، مقدار هدایت الکتریکی و pH بالاتر اما محتوای کربن پایین‌تری داشت. بیوچارهای تولید شده از بقایای کاه و کلش و علفی قابلیت هدایت الکتریکی بیشتری نسبت به بیوچارهای مشتق شده از بقایای چوبی دارند (۲۴). مقدار CEC بیوچار حاصل از ضایعات هرس سیب، انگور و کاه و کلش گندم به ترتیب ۲۴/۹۴، ۳۴/۴۳ و ۵۹/۰۹ سانتی‌مول بر کیلوگرم بود. بیشترین و کمترین مقدار درصد خاکستر به ترتیب مربوطه به بیوچار کاه و کلش گندم و بیوچار هرس انگور بود (جدول ۲). دلیل ظرفیت تبادل کاتیونی بالای بیوچار در دو مورد بیان می‌شود: ۱- افزایش سطح موجود در بیوچار به دلیل تجزیه در اثر حرارت ۲- افزایش بار منفی روی سطح آن(این مسئله احتمالاً به دلیل وجود گروه‌های عاملی فراوان موجود در سطح بیوچار می‌باشد، که منجر به افزایش بار منفی موجود در آن می‌شود). به‌طور کلی مقدار CEC بیوچار به نوع ماده اولیه و نیز به دمای پیرولیز بستگی دارد.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 1- Somephysical and chemical properties of the studiedsoil

ویژگی (واحد) Properties	مقدار
بافت Texture	لوم سیلتی Silty loam
سیلت Silt	21
شن Sand	52
رس Clay	27
کربن آلی(%) Organic carbon	0.64
کربنات کلسیم معادل (%) Calcium carbonateequivalent	23.5
پهاش pH	7.85
قابلیت هدایت الکتریکی($dS\ m^{-1}$) Electrical conductivity	0.66
ظرفیت تبادل کاتیونی ($cmol_c\ kg^{-1}$) Cation-exchange capacity	19.5

جدول ۲- برخی ویژگی‌های بیوچارهای تولید شده از بقایای مختلف گیاهی

Table 2- Some biochar properties produced from various plant wastes

نوع بیوچار Biochar type	پ-هاش pH	قابلیت هدایت الکتریکی Electrical conductivity ($dS\ m^{-1}$)	ظرفیت تبادل کاتیونی Cation exchange capacity ($cmol_c\ kg^{-1}$)	نیتروژن کل Total N (%)	کربن کل Total C (%)	هیدروژن کل Total H (%)	خاکستر Ash (%)
بقایای هرس سیب (Apple pruning waste)	7.11	0.05	32.53	0.22	64.02	3.89	10.20
بقایای هرس انگور (Grape pruning waste)	7.56	0.08	36.32	0.86	71.03	4.04	5.08
کاه و کلش گندم (Wheat straw)	8.13	0.55	108.42	0.41	59.42	4.04	17.14

تجزیه واریانس اطلاعات بدست آمده نشان داد (جدول ۳ و ۴)، که اثرات اصلی نوع بیوچار و مقدار بیوچار در سطح احتمال ۰/۱ درصد

بر قابلیت هدایت الکتریکی، درصد کربن آلی، نیتروژن نیتراتی و آمونیومی، پتاسیم، فسفر ، آهن و منگنز قابل استفاده معنی‌دار است. همچنین براساس نتایج حاصل از تجزیه آماری، اثر متقابل نوع × مقدار بیوچار بر مقدار قابلیت هدایت الکتریکی، نیتروژن نیتراتی و آمونیومی، قابلیت استفاده عناصر غذایی فسفر، پتاسیم و آهن در سطح ۰/۱ درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل نوع × مقدار بیوچار بر مقدار pH و کربن آلی نیز به ترتیب در سطح ۱ و ۵ درصد معنی‌دار بود. اما اثر متقابل نوع × مقدار بیوچار بر مقدار روی، مس و منگنز قابل استفاده خاک معنی‌دار نبود. با توجه به جدول ۴ نه تنها اثرات اصلی نوع و مقدار بیوچار بلکه اثر متقابل نوع × مقدار بیوچار نیز بر مقدار روی قابل استفاده خاک معنی‌دار نبود.

جدول ۳- تجزیه واریانس مقادیر pH، EC، کربن آلی، آمونیوم، نیترات، پتاسیم و فسفر

Table 3- ANOVA for pH, EC, OC, NH_4^+ -N, NO_3^- -N, K-Ava.and P-Olsen

منابع تغییر Source	درجه آزادی Degree freedom	میانگین مربعات Mean of squares						
		پهاش pH	قابلیت هدایت الکتریکی EC	کربن آلی OC	آمونیوم $N\text{-}NH_4^{+1}$	نیترات $N\text{-}NO_3^{-1}$	پتاسیم قابل استفاده K- Available	فسفر اولسن P-Olsen
نوع بیوچار (Biochar type)	2	0.31***	0.75***	1.025***	7.35***	2.45***	3530862***	124***
مقدار بیوچار (Biochar rate)	4	0.019ns	0.143***	11.59***	137.2***	267***	2550104***	720***
نوع× مقدار بیوچار (Biochar type× rate)	8	0.039**	0.143***	0.245*	10.41***	94.33***	909454***	42.76***
اشتباه (Error)	30	0.011	0.002	0.065	0.001	0.001	5773	4.35
ضریب تغییر (CV %)		1.33	11.03	14.04	1.54	7.54	8.02	9.92

ns، *، **و*** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی دار در سطح احتمال ۵٪ ۱٪ و معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۱٪

*, ** and ***: significant at P < 0.05, significant at P < 0.01 and, significant at P < 0. 1, respectively.

جدول ٤- تجزیه واریانس مقادیر عناصر کم مصرف در خاک

Table 4- ANOVA for micronutrients in the soil

منابع تغییر Source	درجه آزادی Degree freedom	میانگین مربعات Mean of squares			
		آهن Fe	روی Zn	مس Cu	منگنز Mn
نوع بیوچار (Biochar type)	2	6.28***	0.032 ns	0.0012 ns	91.92***
مقدار بیوچار (Biochar rate)	4	1.72***	0.079 ns	0.062***	70.75***
نوع× مقدار بیوچار (Biochar type× rate)	8	0.92***	0.084 ns	0.009 ns	9.41 ns
اشتباه (Error)	30	0.118	0.092	0.009	10.11
ضریب تغییر (CV %)		8.69	17.4	11.33	19.54

ns و*** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی داردر سطح احتمال ۰/۱٪

nsand ***: not significant and significant at P < 0. 1, respectively.

تأ ثیر نوع و مقدار بیوچار بر pH و EC خاک

جدول ۵ نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع و مقدار بیوچار بر مقدار pH و قابلیت هدایت الکتریکی خاک را نشان داده است. بر اساس جدول ۵ همه مقادیر pH خاک تحت تأثیر نوع و مقدار بیوچار قرار گرفته است. در بیوچار ضایعات هرس سیب و انگور با افزایش مقدار بیوچار، pH خاک تا حدی افزایش یافت، افزایش pH در مقدار ۸ درصد بیوچار ضایعات هرس سیب و انگور در مقایسه با تیمار شاهد (بدون بیوچار B_0) از لحاظ آماری معنی‌دار بود ($P\leq$۰/۰۵)، اما در مقدار B_1، B_2 و B_4 معنی‌دار نبود. در مقدار ۸ درصد بیوچار ضایعات هرس سیب و انگور در مقایسه با تیمار شاهد (بدون بیوچار) Ph خاک به

ترتیب ۳/۹۵ و ۳/۶۹ درصد افـزایش یافـت. لیانـگ و همکـاران (۲۳) افزایش قابل ملاحظه در pH خاک در نتیجه کاربرد بیوچـار را نشـان دادند.

اما برعکس در بیوچار کاه و کلش گندم با افزایش مقدار بیوچار تا حدودی pH خاک کاهش یافت. کاهش pH در مقدار ۸ درصد بیوچار کاه و کلش گندم در مقایسه با تیمار شاهد (بدون بیوچار B_0) از لحـاظ آماری معنی‌دار بود ($P\leq ۰/۰۵$)، امـا در مقـدار B_1، B_2 و B_4 معنـی‌دار نگردید. در مقدار ۸ درصد بیوچار کاه و کلش گندم در مقایسه با تیمـار شاهد (بدون بیوچار) pH خاک، ۲/۹۳ درصد کاهش یافت. به‌طور کلی بیشترین مقدار pH در مقدار ۸ درصد بیوچار ضایعات هـرس سـیب و انگور و کمترین مقدار آن در مقدار ۸ درصد بیوچار کاه و کلـش گنـدم مشاهده شد.

بیوچار حاوی کربنات و کاتیون‌های محلول مانند کلسیم و منیزیم است (۴۳ و ۴۴).کاهش pH خـاک را مـی‌تـوان بـه‌واسـطه محتـوای کاتیون‌های بیوچار توجیه نمود. ترکیب کاتیون‌ها و کربنات‌های خاک، منجر به تشکیل مقداری کمی کربنات محلـول خواهـد شـد و پدیـده هیدرولیز کربنات‌ها را محدود می‌کند، در حالی‌که سبب کاهش مقـدار هیدروکسیل در خاک می‌شود. بنابراین pH خاک آهکی تا حـدی بعـد از افزودن بیوچار با pH بالا کاهش می‌یابد. بیوچـار مـی‌توانـد باعـث کاهش و یا افزایش pH خاک شود. این مربوط به تکامـل مـواد آلـی افزوده شده به خاک و سطح تجزیه آن است. مولکول‌های آلی کوچک (درست بعد از افزودن به خاک) توسط فعالیت میکروارگانیسم‌ها تجزیه می‌شوند و سبب تولید CO_2، اسیدهای آلـی و انتشـار اولیـه آمونیـاک می‌شوند، که باعث کاهش pH خاک می‌شود. کـاربرد بیوچـار، CEC خاک را افزایش خواهد داد (۱۱ و ۱۷)، که نشانگر ظرفیت بافری خاک است. ظرفیت تبادل کاتیونی خاک ممکن است بـا کـاربرد بیوچـار بـا CEC بالا، افزایش یابد، در نتیجه ظرفیـت خـاک بـرای حفـظ مـواد غذایی افزایش می‌یابد. با این‌حال تأثیر بیوچار بر pH خـاک در خـاک های آهکی با توجه به خاصیت بـافری خـاک بـدلیل حضـور کربنـات کلسیم در سیستم این خاک‌ها، حداقل می‌باشد.

مقایسه میانگین تـأثیر نـوع و مقـدار بیوچـار بـر قابلیـت هـدایت الکتریکی (EC) خاک نشان داد (جدول ۵)، با افـزایش مقـدار بیوچـار کاه و کلش گندم، قابلیت هدایت الکتریکـی خـاک بـه‌طـور معنـی‌دار افزایش یافت ($P\leq ۰/۰۵$). اما در بیوچار ضایعات هرس سـیب و انگـور اختلاف معنی‌دار بین مقادیر مختلف آن‌ها و شاهد وجود نداشت. مقدار قابلیت هدایت الکتریکی خاک در مقادیر B_1، B_2، B_4، B_8 بیوچار کـاه و کلش گندم در مقایسه با تیمار شاهد (B_0) بـه ترتیـب ۱/۵۶، ۲/۱۶، ۲/۹۶ . ۴/۸۸ برابـر افـزایش یافـت. دلیـل افـزایش قابلیـت هـدایت الکتریکی خاک با کاربرد بیوچار کاه و کلش گندم می‌تواند به‌دلیل بالا بودن قابلیت هدایت الکتریکی این بیوچار باشد. مقدار قابلیـت هـدایت الکتریکی، میانگین بیوچار کاه و کلش گنـدم در مقایسـه بـا میـانگین بیوچار ضایعات هرس سیب و انگـور بـه ترتیـب ۲/۵۷ و ۲/۶۶ برابـر بزرگتر بود. مقدار افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خـاک بسـتگی بـه نوع بیوچار مورد استفاده داشت.

جدول ۵- تأثیر نوع و مقدار بیوچار بر مقدار pH و EC خاک

Table 5- Effects of biochar types and rates on soil pH and EC

نوع بیوچار Biochar type	pH (1:5) پ‌هاش				
	B_0	B_1	B_2	B_4	B_8
بقایای هرس سیب (Apple pruning waste)	7.84^{bc} *	8.00^{ab}	8.01^{ab}	8.02^{ab}	8.15^{a}
بقایای هرس انگور (Grape pruning waste)	7.84^{bc}	7.87^{bc}	7.94^{b}	8.03^{ab}	8.13^{a}
کاه و کلش گندم (Wheat straw)	7.84^{bc}	7.79^{c}	7.73^{cd}	7.70^{cd}	7.61^{d}

	EC($dS\ m^{-1}$) قابلیت هدایت الکتریکی				
	B_0	B_1	B_2	B_4	B_8
بقایای هرس سیب (Apple pruning waste)	0.25^{e}	0.23^{e}	0.22^{e}	0.24^{e}	0.28^{e}
بقایای هرس انگور (Grape pruning waste)	0.25^{e}	0.20^{e}	0.21^{e}	0.24^{e}	0.28^{e}
کاه و کلش گندم (Wheat straw)	0.25^{e}	0.39^{d}	0.54^{c}	0.74^{b}	1.22^{a}

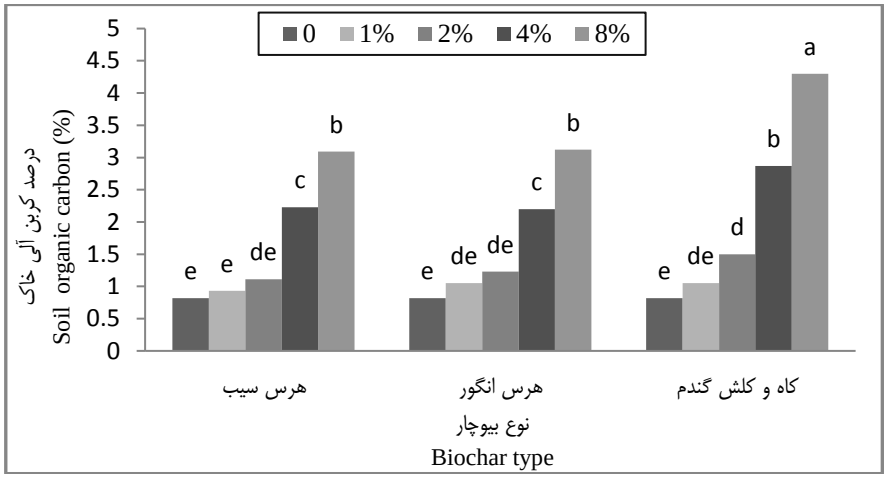
* اعدادی که در ردیف یا ستون هر ویژگی دارای حروف مشترک هستند از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن معنی‌دار نمی‌باشند

*Numbers followed by the same letters within each parameter show no significant differences among treatments ($P< 0.05$)

به‌نظر می‌رسد افزایش قابلیت هدایت الکتریکی مربوط به افزوده شدن املاح موجود در بیوچار و همچنین تأثیر بیوچار بر ترکیبات خاک و آزادسازی عناصر محلول باشد. به‌هر حال مطالعات تکمیلی در این مورد ضروری است. تحقیقات قبلی نشان دادند بیوچار حاوی برخی عناصر مانند پتاسیم، کلسیم و منیزیم است (۲۹ و ۴۳) و موقعی که بیوچار به خاک اضافه شود، می‌تواند یون‌های پتاسیم، منیزیم و کلسیم محلول خاک را افزایش دهد که این تأثیر ممکن است یکی از دلایل برای افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک باشد.

تأثیر نوع و مقدار بیوچار بر میزان کربن آلی خاک

شکل ۱ نتایج مقایسه میانگین اثر نوع و مقدار بیوچار را بر مقدار کربن آلی خاک آهکی نشان می‌دهد. نتایج نشان داد مقدار کربن آلی خاک هم تحت تأثیر بیوچار و نوع آن قرار گرفت. هر سه نوع بیوچار حاصل از ضایعات هرس سیب، هرس انگور و کاه و کلش گندم با افزایش مقدار این بیوچارها سبب افزایش معنی‌دار ($P\leq ۰/۰۵$) مقدار کربن آلی خاک گردیدند. اما در مقدار ۱ و ۲ درصد بیوچار ضایعات هرس سیب و انگور و مقدار ۱ درصد بیوچار کاه و کلش گندم در مقایسه با شاهد اختلاف معنی‌دار در مقدار کربن آلی خاک وجود نداشت. کربن آلی خاک در مقدار ۸ درصد بیوچار ضایعات هرس سیب، هرس انگور و کاه و کلش گندم در مقایسه با شاهد به ترتیب ۳/۷۸، ۳/۸۰ و ۵/۲۴ برابر بیشتر بود. به‌طور کلی بیشترین مقدار کربن آلی خاک در مقدار ۸ درصد بیوچار کاه و کلش گندم مشاهده شد. افزایش مواد آلی خاک با کاربرد بیوچار می‌تواند در نتیجه وجود مقدار بالای کربن در بیوچارهای تولیدی باشد. کربن آلی بالا در خاک‌های تیمار شده با بیوچار توسط لهمن (۲۰)، سلومون و همکاران (۳۷) و لیانگ و همکاران (۲۳) نیز گزارش شده است.



شکل ۱- تأثیر نوع و مقدار بیوچار بر مقدار کربن آلی خاک(٪)، حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن معنی‌دار نمی باشند

Figure 1- Effects of biochar types and rates on soil organic carbon (%), the same letters show no significant differences among treatments (P< 0.05).

تأثیر نوع و مقدار بیوچار بر نیتروژن آمونیومی و نیتراتی خاک

نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع و مقدار بیوچار بر مقدار ازت آمونیومی و نیتراتی خاک در جدول ۶ نشان داده شده است. نتایج نشان داد با افزایش مقدار بیوچار به‌کار رفته در خاک مقدار ازت نیتراتی و آمونیومی خاک کاهش یافته است. بیشترین مقدار ازت آمونیومی در مقدار صفر بیوچار (B_0) ضایعات هرس سیب، هرس انگور و کاه وکلش گندم و مقدار ۲ درصد بیوچار بقایای هرس انگور مشاهده شد که از لحاظ آماری بین آن‌ها اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. کمترین مقدار ازت آمونیومی در مقدار ۸ درصد بیوچار (B_8) ضایعات هرس سیب، هرس انگور مقدار ۴ درصد بیوچار (B_4) ضایعات هرس سیب مشاهده شد. بیشترین مقدار ازت نیتراتی نیز در مقدار صفر بیوچار (B_0) و کمترین مقدار ازت نیتراتی در مقدار ۸ درصد بیوچار (B_8) ضایعات هرس سیب مشاهده شد.

نسبت C/N نقش بحرانی را در میزان نیتروژن در طول تجزیه مواد آلی اضافه شده در خاک بازی می‌کند. افزایش مقدار کربن خاک اغلب باعث افزایش نسبت C/N و کاهش معدنی‌شدن نیتروژن می شود. با افزودن بیوچار به خاک‌های کشاورزی منطقه استوایی کاهش در قابلیت دسترسی نیتروژن گزارش شده است (۲۱). کاهش قابلیت دسترسی به نیتروژن ممکن است به خاطر نسبت C/N بالای بیوچار،

در نتیجه پتانسیل بزرگتر آن برای آلی شدن نیتروژن و یا به دلیل جذب آمونیوم به بیوچار باشد که به نوبه خود باعث کاهش پتانسیل تلفات آبشویی نیتروژن و تثبیت بیشتر حاصلخیزی آن در طول زمان در خاک‌های سطحی می‌گردد (۳۸).

جدول ٦- تأثیر نوع و مقدار بیوچار بر مقدار ازت آمونیومی و نیتراتی خاک مورد مطالعه

Table 6- Effects of biochar types and rates on N- NH_4^{+1} and N- NO_3^{-1} onstudied soil

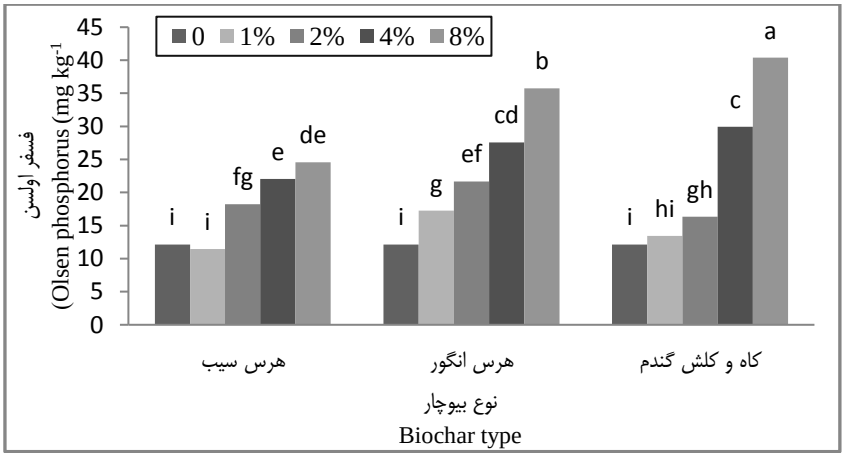
نوع بیوچار Biochar type	نیتروژن آمونیومی N- NH_4^{+1} (mg kg^{-1})				
	B_0	B_1	B_2	B_4	B_8
بقایای هرس سیب Apple pruning waste	38.5[a*]	35[b]	35[b]	28[d]	27[d]
بقایای هرس انگور Grape pruning waste	38.5[a]	38.5[a]	31.5[c]	31.5[c]	28[d]
کاه و کلش گندم Wheat straw	38.5[a]	35[b]	35[b]	31.5[c]	31[c]
	نیتروژن نیتراتی N- NO_3^{-1} (mg kg^{-1})				
	B_0	B_1	B_2	B_4	B_8
بقایای هرس سیب Apple pruning waste	31.5[a]	24.5[b]	21[c]	17.5[d]	11.5[f]
بقایای هرس انگور Grape pruning waste	31.5[a]	24.5[b]	17.5[d]	17.5[d]	14[e]
کاه و کلش گندم Wheat straw	31.5[a]	24[b]	21[c]	17.5[d]	14[e]

* اعدادی که در ردیف یا ستون هر ویژگی دارای حروف مشترک هستند از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن معنی‌دار نمی‌باشند.

*Numbers followed by the same letters within each parameter show no significant differences among treatments (P< 0.05)

تأثیر نوع و مقدار بیوچار بر فسفر و پتاسیم قابل استفاده

شکل ۲ نشان می‌دهد، قابلیت استفاده فسفر خاک تحت تأثیر نوع و مقدار بیوچار قرار گرفته است. بیوچارضایعات هرس سیب، هرس انگور و کاه و کلش گندم، قابلیت استفاده فسفر خاک را به‌طور معنی دار افزایش دادند (P≤۰/۰۵). در هر سه نوع بیوچار با افزایش مقدار بیوچار قابلیت استفاده فسفر خاک نیز به‌طور معنی‌دار افزایش یافت (P≤۰/۰۵). کمترین مقدار فسفر قابل استفاده در تیمار شاهد (بدون بیوچار) و تیمار ۱ درصد بیوچار ضایعات هرس سیب و کاه و کلش گندم (اختلاف معنی‌دار با شاهد نداشتند) و بیشترین مقدار آن در تیمار ۸ درصد بیوچار کاه و کلش گندم با مقدار ۴۰/۳۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک مشاهده شد. قابلیت استفاده فسفر خاک در تیمار ۸ درصد بیوچار ضایعات هرس سیب، هرس انگور و کاه و کلش گندم در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب ۲/۰۲، ۲/۹۵ و ۳/۳۲ برابر افزایش یافت.

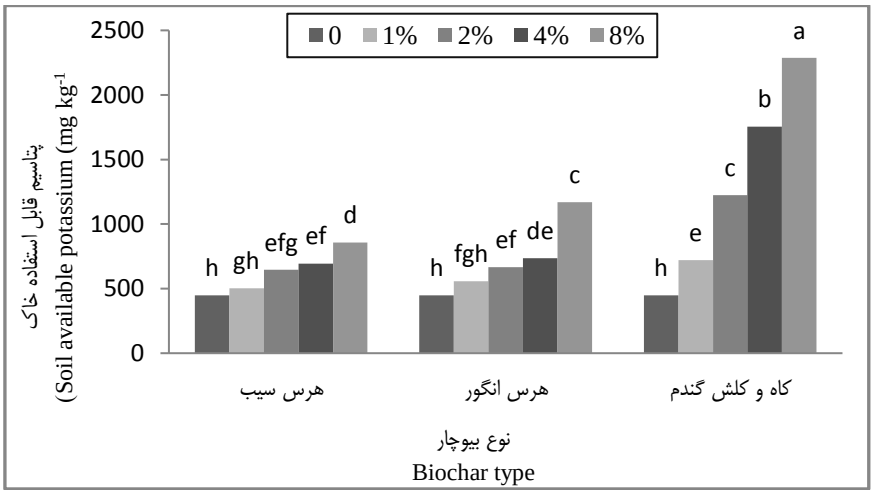


شکل ۲- تأثیر نوع و مقدار بیوچار بر مقدار فسفر اولسن (قابل استفاده خاک)(میلی‌گرم در کیلوگرم)، حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن معنی‌دار نمی‌باشند

Figure 2- Effects of biochar types and ratesonsoil Olsen-phosphorus (soil available) (mg kg^{-1}), the same letters show no significant differences among treatments (P< 0.05)

تریون (۴۱) گزارش کرد، با کاربرد بیوچار در خاک‌های شنی و لومی بهبود معنی‌دار در فسفر قابل استفاده مشاهده شد. زینگ و همکاران (۴۷) بیان کردند، افزودن بیوچار کاه و کلش برنج در سطح ۵ درصد منجر به افزایش معنی‌دار ($P\leq0/05$) فسفر قابل استفاده به مقدار ۱۳/۸٪ در مقایسه با تیمار بدون بیوچار می‌گردد. چینتالا و همکاران (۹) گزارش کردند، بیوچار می‌تواند قابلیت استفاده فسفر را از طریق جذب سطحی و همچنین از طریق افزایش CEC خاک، افزایش دهد.

مقایسه میانگین اثر متقابل نوع و مقداربیوچار بر پتاسیم قابل استفاده خاک در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد، کاربرد بیوچارهای ضایعات هرس سیب، هرس انگور در مقادیر بیشتر از ۱ درصد سبب افزایش معنی‌دار پتاسیم قابل استفاده خاک شدند، اما تأثیر تیمارهای بیوچار کاه و کلش گندم در افزایش قابلیت استفاده پتاسیم خاک مشهودتر بود. با افزایش مقدار بیوچار در هر سه نوع بیوچار مورد مطالعه، پتاسیم قابل استفاده خاک به‌طور معنی‌دار افزایش یافت. بیشترین و کمترین مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک به ترتیب در تیمار ۸ درصد بیوچار کاه و کلش گندم و تیمار شاهد (بدون بیوچار) بود. میانگین بیوچار کاه و کلش گندم در مقایسه با میانگین بیوچارهای ضایعات هرس سیب و هرس انگور، پتاسیم قابل استفاده خاک را به ترتیب ۲/۱۹ و ۱/۸۸ برابر بیشتر افزایش داد. نتایج هافلی و همکاران (۱۵) در مورد تأثیراتی که کاربرد بیوچار ناشی از بقایای برنج بر عناصر قلیایی خاک دارد نشان داد که بیوچار سبب افزایش قابلیت استفاده پتاسیم گردید اما مقدار کلسیم، منیزیم و سدیم تبادلی را کاهش داد.



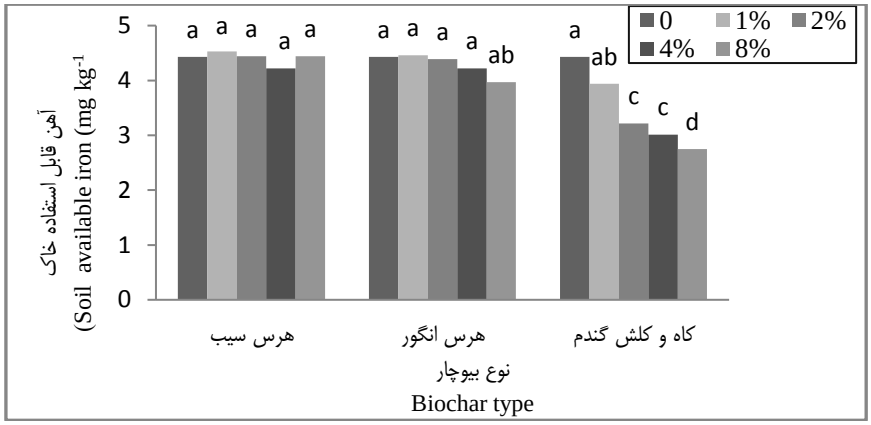
شکل ۳- تأثیر نوع و مقدار بیوچار بر پتاسیم قابل استفاده خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم)، حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن معنی‌دار نمی‌باشند

Figure 3- Effects of type and rate biochar on soil available potassium(mg kg^{-1}), the same letters show no significant differences among treatments (P< 0.05)

تأثیر نوع و مقدار بیوچار بر قابلیت استفاده عناصر غذایی کم‌مصرف

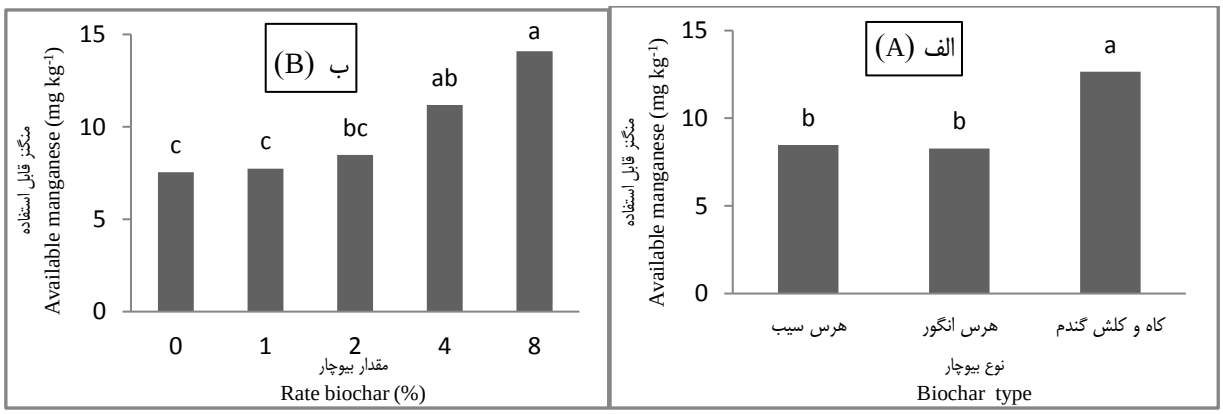
مقایسه میانگین اثر متقابل نوع و مقدار بیوچار بر آهن قابل استفاده خاک (شکل ۴) نشان داد که بیوچارهای ضایعات هرس سیب و هرس انگور با افزایش مقدار آن در خاک، با تیمار شاهد تفاوت معنی‌دار نداشتند. در بیوچار کاه و کلش گندم با افزایش مقدار بیوچار در خاک، آهن قابل استفاده خاک به‌طور معنی‌دار کاهش یافت. به طوری‌که کمترین مقدار آهن قابل استفاده خاک در تیمار ۸ درصد بیوچار کاه و کلش بود که در مقایسه با تیمار شاهد (بدون بیوچار)، ۵۰/۲۳ درصد کاهش یافت.

با توجه به شکل ۵- الف می‌توان بیان کرد، نوع بیوچار بر منگنز قابل استفاده خاک تأثیر معنی‌دار داشت. بیشترین مقدار منگنز قابل استفاده خاک در بیوچار حاصل از کاه و کلش گندم و کمترین مقدار در بیوچار حاصل از ضایعات هرس سیب و هرس انگور بود. مقدار منگنز قابل استفاده خاک در بیوچار کاه و کلش گندم در مقایسه با بیوچارهای هرس سیب و هرس انگور به ترتیب ۴۹/۲۹ و ۵۳/۰۸ درصد بیشتر بود. همچنین نگاهی به شکل ۵-ب نشان می‌دهد که منگنز قابل استفاده خاک تحت تأثیر مقدار بیوچار قرار گرفته‌است. منگنز قابل استفاده خاک با افزایش مقدار بیوچار به‌طور معنی‌دار افزایش یافته است. بطورکلی تیمار ۸ درصد بیوچار سبب افزایش ۱/۸۶ برابری منگنز قابل استفاده خاک در مقایسه با تیمار شاهد شده است. نواک و همکاران (۳۱) نشان دادند، بیوچار حاصل از پوسته گردو در یک دوره آزمایش ۶۷ روز توانسته غلظت منگنز خاک را افزایش دهد.



شکل ٤- تأثیر نوع و مقدار بیوچار بر آهن قابل استفاده خاک (میلی‌گرم در کیلوگرم)، حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن معنی‌دار نمی‌باشند

Figure 4- Effects of biochar types and rates on soil available iron (mg kg^{-1}), the same letters show no significant differences among treatments (P< 0.05)



شکل ۵- تأثیر نوع (الف) و مقدار (ب) بیوچار بر منگنزقابل استفاده خاک(میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن معنی‌دار نمی‌باشند

Figure 5- Effects of biochar types (A) and rates(B) on soil available manganese(mg kg^{-1}), the same letters show no significant differences among treatments (P< 0.05)

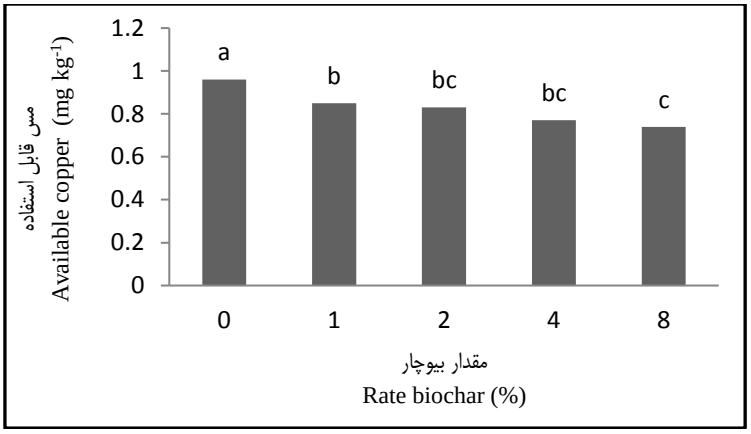
تأثیر مقدار بیوچار بر مس قابل استفاده خاک نشان داد (شکل ۵) که مس قابل استفاده خاک با افزایش مقدار بیوچار به‌طور معنی‌دار کاهش یافت. به‌طوری‌که مقادیر ۱، ۲، ۴ و ۸ درصد بیوچار در مقایسه با مقدار صفر (تیمار شاهد) به ترتیب ۱۱/۴۵، ۱۳/۵۴، ۱۹/۷۹ و ۲۲/۹۲ درصد کاهش نشان دادند. منذز و همکاران (۲۷)، با کاربرد لجن فاضلاب و بیوچار تولید شده از آن به یک خاک مدیترانه‌ای (شنی و غیرآهکی) نشان دادند که قابلیت استفاده روی و مس در نتیجه کاربرد بیوچار نسبت به لجن فاضلاب کاهش معنی‌داری نشان داد.

اتکینسون و همکاران (۳) نشان دادند که اضافه نمودن بیوچار به خاک با تأثیر بر ظرفیت تبادل یونی و فعالیت‌های میکروبی بر قابلیت استفاده یون‌های غذایی مؤثر است. تشکیل گروه‌های عامل و محل های جذب در سطح بیوچار نیز ظرفیت خاک را در ایجاد کمپلکس با یون‌های فلزی و جذب آن‌ها افزایش می‌دهد (۴۲).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج کلی این پژوهش نشان داد، تیمارهای بیوچار سبب تغییرات در برخی ویژگی‌های خاک مانند کربن آلی خاک، pH، قابلیت هدایت الکتریکی و همچنین قابلیت استفاده برخی عناصر پرمصرف و کم مصرف می‌گردد. بیوچار حاصل از کاه و کلش گندم در مقدار ۸ درصد در مقایسه با بیوچارهای حاصل از ضایعات هرس سیب و هرس انگور،

مقدار کربن آلی خاک، پتاسیم قابل استفاده و فسفر قابل استفاده خاک را بیشتر افزایش داد. مقدار ازت نیتراتی و آمونیومی در هر سه بیوچـار مورد مطالعه با افزایش مقدار به‌طور معنی‌دار کاهش یافتند.



شکل ٦- تأثیر مقدار بیوچار بر مس قابل استفاده خاک(میلی‌گرم در کیلوگرم خاک)، حروف مشترک از نظر آماری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون دانکن معنی‌دار نمی‌باشند

Figure 6- Effects of biochar rates on soil available copper (mg kg^{-1}), the same letters show no significant differences among treatments (P< 0.05)

همچنین بیوچار کاه و کلش گندم با افزایش مقدار، سبب افـزایش منگنز قابل استفاده و کاهش آهن قابل استفاده خاک گردید. افـزایش قابل ملاحظه کربن آلی و پتاسیم قابل استفاده خاک بـا کـاربرد انـواع بیوچارهای مورد مطالعه در این پـژوهش (بـه‌خصـوص بیوچـار کـاه و کلش گندم) نشان می‌دهد که می‌توان بیوچار را به عنوان منبـع مـواد آلی و پتاسیم در خاک‌های دچار کمبود آن‌ها مدنظر قرار داد. امـا نیـاز به انجام مطالعات بیشتر روی تأثیر بیوچارهای مورد مطالعـه در خـاک های آهکی مختلف به‌همراه در نظر گرفتن برخی عواقب سوء ناشی از کاربرد این بیوچارها (به‌خصوص بیوچار کاه و کلش گنـدم) بـر برخـی ویژگی‌های خاک مانند افزایش شوری و pH خاک، است.

منابع

1- Allison L.E., and Moodie C.D. 1965. Carbonates. p. 1379-1396. In C.A. Black (ed.) Methods of Soil Analysis. Pares, ASA, Madison, WI.
2- ASTM International. 2013. ASTM D1762-84 (2013) Standard test method for chemical analysis of wood charcoal, http://www.astm.org/Standards/D1762.htm (accessed April 2014).
3- Atkinson C.J., Fitzgerald J.D., and Hipps N.A. 2010. Potential mechanisms forachieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: A review. Plant and Soil, 337: 1-18.
4- Chan K.Y.,Van Zwieten L., Meszaros I., Downie A., and Joseph S. 2008. Using poultry litter biochars as soil amendments. Australian Journal of Soil Research,46:437–444.
5- Chan K.Y., Dorahy C., and Tyler S. 2007. Determining the agronomic value of composts produced from greenwaste from metropolitan areas of New SouthWales, Australia. Australian Journal of Experimental Agriculture, 47: 1377–1382. doi: 10.1071/EA06128.
6- Chapman H.D. 1965. Cation Exchange Capability. In C.A. lack et al. (ed). Methods of Soil Analysis. Soil Science Society of America Journal 891- 901.
7- Chapman H.D., and Pratt PE. 1982. Methods of analysis for soil plants and waters. University of California publ.No. 4034. Berkely
8- Cheng W., Coleman D.C., Carroll C.R., and Hoffman C.A. 1993. In situ measurements of root respiration and soluble carbon concentrations in the rhizosphere. Soil Biology and Biochemistry, 25: 1189-1196.
9- Chintala R., Mollinedo J., Schumacher T.E., Malo D.D., and Julson J.L. 2014a. Effect of biochar on chemical properties of acidic soil. Archives of Agronomy and Soil Science, 60: 393–404.
10- Enders A., Hanley K., Whitman T., Joseph S., and Lehmann J. 2012. Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. Bioresource Technology,114: 644–653.
11- 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: 1262–1267.
12- Gaskin J.W., Steiner C., Harris K., Das K.C., and Bibens B. 2008. Effect of Low Temperature Pyrolysis Conditions on Biochars for Agricultural Use. Transactions of the ASABE, 51(6): 2061-2069.
13- Ge G.H., and Bauder J.W. 1986. Particle size analysis. p. 383-411. In A. Klute (ed.) Methods of Soil Analysis. Physical Properties. Soil Science Society of America, Madison, WI.
14- Glaser B., Lehmann J., and Zech W. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal—a review. Biology and Fertility of Soils, 35:219–230.
15- Haefele S.M., Konboon Y., Wongboon W., Amarante S., Maarifat A.A., Pfeiffer E.M., et al. 2011. Effects and fate of biochar from rice residues in rice-based systems. Field Crops Research, 121(3):430-40.
16- Hesse P.R. 1971. A textbook of soil chemistry analysis. John Murray Pub. Ltd. London.
17- Jones B.E.H., Haynes R.J., and Phillips I.R. 2010. Effect of amendment of bauxite processing sand with organic materials on its chemical, physical and microbial properties. Journal *of* Environmental Management, 91: 2281–2288.
18- Kim K.R., Kim J.G., Park J.S., Kim M.S., Owens G., Youn G.H., and Lee J.S. 2012. Immobilizer-assisted management of metal-contaminated agricultural soils for safer food production. Journal *of* Environmental Management, 102:88–95.
19- Laird D., Fleming P., Wang B., Horton R., and Karlen D. 2010b. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. Geoderma, 158 (3–4): 436–442.
20- Lehmann J., and Rondon M. 2006. Bio-char soil management on highly weathered soils in the humid tropics. Biological Approaches to Sustainable Soil Systems, 517-530.
21- 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 Soil, 249: 343–357.
22- Lehmann J. 2007. Bio-energy in the black. Frontiers in Ecology and Environment. 5:38–387.
23- Liang B., Lehmann J., Solomon D., Kinyangi J., Grossman J., O'Neill B., Skjemstad J.O., Thies J., Luizao F.J., Petersen J., and Neves E.G. 2006. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. Soil Science Society of America Journal, 70:1719–1730.
24- Lindsay W.L., and Norwell W.A.1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Journal of Soil Science Society of America, 42:421-328.
25- Major J., Steiner C., Downie A., and Lehmann J. 2009. Biochar effects on nutrient leaching. In C.J. Lehmann and S. Joseph (Ed.) Biochar for environmental management: science and technology. Earthscan.
26- Major J., Rondon M., Molina D., Riha S., and Lehmann J. 2010. Maize yield and nutrition during 4 years after biochar applicationto a Colombian savanna Oxisol. Plant Soil, 333: 117-128.
27- Méndez A., Gómez A., Paz-Ferreiro J., and Gascó G. 2012. Effects of sewage sludge biochar on plant metal availability after application to a Mediterranean soil. Chemosphere, 89(11): 1354-1359.
28- Mulvaney RL. 1996. Nitrogen-Inorganic Forms. In Methods of soil analysis. Part-3- Chemical Methods. P. 1123-1184. SSSA, Inc., ASA, Inc. Madison, WI.
29- Nelson N.O., Agudelo S.C., Yuan W., and Gan J. 2011. Nitrogen and Phosphorus Availability in Biochar-Amended Soils. Soil Science. 176: 218-226 210.1097/SS.1090b1013e3182171eac.
30- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 961-1010. In A.L. Page et al. (ed.) Methods of Soil Analysis, Part 2, 2nd ed. American Society of Agronomy, Inc. Madison, WI.
31- Novak J.M., Lima I., Xing B., Gaskin J.W., Steiner C., Das K., et al. 2009. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. Annals of Environmental Science. 3:195-206.
32- Olsen SR, Cole CV, Watanabe FS and Dean CA. 1954. Estimation of available phosphorous in soils by extraction with sodium bicarbonate. U. S. Department of Agricultur Circular. No. 939.
33- Pattiya A. 2011. Thermochemical characterization of agricultural wastes from Thai cassava plantations. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects, 33: 691-701.
34- 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: 271–284.
35- Robertson G., and Groffman P. 2007. Nitrogen transformations. p. 341–364. In E.A. Paul and F.E. Clark (ed.) Soil Microbiology and Biochemistry. Springer, New York.
36- Sohi S.P., Krull E., Lopez-Capel E., and Bol R. 2010. A review of biochar and its use and function in soil. P. 47-82. In Advances in Agronomy. Publisher Elsevier Academic Press Inc., ISSN 0065-2213, San Diego, CA-92101-4495, USA.
37- Solomon D., Lehmann J., Thies J., Schafer T., Liang B., Kinyangi J., Neves E., Petersen J., Luizo F., and Skjemstad J. 2007. Molecular signature and sources of biochemical recalcitrance of organic C in Amazonian dark earths. Geochimica et cosmochimica Acta, 71: 2285-2298.
38- Steiner C., TeixeiraW.G., Lehmann J., Nehls T., de Macedo J.L.V., Blum W.E.H., 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: 275-290.
39- Sukiran M.A., Kheang L.S., Bakar N.A., and May C.Y. 2011. Production and characterization of bio-char from the pyrolysis of empty fruit bunches. American Journalof AppliedSciences, 8: 984–988.
40- Thies J., and Rillig M. 2009. Characteristics of Biochar: Biological Properties. p. 85-106. In J. Lehmann and S. Joseph (ed.) Biochar for Environmental Management: Science and Technology. Earth scan: London, UK.
41- Tyron E.H. 1948. Effect of charcoal on certain physical, chemical, and biological properties of forest soils.Ecological Monographs, 18: 82-115.
42- 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: 1431-1437.
43- Van Zwieten L., Kimber S., Morris S., Chan K. Y., Downie A., Rust J., Joseph S., and Cowie A. 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. Plant Soil, 327:235-246.
44- Ventura M., Zhang C., Baldi E., Fornasier F., Sorrenti G., Panzacchi P., and Tonon G. 2013. Effect of biochar addition on soil respiration partitioning and root dynamics in an apple orchard. European Journal of Soil Science, 65: 186–195.
45- Walkley A., and Black I.A. 1934. An examination of Degtjareff method for determination soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 37: 29-38.
46- Woolf D., Amonette J.E., Street-Perrott F.A., Lehmann J. and Joseph S. 2010. Sustainable biochar to mitigate global climate change. Nature Communications 1, Article number: 56 (online journal). www.nature. com/ncomms/journal/v1/n5/full/ncomms1053.html.
47- Xing Y., Jingjing L., Kim M.G., Huagang H., Kouping L., Xi G., Lizhi H., Xiaoming L., Lei C., Zhengqian Y. and Hailong W. 2015. Effect of biochar on the extractability of heavy metals (Cd, Cu, Pb, and Zn) and enzyme activity in soil. Environmental Science and Pollution Research, DOI 10.1007/s11356-015-4233-0
48- Yuan J., and Xu R. 2011. The amelioration effects of low temperature biochar generated from nine crop residues on an acidic ultisol. Soil Use Manage, 27: 110–115.
49- Yuan J., Xu R., Wang N., and Li J. 2011b. Amendment of acid soils with crop residues and biochars. Pedosphere, 21: 302–308.

Journal of Water and Soil
Vol. 31, No. 4, Sept.-Oct.2017, p. 1232-1246

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۴، مهر – آبان ۱۳۹۶،ص.۱۲۴۶-۱۲۳۲

Effect of Biochar Types and Rates on Some Soil properties and Nutrients Availability in a Calcareous Soil

N. Moradi[1*]- M.H. Rasouli-Sadaghiani[2] - E. Sepehr[3]

Received:24-01-2017
Accepted:12-07-2017

Introduction: Biochar is a material produced from organic matters under high temperature and low oxygen conditions. In recent years, scientific attention has been focused on its effects on soil amendment and ecological restoration.Due to its properties related to surface area and porosity, bulk density, nutrient content, stability, cation exchange capacity (CEC), pH value, and carbon content, biochar has the potential to improve physical and chemical soil properties and thus improve crop productivity and contribute to carbon sequestration. Biochars can have very different properties depending on the feedstock they are produced from and the pyrolysis conditions used to generate them.Biochar retains nutrients for plant uptake and soil fertility. The infiltration of harmful quantities of nutrients and pesticides into ground water and the runoff that erodes the soil and enters into the surface waters can be limited with the use ofbiochar. The actual effects of biochar on soil properties depend on the soil type and the plant species grown on the area of application, as well as biochar type and application rate.The aim of this study was to evaluate the effect of the biochar types and rates on some soil properties and nutrient availability in a calcareous soil.

Materials and Methods: An incubation experiment was conducted in a completely randomized design with three replications. The treatments were three type of biochar (apple pruning wastes, grape pruning wastes and wheat straw), and five biochar rates (0, 1, 2, 4 and 8% w/w). Biochars used in the experiment wereproduced at the final temperature of approximately 350°C for almost 3 hours. The biochars were ground and sieved over 1 mm sieve for the incubation experiment.100 g of soil sample was weighed into polyethylene pots and then thoroughly mixed with 1, 2, 4 and 8 g of the biochar samples. Soil controls were run without any amendment. Distilled water was added to the soil–biochar mixtures (soil samples) in order to keeptheir moisture content to 60% of their water-holding capacity. The incubation was carried out in a controlled incubation chamber at 25ºC for incubation in aerobically controlled non-leached conditions during 8 weeks.After 60 days, the samples were dried andsoil pH and electrical conductivity (EC) were determined in 1:5 soil to water extracts. Also, to determine mineral N, the soil samples with biochar were extracted with 2 M KCl. Organic matter was determined by dichromate oxidation. Soil extractable P and K were extracted with 0.5 M NaHCO3 (ratio 1:10) (Olsen-P) and 1 N NH4Ac (1:20) (NH4Ac-EK), respectively. DTPA-extractable Fe, Mn, Cu, and Zn were analyzed by atomic absorption spectrometry method (Shimadzu AA-6300).

Results and Discussion: The results indicated that adding biochar changed some soil properties such as soil organic carbon, pH, electrical conductivity and the availability of some macro and micro nutrients. These changes were also more evident with increasingin the rate of biochar. Soil organic carbon (SOC) contentsin the amount of 8% apple pruning wastes, grape pruning wastes and wheat straw biochar were 3.78, 3.80 and 5.24 times more than control, respectively. Available potassium and phosphorus increased further in derived biochar from wheat straw in the amount of 8% compared with apple pruning and grape pruning wastes. Soil available potassium in wheat straw biochar was 2.19 and 1.88 times higher than apple pruning and grape pruning wastesbiochars, respectively. Wheat straw biochar greatly increased soil EC compared to control, and a higher biochar addition finally resulted in a higher value of soil EC. Also, the mineral – N, comprising of ammonium nitrogen (NH_4-N) and nitrate nitrogen (NO_3-N), concentrationshowed significant reduction when different rates of biochar were added to the soil. Increase in the rate of applicationmarkedly reduced the concentration of both NH_4-N and NO_3-N. Wheat straw biochar significantly reduced available iron. Also, soil available copper significantly decreased by increasing the rate of biochar. But, soil available manganesesignificantly increased by increasing the rate of biochar. The type and rate of studied biochars had no significant effect on available Zn.

1, 2, and 3- PhD. Student, Professor, Associate Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, Respectively
(*- Corresponding Author Email: n_moradi18@yahoo.com)

Conclusion: Generally, the soil organic carbon (SOC) markedly increased with an increase in rate of application ofbiochar during the 60 days of incubation. This suggests that the biochar has great potential for carbon sequestration in soil.In conclusion, it became clear that in order to allow for accurate prediction of the effects ofbiochar on soil characteristics and nutrient availability, a deeper understanding of interactions between soil type, biochar production method, biochar feedstock, application rate and field crops is essential. Further research is needed to determine long term impacts of biochar on these soils.

Keywords: Biochar, Nutrient availability, Organic carbon, Pruning wastes,Wheat straw