



دانشگاه گوار، منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و هفتم، شماره سوم، ۱۳۹۹

۱۰۵-۱۲۴

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2020.17476.3294

مقاله کامل علمی - پژوهشی

تولید بیوجار از شاخ و برگ هرس شده درخت هلو و خصوصیات کیفی آن در دماهای مختلف

امین محمودیان چیلو^۱، * حمید نیک‌نهاد قرماخر^۲ و حسین یوسفی^۳

^۱دانشجوی دکتری گروه مدیریت مرتع، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۲استادیار گروه مدیریت مرتع، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۳دانشیار گروه تکنولوژی و مهندسی چوب، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۰۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۰۹

چکیده

سابقه و هدف: بیش‌تر خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک کم‌تر از یک درصد ماده آلی دارند و عمدتاً کمبود ماده آلی عامل محدوده‌کننده‌ای است. سالانه میلیون‌ها تن شاخ و برگ هرس شده درختان در سطح کشور تولید می‌شود که می‌تواند در تأمین ماده آلی و بهبود حاصلخیزی خاک‌ها سهیم باشند. وجود پسماندهای آلی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی، پیامدهای ناگوار کوتاه و درازمدتی را برای کشاورزی و محیط‌زیست ایجاد کرده است. یکی از راهکارهای فائق آمدن بر این مسائل، تبدیل پسماندهای آلی به بیوجار است. بیوجار یک اصلاح‌کننده خاک آلی بسیار پایدار، متخلخل، غنی از کربن و ریزدانه است که از پیرولیز بقایای آلی به‌دست می‌آید. بیوجار خصوصیات مختلف فیزیکی (ساختمان خاک، جرم مخصوص ظاهری، هدایت هیدرولیکی)، شیمیایی (اسیدیته، ظرفیت تبادل کاتیونی و میزان مواد آلی) و زیستی خاک (فعالیت میکروبی، تنوع میکروبی، فعالیت آنزیمی و جمعیت میکروبی) را تحت‌تأثیر قرار داده و موجب بهبود حاصلخیزی خاک می‌شود. هدف از پژوهش حاضر، تولید بیوجار از شاخ و برگ هرس شده درخت هلو برای اولین بار در کشور و بررسی اثر دماهای مختلف پیرولیز بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، شاخ و برگ هرس شده درختان هلو از باغات اطراف شهرستان گرگان تهیه شد و پس از تبدیل به خاک‌اره، به آزمایشگاه انتقال داده شدند. سپس، در کوره الکتریکی تحت گاز آرگون و در دماهای ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد و با زمان ماندگاری یک ساعت، بیوجارهای متنوعی تولید شد. آن‌گاه، خصوصیات بیوجارهای تولیدشده شامل درصد عملکرد، درصد خاکستر، اسیدیته، شوری، درصد کربن آلی، درصد نیتروژن کل، پتاسیم، فسفر، کلسیم و منیزیم قابل‌تبادل اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها: عملکرد بیوجارهای تولیدشده با افزایش دما کاهش معنی‌داری داشته است؛ بیش‌ترین درصد عملکرد در دماهای پیرولیز ۳۰۰ و ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. بیش‌ترین میزان کربن آلی (۶۵ درصد) و نیتروژن کل (۰/۵۵)

* مسئول مکاتبه: niknahad@gau.ac.ir

درصد) نیز، در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد. کیفیت بیوپچار با افزایش دما به‌تدریج کاهش معنی‌داری یافت؛ به‌طوری‌که بیش‌ترین شوری (۰/۸۸ دسی‌زیمنس بر متر)، بیش‌ترین اسیدیته (۸/۶) و کم‌ترین عملکرد (۲۳ درصد) در بیوپچار تولیدشده در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. بیش‌ترین مقدار خاکستر (۷۳ درصد) در بیوپچار ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد و بیش‌ترین ظرفیت نگهداری آب (۰/۰۸۵ گرم بر گرم) نیز، در بیوپچارهای تولیدشده در دماهای ۳۰۰ و ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: از آنجایی‌که با افزایش دمای فرایند پیرولیز، اسیدیته و شوری بیوپچار تولیدشده از شاخ و برگ هرس شده درختان هلو افزایش یافته و درصد عملکرد و میزان کربن آلی آن کاهش یافتند، بنابراین تولید بیوپچار از شاخ و برگ هرس شده درختان هلو در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد جهت استفاده در عملیات اصلاح اراضی شور و قلیایی توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: بیوپچار، پیرولیز، دما، شاخ و برگ درخت هلو

مقدمه

خاک یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی است که در پراکنش و تراکم پوشش گیاهی نقش عمده‌ای دارد. در واقع، خصوصیات خاک برآیند اثرات دیگر عوامل محیطی در طول زمان است که تغییر در وضعیت هرکدام تأثیر شدیدی بر دیگر کارکردهای اکوسیستم می‌گذارد (۲۷). بیش از یک‌سوم خاک‌های دنیا و بخش اعظم خاک‌های ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع شده است (۳۱). بیش‌تر خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران کم‌تر از یک درصد ماده آلی دارند و عمدتاً کمبود ماده آلی عامل محدودکننده‌ای است (۲۳). کمبود مواد آلی موجب کاهش پایداری ساختمان خاک، پوسته پوسته‌شدن آن و در نهایت ایجاد خاکی سخت و متراکم می‌شود (۲۴). اصلاح‌کننده‌های خاک شامل موادی هستند که عموماً برای بهبود مشکلات شیمیایی و فیزیکی خاک مانند، اسیدیته، شوری و فعال‌کردن میکروارگانیزم‌های خاک توصیه می‌شوند. استفاده از این مواد سرعت بازچرخش عناصر را در خاک افزایش داده و در نتیجه عناصر غذایی در دسترس ریشه‌ها قرار می‌گیرند (۲۵ و ۲۶).

اصلاح‌کننده‌های زیستی از محصولاتی مانند بافت گیاهی، لجن فاضلاب و کودهای آلی حاصل از ضایعات شهری تولید می‌شوند. بیوپچار یک اصلاح‌کننده خاک آلی بسیار پایدار، متخلخل، غنی از کربن و ریزدانه است که از پیرولیز (گرمادهی) بقایای آلی از جمله پسماندهای زراعی، جنگلی و شهری مانند چوب، فاضلاب، زباله‌های سبز، ضایعات مرغی، ورقه‌های کاج، پوسته برنج، خمیرکاغذ و سایر ضایعات آلی در دماهای ۲۰۰ تا ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد در کوره فاقد اکسیژن یا با میزان اکسیژن محدود (۱۶، ۲۲ و ۲۳) و به‌منظور مدیریت ضایعات، کاهش تغییرات اقلیمی، تولید انرژی و بهبود خصوصیات خاک تولید می‌شود (۱۹). بیوپچار خصوصیات مختلف فیزیکی (ساختمان خاک، جرم مخصوص ظاهری، هدایت هیدرولیکی)، شیمیایی (اسیدیته، ظرفیت تبادل کاتیونی و میزان مواد آلی) و زیستی خاک (فعالیت میکروبی، تنوع میکروبی، فعالیت آنزیمی و جمعیت میکروبی) را تحت تأثیر قرار داده و موجب بهبود حاصلخیزی خاک می‌شود (۱۱). بهشتی و علیخانی (۲۰۱۶) بیان کردند که بیوپچار با تأمین بخشی از عناصر موردنیاز گیاه، موجب افزایش عملکرد گیاه

بالاتر از ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد، مواد آلی تحت تجزیه حرارتی قرار گرفته و پیوندهای شیمیایی رطوبت خود را از دست می‌دهند. در دمای ۲۰۰ تا ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد همی‌سلولز، در دمای ۲۴۰ تا ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد سلولز و در دمای ۲۸۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد لیگنین که بافت گیاه است شروع به تخریب شدن می‌کند (۲۳)؛ بنابراین میزان این ترکیبات بر درجه واکنش آن‌ها و چگونگی شکل‌گیری ساختمان فیزیکی آن‌ها در طول فرآیند تولید، تأثیر خواهد داشت. ترکیبات غیرآلی (خاکستر) نیز بر ساختمان فیزیکی بیوچار تأثیر دارد. بعضی شرایط تولید باعث امتزاج و رسوب خاکستر می‌شود که می‌تواند موجب تغییرات مخربی در ساختمان فیزیکی ترکیبات بیوچار شود. خصوصیات از بیوچار شامل مقدار بیوچار تولیدشده (۶ و ۱۸)، درصد کربن، ترکیب عنصری (۵ و ۱۹)، میزان خاکستر، میزان مواد فرار، جرم مخصوص، توزیع اندازه خلل و فرج، سطح ویژه، خصوصیات شیمیایی سطح (۳۶)، جذب سطحی آب و یون‌ها pH، ساختمان فیزیکی و پایداری در مقابل تجزیه تحت تأثیر دما بیوچار قرار می‌گیرد (۲۰). نتایج بهشتی و علیخانی (۲۰۱۶) در بررسی تغییرات کیفیت بیوچار تولیدشده از کود گاوی در طی فرآیند پیرولیز آهسته در دماهای مختلف را نشان داد که با افزایش تدریجی دما بین ۳۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد، عملکرد بیوچار، محتوای نیتروژن کل و کربن آلی کاهش یافت در حالی که pH، قابلیت هدایت الکتریکی، محتوای خاکستر و پایداری کربن افزایش نشان داد. عملکرد بیوچار نیز، بین ۴۴/۳۶-۲۲/۱۴ درصد تغییر کرد (۳). شینوگی و کانری (۲۰۰۳) گزارش کردند که عملکرد در چهار بیوچار حاصل پسماند نیشکر، پوسته برنج، لجن و کود گاوی با افزایش دما از ۲۵۰ به ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت (۲۸). فو و همکاران (۲۰۱۱) نیز گزارش کردند که با افزایش دمای پیرولیز

می‌گردد (۳). مصرف بیوچار در اغلب موارد، باعث بهبود خصوصیات خاک شده است. فرآیند پیرولیز براساس محدوده دما به سه کلاس: ۱. پیرولیز آهسته (۲۰۰-۹۵۰ درجه سانتی‌گراد)، ۲. پیرولیز سریع (۱۲۵۰-۸۵۰ درجه سانتی‌گراد) ۳. پیرولیز خیلی سریع (۱۳۰۰-۱۰۵۰ درجه سانتی‌گراد) تقسیم می‌شود (۵، ۱۶، ۲۰، ۲۹ و ۳۴).

فرآیند پیرولیز باعث بزرگ شدن کریستال‌ها و منظم شدن آن‌ها می‌شود این اثر با افزایش دما افزایش می‌یابد. افزایش دمای فرآیند پیرولیز، کربنیزاسیون را افزایش می‌دهد و به دنبال آن سطح ویژه بیوچار نیز افزایش خواهد یافت (۶ و ۲). افزایش دما تا حدود ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد باعث افزایش کربن آروماتیک می‌شود (۸ و ۱۰) بعضی از ویژگی‌های کربن غیرگرافیتی طی فرآیند پیرولیز به کربن گرافیتی تغییر پیدا می‌کند. با افزایش دمای پیرولیز، ساختمان ماده ریزتر شده و با افزایش دما، کربن و دیگر عناصر گروه‌های عاملی به شدت کاهش می‌یابند. ترکیبات شیمیایی، pH، بار سطحی، پایداری بیوچار و کارایی بیوچار در مقابل فلزات سنگین همگی به دمای پیرولیز بستگی دارد (۶).

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بیوچار تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله نوع مواد اولیه، شرایط واحد پیرولیز، سرعت پیرولیز، اندازه ذرات ماده اولیه و دمای پیرولیز و مدت‌زمان پیرولیز قرار می‌گیرد (۱۳) دامنه گسترده فرآیند پیرولیز منجر به تشکیل بیوچارهایی می‌شود که از نظر ترکیب عنصری و خاکستر، جرم مخصوص، تخلخل، توزیع اندازه منافذ، سطح ویژه، خصوصیات شیمیایی سطح، جذب و دفع آب و یون‌ها، pH و یکنواختی ساختمان فیزیکی بسیار متفاوت هستند (۱۱، ۱۲ و ۲۲). ترکیبات شیمیایی زیست‌توده نقش مستقیمی بر خصوصیات فیزیکی بیوچار تولیدی دارد (۱۷، ۱۸ و ۲۳). در دمای

از ۶۰۰ به ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد، عملکرد بیوچار تولیدشده از کاه و کلش ذرت، برنج و پنبه کاهش یافت. براساس گزارش‌های موجود هرچند با افزایش دمای پیرولیز، عملکرد بیوچار کاهش می‌یابد (۱۲)، اما میزان کاهش آن بستگی به نوع ماده اولیه و شرایط پیرولیز دارد (۶ و ۳۷). سالانه میلیون‌ها تن شاخ و برگ هرس‌شده درختان در سطح کشور تولید می‌شود که می‌تواند در تأمین ماده آلی خاک‌های کشاورزی و مرتعی کشور سهمیم باشد. سطح وسیعی از باغات استان گلستان، باغات هلو است. هرس سالیانه این باغات بیش از هزاران تن ضایعات لیگن و سلولز تولید می‌کند و منبع بالقوه‌ای برای بهبود ماده آلی خاک‌های کشاورزی و مرتعی به‌شمار می‌روند (۳۲). شاخ و برگ هرس‌شده درختان با تبدیل شدن به بیوچار و کمپوست با جایگزینی یا فراهم کردن عناصر غذایی در خاک، علاوه بر بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نقش مهمی نیز در پویایی و زندگی میکروارگانیسم‌های خاک و ایجاد نوعی تعادل دینامیکی در بین اجزای زنده و غیرزنده خاک ایفا می‌کنند. از آنجاکه ترکیبات شیمیایی، pH، بار سطحی، پایداری بیوچار و کارایی بیوچار همگی به دمای فرایند پیرولیز بستگی دارند (۷)، بنابراین هدف از این مطالعه بررسی اثرات دمای پیرولیز بر خصوصیات کیفی ضایعات هرس درخت هلو است.

مواد و روش‌ها

شاخ و برگ هرس‌شده درختان هلو از باغات اطراف شهرستان گرگان تهیه گردید. ضایعات پس از تبدیل به خاک‌اره، به آزمایشگاه خاک‌ها و بذور مرتعی دانشکده مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انتقال داده شدند. ابتدا مواد اولیه با آب شهری و سپس آب مقطر شستشو داده شدند و در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد، به مدت ۲۴ ساعت در

آون خشک شدند و از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شدند (۱۲ و ۲)؛ سپس، داخل کوره الکتریکی در شرایط بدون اکسیژن گذاشته شدند. مواد اولیه در دماهای ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد و با سرعت انتقال گرمای ۱۵-۱۰ درجه سانتی‌گراد در هر دقیقه (پیرولیز آهسته) به مدت یک ساعت نگهداری شدند (۱۵ و ۳۰). اندک روغن زیستی تولیدشده به دلیل مشبک بودن ظرف حاوی زیست‌توده از بیوچار تفکیک و گازهای تولیدشده هم از کوره خارج شدند و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچارها اندازه گرفته شد. اسیدیته و هدایت الکتریکی بیوچار شاخ و برگ هرس‌شده درختان هلو در نسبت ۱:۱۰ بیوچار به آب مقطر پس از یک ساعت تکان دادن اندازه‌گیری شد (۳ و ۱). چگالی ظاهری نمونه‌ها طبق روش ASTM-D ۲۸۵ اصلاح‌شده اندازه‌گیری شد (۲). بدین‌منظور وزن دقیقی از بیوچار داخل سیلندر شیشه‌ای ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته شده و به مدت یک دقیقه روی دستگاه لرزاننده قرار داده می‌شود تا بیوچار داخل سیلندر در حجم مشخصی ثابت شود، سپس چگالی ظاهری از وزن کردن مجدد سیلندر حاوی بیوچار به دست می‌آید. در نهایت چگالی ظاهری بیوچار از رابطه ۱ محاسبه شد (۳).

$$\text{Density of biocare} = \frac{W}{V} \times 100 \quad (1)$$

که در آن، W وزن بیوچار و V حجم بیوچار داخل سیلندر می‌باشد، واحد آن بر حسب (g/cm³) است. عملکرد بیوچار (درصدی از بیوماس که پس از حرارت دادن به بیوچار تبدیل می‌شود) با استفاده از رابطه ۲ تعیین شد (۲۸).

$$\text{Biochar Efficiency} = \frac{g}{G} \times 100 \quad (2)$$

اندازه‌گیری میزان ترکیبات شیمیایی شاخ و برگ هرس شده درختان هلو در ۴ تکرار و هر تکرار شامل ۶ سرشاخه انجام شد. خاکاره تهیه شده مطابق استاندارد 85 - T 211om عاری از مواد استخراجی (براده آهن و دیگر مواد) بود. اندازه‌گیری درصد همی سلولز و سلولز مطابق روش اسید نیتریک انجام گردید. اندازه‌گیری درصد لیگنین مطابق با استاندارد T 222 OM-98 خاکستر مطابق با استاندارد T 211 OM - 93 آیین‌نامه TAPPI انجام شد (۲۶).

داده‌های به‌دست‌آمده توسط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نرمال بودن داده‌ها با آزمون کلومنگروف اسمیرنوف و همگنی واریانس‌ها با استفاده از آزمون لئون مورد بررسی قرار گرفتند. پس از انجام تجزیه واریانس، در صورت معنی‌دار بودن تفاوت میانگین تیمارها، مقایسه میانگین توسط آزمون دانکن صورت پذیرفت. جهت رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل نسخه ۲۰۱۳ استفاده شد.

نتایج و بحث

محتوای عناصر غذایی بیوپچار، به نوع زیست‌توده اولیه و دمای پیرولیز بستگی دارد. به عبارتی نوع زیست‌توده عامل کلیدی مؤثر در میزان عناصر موجود در بیوپچار است. نتایج (جدول‌های ۱ و ۲) نشانگر آن است که بین میانگین خصوصیات بیوپچارهای تولیدشده در بیش‌تر موارد اختلاف معنی‌داری ($P > 0.05$) وجود دارد.

که در آن، g جرم بیوپچار و G جرم ماده اولیه قبل از حرارت می‌باشد، واحد آن برحسب درصد است. مقدار خاکستر بیوپچار با استفاده از کوره معمولی و با استفاده از رابطه ۳ به‌دست آمد (۳ و ۳۵).

$$\text{Ash} = \frac{W}{wa} \times 100 \quad (3)$$

که در آن، w وزن خاکستر و Wd وزن خشک خاکستر می‌باشد، واحد آن برحسب درصد است. ۱۰ گرم بیوپچار خشک‌شده در آون با آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت اشباع گردید. سپس ظرفیت نگهداری بیوپچار طبق رابطه ۴ به‌دست آمد (۳).

$$\text{Water maintenance} = \frac{Wm}{w} \times 100 \quad (4)$$

که در آن، Wm آب نگهداری شده و w وزن بیوپچار می‌باشد واحد آن بر حسب (g/g) است. پس از تهیه عصاره بیوپچار، اسیدیته و هدایت الکتریکی آن با استفاده از نسبت بیوپچار به آب ۱:۱۰ با pH متر و هدایت‌سنج الکتریکی اندازه‌گیری شد (۲۴ و ۳۷)، غلظت فسفر قابل‌جذب به روش اسید آسکوربیک تعیین گردید. غلظت کلسیم و منیزیم تبادل‌ی به روش تیتراسیون و غلظت پتاسیم و سدیم تبادل‌ی با دستگاه فلم‌فومتر قرائت شد (۱۱). کربن بیوپچار با روش والکی بلک و ازت کل بیوپچار هم پس از هضم توسط اسیدسولفوریک غلیظ و قرص کاتالیزور با دستگاه کج‌لدال اندازه‌گیری شد (۲۳).

جدول ۱- میانگین مقدار ترکیبات شاخ و برگ هرس شده هلو.

Table 1. Mean of peach trees pruned foliage compounds.

لیگنین (درصد) Lignin (%)	همی سلولز (درصد) Hemicellulose (%)	سلولز (درصد) Cellulose (%)
29	45	26

جدول ۲- برخی خصوصیات بیوچارهای تولیدشده در دماهای مختلف.

Table 2. Some properties of produced biochars at different temperatures.

700 (°C)	600 (°C)	500 (°C)	400 (°C)	300 (°C)	متغیر Variable
23	31	43	54	58	عملکرد Biochar Efficiency (%)
73	67	43	30	25	خاکستر Ash (%)
0.11	0.2	0.21	0.3	0.3	چگالی Density (g/cm ³)
0.049	0.063	0.072	0.083	0.085	ظرفیت نگهداری آب Water storage capacity(g/g)
8.6	7.9	7.8	7.3	7.1	اسیدیته pH
0.88	0.7	0.7	0.6	0.4	هدایت الکتریکی EC (dS/m)
38	40	51	56	50	کربن آلی OC (%)
0.47	0.5	0.51	0.55	0.5	نیتروژن کل Total nitrogen (%)
0.26	0.21	0.17	0.16	0.14	فسفر قابل جذب Absorbable Phosphorus (ppm)
1617	1625	1627	1632	1752	کلسیم تبادلی Exchangeable Calcium (ppm)
312	314	317	317	330	منیزیم تبادلی Exchangeable Magnesium (ppm)
2.1	1.8	1.5	1.41	1.31	پتاسیم تبادلی Exchangeable Potassium (ppm)
0.039	0.033	0.024	0.023	0.021	سدیم تبادلی Exchangeable Sodium (ppm)

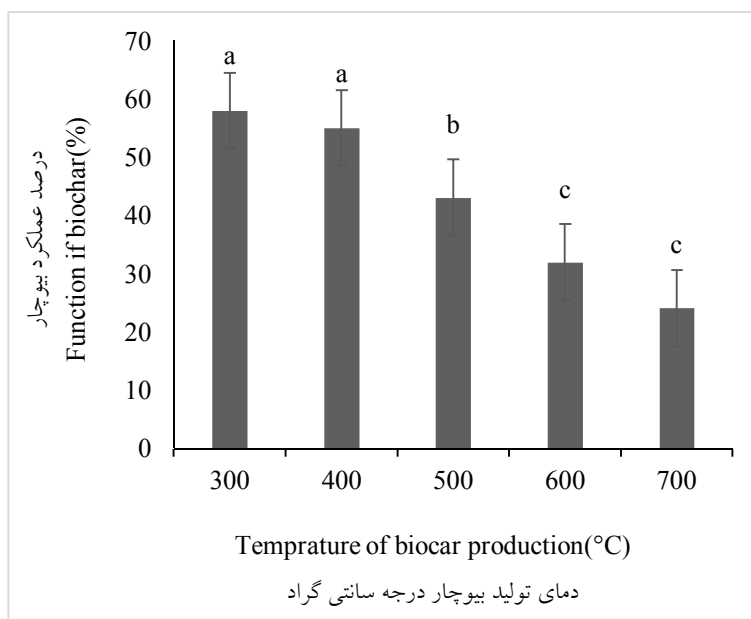
میانگین درصد عملکرد بیوچار به‌طور معنی‌داری کاهش یافت ($P>0/05$). با افزایش دمای فرآیند پیرولیز از ۵۰۰ به ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد، کاهش معنی‌دار ($P>0/05$) دیگری در درصد عملکرد بیوچار مشاهده شد، اما با افزایش دمای فرآیند پیرولیز از ۶۰۰ به ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد، تفاوت معنی‌داری در درصد عملکرد بیوچار مشاهده نگردید ($P>0/05$).

بیش‌ترین درصد خاکستر (۷۳ درصد) در بیوچار تولیدشده در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین

نتایج تجزیه واریانس اثر تغییرات دما بر عملکرد بیوچار نشانگر آن است که با افزایش دمای فرآیند پیرولیز (از ۳۰۰ درجه تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد) عملکرد بیوچار تولیدشده نیز به‌طور خطی کاهش می‌یابد (شکل ۱). بیوچار تولیدشده در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد با ۵۸ درصد دارای بیش‌ترین و بیوچار تولیدشده در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد با ۲۳ درصد دارای پایین‌ترین عملکرد است. با افزایش دمای فرآیند پیرولیز از ۴۰۰ به ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد،

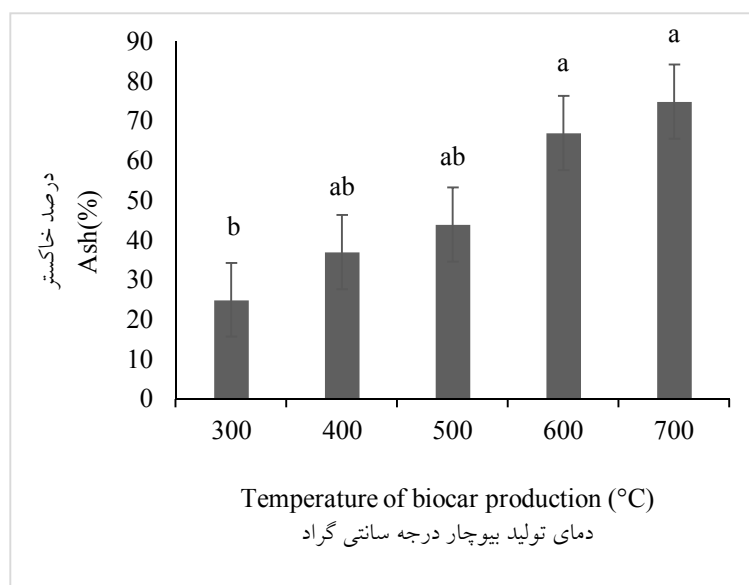
معنی‌داری ($P > 0.05$) در میزان خاکستر بیوچارها مشاهده شد، اما علی‌رغم افزایش میانگین خاکستر بیوچار تولیدشده در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد در مقایسه با بیوچار تولیدشده در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد، تفاوت معنی‌داری در خاکستر این دو بیوچار وجود نداشت ($P > 0.05$).

درصد خاکستر (۲۵ درصد) در بیوچار تولیدشده در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد (شکل ۲)؛ با افزایش دمای پیرولیز به ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد، افزایش معنی‌داری ($P > 0.05$) در میزان خاکستر بیوچارها مشاهده شد. با افزایش دمای فرایند پیرولیز از ۵۰۰ به ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد نیز، افزایش



شکل ۱- اثر تغییرات دما بر عملکرد بیوچار.

Figure 1. Effect of temperature changes on Function of biochar.

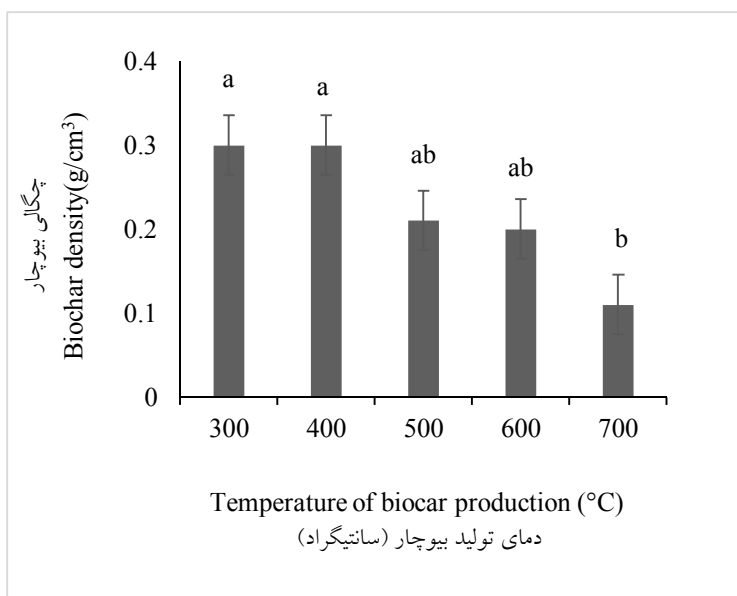


شکل ۲- اثر تغییرات دما بر تولید خاکستر بیوچار.

Figure 2. Effect of temperature changes on Cinder of biochar.

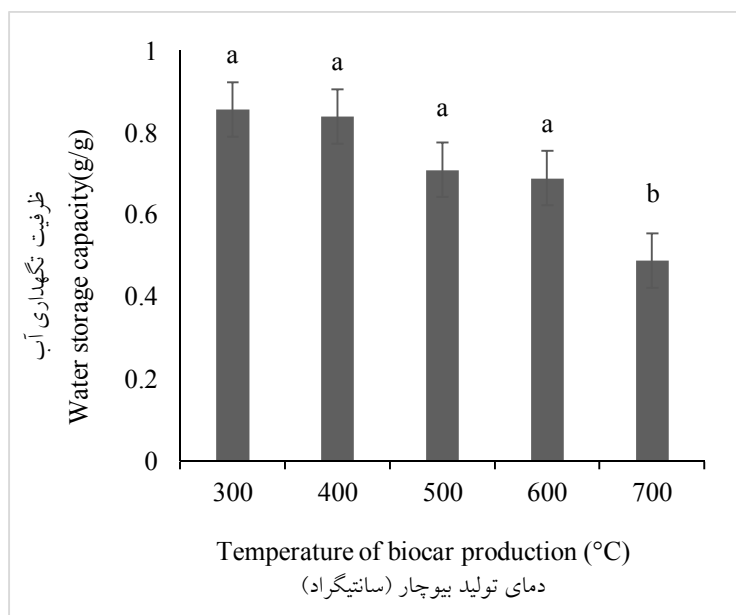
سانتی‌گراد لیگنین که اجزای تشکیل‌دهنده بافت گیاه هستند، شروع به تخریب شدن می‌کنند دمای تخریب سلولز را محدوده ۳۰۰ تا ۳۴۰ درجه سانتی‌گراد است (۱۲، ۲۳، ۲۷ و ۳۰). واکنش تخریب لیگنین، به دلیل ازدحام فضایی حلقه‌های آروماتیکی، فرایند پیچیده‌ای است. ساختار لیگنین در گستره وسیع دمایی تخریب می‌شود، زیرا گروه‌های عاملی مبتنی بر اکسیژن، پایداری گرمایی متفاوتی دارند و پیوندهای آن‌ها در دماهای مختلف تفکیک و از یکدیگر جدا می‌شوند. تخریب پیوندهای α و β آریل و آلکیل اتر در دمایی ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد رخ می‌دهد. در این دما زنجیرهای جانبی آلیفاتیکی که از حلقه‌های آروماتیکی نشأت گرفته‌اند، شروع به تخریب می‌کنند. درحالی‌که پیوندهای کربن-کربن موجود در میان ساختارهای آروماتیکی لیگنین، در دمای ۳۰۰ تا ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد تخریب می‌شوند. درنهایت، تخریب زنجیر اصلی لیگنین در دمای بین ۷۰۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد، موجب تشکیل ۵۰٪-۳۰٪ وزنی خاکستر و آزاد شدن گازهای فرار مانند مونوکسیدکربن، دی‌اکسیدکربن، متان و هیدروژن می‌شود (۳۶).

افزایش عملکرد بیوجارها در دماهای کم پیرولیز به‌علت تراکم کم ترکیبات آلیفاتیک و از دست دادن مقدار کم گازهای H_2 ، CH_4 و CO_2 است (۱۴ و ۱۷). کاهش عملکرد بیوجار و افزایش مقادیر خاکستر بیوجار در دماهای بالا به‌علت دهیدراسیون گروه‌های هیدروکسیل و تجزیه حرارتی ساختارهای لیگن و سلولز است (۲۴) در دمای بالاتر از ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد، مواد آلی شروع به تجزیه حرارتی می‌کنند و آب موجود در ساختار شیمیایی خود را از دست می‌دهند. به‌طورکلی تخریب حرارتی بیوماس در دماهای بالا رخ می‌دهد. با افزایش دمای پیرولیز مواد فرار پیرولیتیکی به مولکول‌های آلی با وزن کم و گازهای مختلف تبدیل می‌شوند درنهایت سبب افزایش خاکستر و کاهش عملکرد بیوجار در دمای بالا می‌شود (۱۸). وارنوک و همکاران (۲۰۱۰) بیان نمودند که در دمای بالاتر از ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد، مواد آلی تحت تجزیه حرارتی قرار گرفته و پیوندهای شیمیایی رطوبت خود را از دست می‌دهند. در دمای ۲۰۰ تا ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد همی‌سلولز، در دمای ۲۴۰ تا ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد سلولز و در دمای ۲۸۰ تا ۵۰۰ درجه



شکل ۳- اثر تغییرات دما بر چگالی بیوجار.

Figure 3. Effect of temperature changes on density of biochar.



شکل ۴- اثر تغییرات دما بر ظرفیت نگهداری آب.

Figure 4. Effect of temperature on Water storage capacity of biochar.

نگهداری آب بیوچارهای تولیدشده در دماهای مختلف وجود دارد (شکل ۴). بیوچار ماده‌ای متخلخل با سطح ویژه بالا است که افزایش دما می‌تواند اثرات منفی معنی‌داری بر ظرفیت نگهداشت رطوبت، پویایی عناصر غذایی و چگالی آن داشته باشد (۴). احتمالاً وجود بالاترین میزان خلل و فرج ریز و متوسط در بیوچار تهیه‌شده در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد، باعث جذب و نگهداری بیش‌تر آب در بیوچار تولیدشده در آن دما می‌شود.

نتایج مقایسه میانگین (شکل ۵) نشانگر اختلاف معنی‌داری در میانگین اسیدیته بیوچارهای تولیدشده است. به‌طوری‌که با افزایش دمای فرآیند پیرولیز (از ۳۰۰ درجه تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد) اسیدیته بیوچار تولیدشده نیز به‌طور خطی کاهش می‌یابد که با نتایج مطالعه فرهادی و همکاران (۲۰۱۸) هم‌راستا است (۱۱). بیوچار تولیدشده در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد دارای مقدار (۷/۱) و بیوچار تولیدشده در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد دارای اسیدیته (۸/۳) است. اسیدیته بیوچار تولیدشده در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد تفاوت معنی‌داری ($P > 0.05$) با اسیدیته تولیدشده در

نتایج مقایسه میانگین (شکل ۳) نشانگر آن است که با افزایش دمای فرآیند پیرولیز از ۴۰۰ به ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد، کاهش معنی‌داری در میانگین جرم مخصوص بیوچارها رخ می‌دهد ($P > 0.05$). با افزایش دمای فرآیند پیرولیز از ۶۰۰ به ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد نیز، کاهش معنی‌داری در میانگین جرم مخصوص بیوچارها مشاهده شد ($P > 0.05$), اما بین میانگین جرم مخصوص بیوچارهای تولیدشده در سایر دماها تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ($P > 0.05$). چگالی ظاهری بیوچار به ماهیت ماده اولیه و فرآیند پیرولیز بستگی دارد (۱۶) احتمالاً، دمای بالا سبب سست شدن و شکسته شدن پیوندها در ماده اولیه (چوب هلو) شده و تراکم بافت چوبی را کاهش داده است.

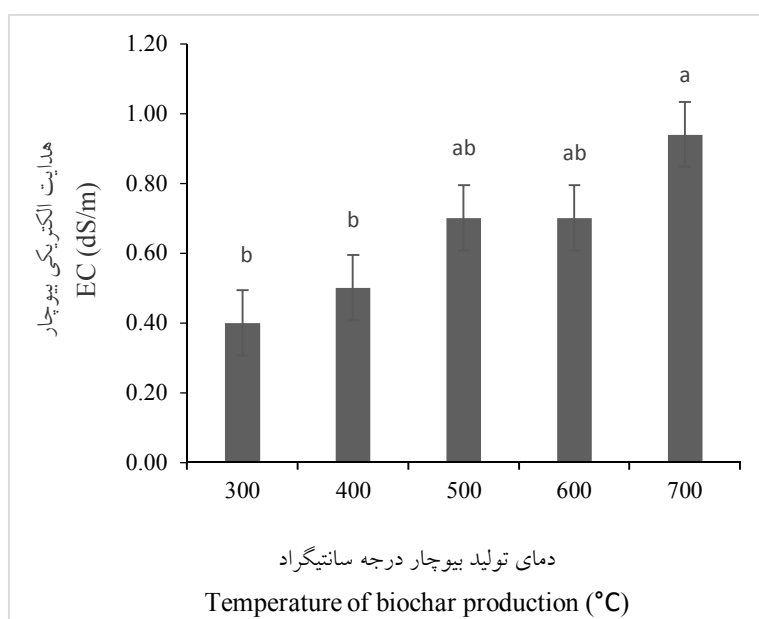
بیوچار تولیدشده در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد با ۰/۰۸۵ گرم بر گرم دارای بیش‌ترین ظرفیت نگهداری آب و بیوچار تولیدشده در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد با ۰/۰۴۹ گرم بر گرم دارای پایین‌ترین عملکرد است. با افزایش دمای فرآیند پیرولیز ظرفیت نگهداری آب بیوچار تولیدشده نیز به‌طور خطی کاهش یافته و اختلاف معنی‌داری در میانگین ظرفیت

اختلاف معنی‌داری در میانگین هدایت الکتریکی بیوچارهای تولیدشده وجود دارد. هدایت الکتریکی بیوچار تولیدشده در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد تفاوت معنی‌داری ($P > 0/05$) با هدایت الکتریکی بیوچارهای تولیدشده در دماهای ۳۰۰ و ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد داشته اما با هدایت الکتریکی بیوچارهای تولیدشده در دماهای ۵۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد اختلاف معنی‌داری ندارد ($P > 0/05$).

مقادیر قابلیت هدایت الکتریکی بیوچار از ۰/۰۴ تا ۵۱/۲ دسی‌زیمنس بر متر در منابع گزارش شده است (۲۴). افزودن بیوچار دارای هدایت الکتریکی بالا، شوری خاک را افزایش می‌دهد، بنابراین تعیین قابلیت هدایت الکتریکی و مقدار نمک‌های محلول بیوچارهای تولیدشده دارای اهمیت است. افزایش مقدار هدایت الکتریکی بیوچار با افزایش دمای پیرولیز را می‌توان به افزایش مقدار خاکستر نسبت داد (۸)؛ این امر به دلیل از دست دادن مواد فرار و افزایش غلظت عناصر در بخش خاکستر است (۳).

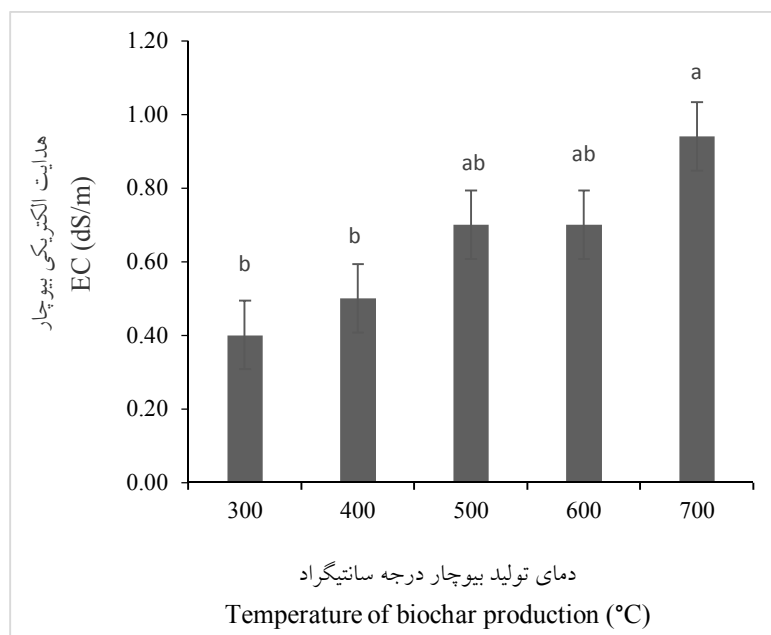
دماهای دیگر (۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ درجه) دارد، اما بین میانگین اسیدیته بیوچارهای تولیدشده در سایر دماها تفاوت معنی‌داری مشاهده نمی‌شود ($P > 0/05$). افزایش pH بیوچار با افزایش دمای فرایند پیرولیز را می‌توان به افزایش کربنات و افزایش عناصر قلیایی نسبت داد. در فرآیند پیرولیز، گروه‌های نمک‌ها و عناصر قلیایی و قلیایی خاکی افزایش می‌یابند. عموماً این نمک‌ها شامل نمک‌های محلول، کربنات‌ها، اکسیدها و هیدروکسیدهای محلول است (۳۵). غالباً این نمک‌ها pH بیوچار را قلیایی می‌کنند.

نتایج مقایسه میانگین (شکل ۶) بیانگر آن است که با افزایش دمای فرآیند پیرولیز (از ۳۰۰ درجه تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد) میزان هدایت الکتریکی بیوچار تولیدشده نیز افزایش یافته است. بیوچار تولیدشده در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد با ۰/۴ دسی‌زیمنس بر متر دارای پایین‌ترین هدایت الکتریکی و بیوچار تولیدشده در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد با ۰/۸۸ دسی‌زیمنس بر متر دارای بالاترین هدایت الکتریکی بود. نتایج تجزیه و تحلیل آماری بیانگر آن است که



شکل ۵- اثر تغییرات دما بر اسیدیته بیوچار.

Figure 5. Effect of temperature changes on pH of biochar.



شکل ۶- اثر تغییرات دما بر هدایت الکتریکی بیوجار.

Figure 6. Effect of temperature changes on EC of biochar.

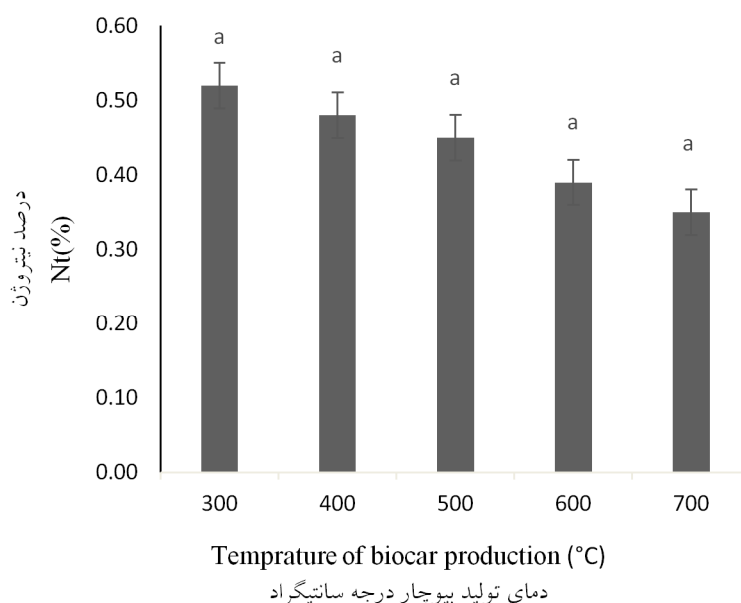
نتایج مقایسه میانگین (شکل ۷) نشان داد که تغییرات دمای فرایند پیرولیز بر نیتروژن قابل تبادل بیوجارهای تولیدشده اثر معنی داری نداشته است ($P > 0.05$). این یافته با نتایج سان و همکاران (۲۰۱۴) و وانگ و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد. تغییرات ازت کل بیوجارها تحت تأثیر ماده اولیه آنها است. به طور کلی بیوجارهای تولیدشده از ضایعات چوبی به دلیل مقدار بالای همی سلولز و لیگنین آنها، دارای ازت کل پایینی می باشند (۳۰ و ۳۵). بیشترین (۵۶ درصد) و کمترین (۳۸ درصد) درصد کربن آلی در دماهای ۴۰۰ و ۷۰۰ درجه سانتی گراد حاصل شد (شکل ۸). میانگین درصد کربن آلی بیوجارهای تولیدشده در دماهای ۶۰۰ و ۷۰۰ درجه سانتی گراد به طور معنی داری کم تر از میانگین درصد کربن آلی بیوجار تولیدشده در دمای ۴۰۰ درجه سانتی گراد بود ($P > 0.05$). بین میانگین درصد کربن آلی بیوجارهای تولیدشده در دماهای ۷۰۰ و

۶۰۰ درجه سانتی گراد با بیوجارهای تولیدشده در دماهای ۳۰۰ و ۵۰۰ درجه سانتی گراد، اختلاف معنی داری وجود نداشت ($P > 0.05$). افزایش کربن بیوجار در دمای ۴۰۰ درجه را می توان به خروج مواد فرار و ترکیبات تجزیه پذیر نسبت داد که طی آن، با افزایش میزان کربن، محتوی هیدروژن و اکسیژن بیوجار کاهش می یابد (۳۳) اما با افزایش دمای فرایند پیرولیز، میزان خاکستر بیوجار افزایش یافته و کاهش چشمگیری در مقدار کربن آن ایجاد می شود. یانگ و شنگ (۲۰۱۲) افزایش ۶۱/۱ و ۴۳ درصدی در میزان کربن بیوجار ضایعات چوب در دماهای ۳۵۰ و ۵۰۰ درجه سانتی گراد و افزایش ۵ و ۷ برابری میزان خاکستر در مقایسه با ماده اولیه بیوجار را در دماهای ۳۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی گراد گزارش نموده اند. به دلیل افزایش غلظت کربن در بیوجار، نسبت هیدروژن به کربن و نسبت اکسیژن به کربن با افزایش دما همواره و به طور ثابت کاهش می یابد. کاهش نسبت هیدروژن

میانگین آن‌ها وجود دارد ($P > 0.05$). با توجه به نتایج به‌دست آمده، علی‌رغم افزایش میانگین فسفر قابل‌تبادل با افزایش دمای فرایند پیرولیز، تفاوت معنی‌داری بین میانگین فسفر قابل‌تبادل سایر بیوچارها وجود ندارد ($P > 0.05$). در طول فرآیند پیرولیز مواد آلی، مخلوط پیچیده‌ای از گونه‌های فسفر تشکیل می‌شود. با افزایش دمای پیرولیز درجه بلوری‌شدن فسفر افزایش می‌یابد (۱۱). فیتات با افزایش دمای پیرولیز به بیش از ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به فسفر غیرآلی تبدیل می‌شود (۲۹) ارتوفسفات و پیروفسفات در بیوچار حاصل از بقایای گیاهی در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد و بالاتر یافت شده است.

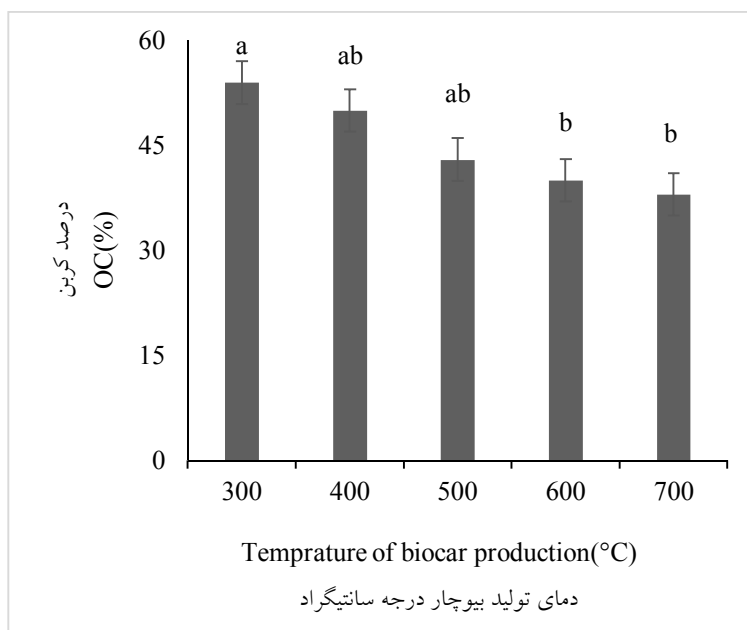
به کربن نشان‌دهنده فرایند آب‌زدایی و کاهش نسبت اکسیژن به کربن بیانگر واکنش‌های کربوکسیل‌زدایی و هر دو نسبت، شاخص و یا درجه آروماتیکی شدن بیوچار (درجه تراکم بیوچار) را نشان می‌دهند. با کاهش این نسبت‌ها کربن زود تجزیه‌پذیر کاهش می‌یابد (۱۸).

نتایج مقایسه میانگین بیانگر آن است که بیوچار تولیدشده در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد دارای بیش‌ترین غلظت فسفر قابل‌تبادل (۰/۲۶ppm) بوده و بیوچار تولیدشده در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد دارای کم‌ترین غلظت فسفر قابل‌تبادل (۰/۱۴ppm) است (شکل ۹)، به‌طوری‌که اختلاف معنی‌داری بین



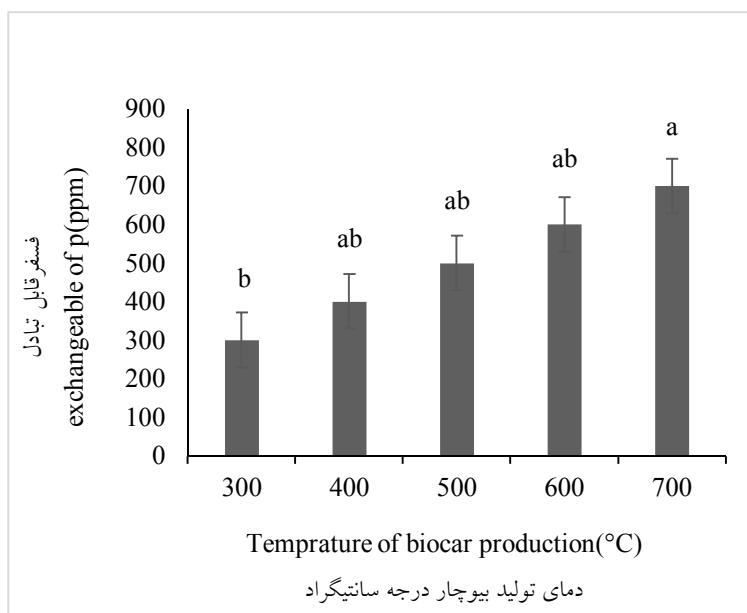
شکل ۷- اثر تغییرات دما بر درصد نیتروژن کل بیوچار.

Figure 7. Effect of temperature changes on Nt(%) of biochar.



شکل ۸- اثر تغییرات دما بر درصد کربن آلی بیوچار.

Figure 8. Effect of temperature changes on OC(%) of biochar.



شکل ۹- اثر تغییرات دما بر غلظت فسفر قابل جذب بیوچار.

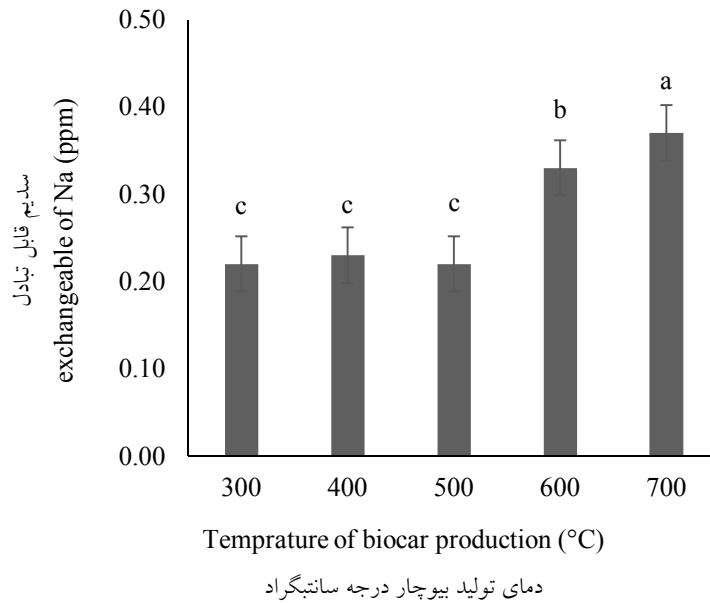
Figure 9. Effect of temperature changes on absorbable Phosphor concentration of biochar.

۷۰۰ و ۳۰۰ درجه سانتی گراد مشاهده شد (شکل ۱۰). بیشترین (۲/۱ ppm) و کمترین (۱/۳ درصد) غلظت پتاسیم قابل تبادل نیز در بیوچار تولیدشده در دماهای ۷۰۰ و ۳۰۰ درجه سانتی گراد مشاهده شد (شکل ۱۱). با افزایش دمای پیرولیز به ۶۰۰ درجه سانتی گراد،

پژوهشگران معتقدند با افزایش دمای پیرولیز درجه آمیختگی فسفر با خاکستر افزایش می یابد و میزان فسفر بیوچار افزایش خواهد یافت؛ بیشترین (۰/۰۴ ppm) و کمترین (۰/۰۲ ppm درصد) غلظت سدیم قابل تبادل در بیوچارهای تولیدشده در دماهای

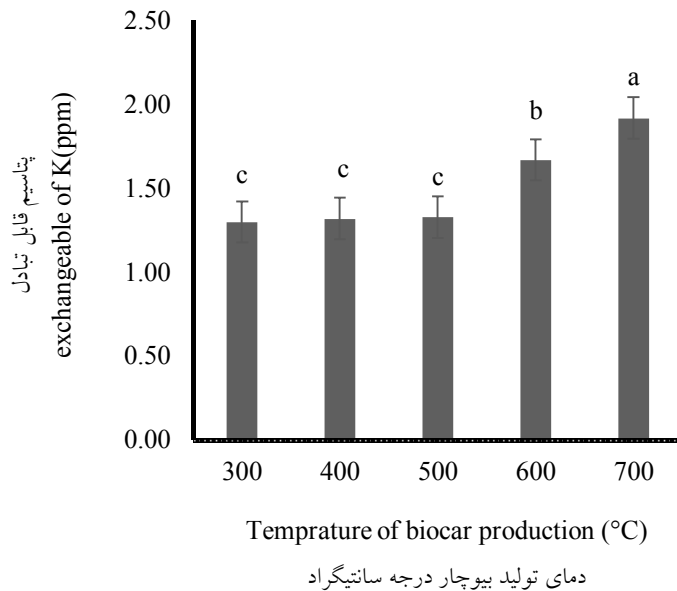
درجه، تفاوت معنی‌داری با بیوچار تولیدشده در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد داشت ($P > 0/05$).

افزایش معنی‌داری در غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم قابل‌تبادل بیوچارها مشاهده شد. به‌طوری‌که میانگین درصد این دو یون در بیوچار تولیدشده در دمای ۷۰۰



شکل ۱۰- اثر تغییرات دما بر غلظت سدیم قابل‌تبادل بیوچار.

Figure 10. Effect of temperature changes on exchangeable Na concentration of biochar.



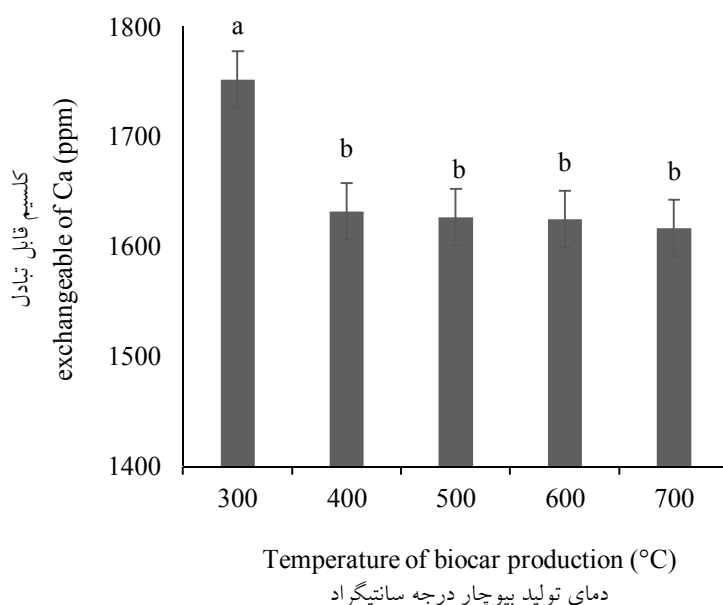
شکل ۱۱- اثر تغییرات دما بر غلظت پتاسیم قابل‌تبادل بیوچار.

Figure 11. Effect of temperature changes on exchangeable K concentration of biochar.

افزایش دمای پیرولیز از ۳۰۰ به ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد، کاهش معنی‌داری در غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم بیوچارها مشاهده شد ($P > 0.05$). بین بیوچارهای تولیدشده در دمای ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد، از نظر مقدار کلسیم و منیزیم اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید ($P > 0.05$). ماهیت دوظرفیتی کلسیم و منیزیم دلیل تصعید کم‌تر آن‌ها طی فرآیند پیرولیز در مقایسه با پتاسیم و سدیم است (۲۱). در صورتی‌که فرآیند پیرولیز در دمای کم‌تر از ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد انجام شود، بخش اعظم کلسیم و منیزیم در بیوچار باقی می‌ماند. اما وقتی دمای پیرولیز به بیش از ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد کلسیم و منیزیم شروع به جدا شدن می‌کنند (۱۹). دلیل این امر به تشکیل رادیکال‌های هیدروژن طی پیرولیز سریع نسبت به پیرولیز کند برمی‌گردد. حضور سایر ترکیبات همانند سیلیکات‌ها نیز، در میزان کلسیم و منیزیم بیوچار مؤثر هستند. تشکیل سیلیکات‌های کلسیم نسبت به سیلیکات‌های منیزیم از نظر ترمودینامیکی محتمل‌تر است (۲۱).

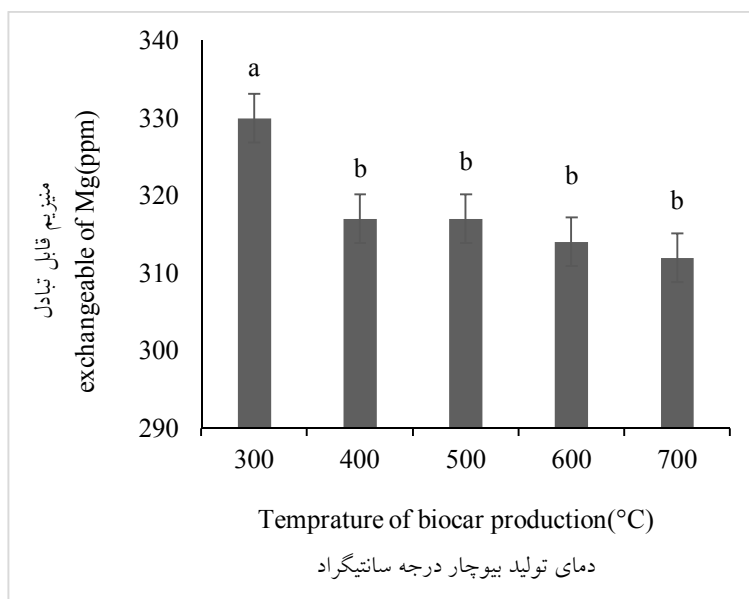
میانگین درصد یون‌های فوق‌الذکر در بیوچار تولیدشده در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از بیوچارهای تولیدشده در دماهای ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ بود ($P > 0.05$) اما بین بیوچارهای تولیدشده در این سه دما (۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد)، اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید ($P > 0.05$). نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش حاضر با نتایج فرهادی و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی اثر دمای پیرولیز و ماده اولیه (تغاله چای و کاه گندم) بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچار در خصوص افزایش غلظت یون پتاسیم قابل‌تبادل در دمای پیرولیز بالاتر از ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد مطابقت دارد (۱۱). احتمالاً افزایش دما در طول فرآیند تولید بیوچار، سبب انتقال کاتیون‌های (K و Na) به داخل اکسی‌هیدروکسیدها و کربنات‌ها و چسبیدن به بیوچار می‌شود (۲۰ و ۲۳).

بیش‌ترین غلظت کلسیم و منیزیم قابل‌تبادل (۱۷۵۰ ppm و ۳۳۰ ppm) در بیوچار تولیدشده در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین غلظت کلسیم و منیزیم قابل‌تبادل در بیوچار تولیدشده در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد (شکل‌های ۱۲ و ۱۳). با



شکل ۱۲- اثر تغییرات دما بر غلظت کلسیم بیوچار.

Figure 12. Effect of temperature changes on exchangeable Ca concentration biochar.



شکل ۱۳- اثر تغییرات دما بر غلظت منیزیم بیوچار.

Figure 13. Effect of temperature changes on exchangeable Mg concentration biochar.

دارد. بعضی شرایط تولید باعث امتزاج و رسوب خاکستر می‌شود که می‌تواند موجب تغییراتی مخرب در ساختمان فیزیکی بیوچارها شود. از آنجایی که با افزایش دمای فرایند پیرولیز، اسیدیته و شوری بیوچار تولیدشده از شاخ و برگ هرس شده درختان هلو افزایش یافته و درصد عملکرد و میزان کربن آلی آن کاهش یافتند، بنابراین تولید بیوچار از شاخ و برگ هرس شده درختان هلو در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد جهت استفاده در عملیات اصلاح اراضی شور و قلیایی توصیه می‌گردد.

نتیجه‌گیری کلی

ترکیب معدنی بیوچار به دلایل متعددی از جمله تغذیه گیاهان، حاصلخیزی و آلودگی خاک حائز اهمیت است. بیوچار منبعی مستقیم برای عناصر پتاسیم، کلسیم و فسفر است و فراهمی عناصر غذایی بر اثر افزودن بیوچار به خاک، می‌تواند از طریق افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، تغییر pH خاک و یا افزوده شدن مستقیم عنصر از بیوچار به خاک افزایش یابد. میزان این ترکیبات بر درجه واکنش آن‌ها و چگونگی شکل‌گیری ساختمان فیزیکی بیوچارها در طول فرایند تولید، تأثیر خواهد داشت. ترکیبات غیرآلی (خاکستر) نیز بر ساختمان فیزیکی بیوچار تأثیر

منابع

1. Asgari, M. 2001. Efficacy of using chemical modifiers (gypsum, sulfur and sulfuric acid) to prevent desertification in saline and sodium soils. M.Sc., Desert Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 85p.
2. Bamminger, C., Marschner, B., and Juschke, E. 2014. An incubation study on the stability and biological effects of pyrogenic and hydrothermal biochar in two soils. *Europ. J. Soil Sci.* 65: 1. 72-82.
3. Beheshti, M., and Alikhani, H. 2016. Changes in quality of wheat straw produced during slow pyrolysis process at different temperatures. *J. Agric. Sci. Sust. Prod.* 26: 2. 189-201.

4. Behnam, H., Farrokhian Firouzi, A., and Moizi, A.S. 2016. Effect of biochar and compost of sugarcane bagasse on some soil mechanical properties. *J. Soil Cons. Res.* 23: 4. 250-250.
5. Bera, T., Collins, H.P., Alva, A.K., Purakayastha, T.J., and Patra, A.K. 2016. Biochar and manure effluent effects on soil biochemical properties under corn production. *Applied soil ecology*, 107: 3. 360-367.
6. Bustani, H.R., and Najafi Qiri, M. 1396. Effect of organic manures, their biochar and mycorrhizae fungi application on the chemical forms of potassium in a calcareous soil. *J. Soil Water Cons. Res.* 24: 6. 159-176.
7. Cheng, C.H., Lehmann, J., and Engelhard, M.H. 2008. Natural oxidation of black carbon in soils: Changes in molecular form and surface charge along a climosequence. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72: 6. 1598-1610.
8. Claoston, N., Samsuri, A., Husni, M.A., and Amran, M.M. 2014. Effects of pyrolysis temperature on the physicochemical properties of empty fruit bunch and rice husk biochars. *Waste Management & Research*, 32: 4. 331-339.
9. Demirbaş, A. 2001. Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals." *Energy conversion and Management*, 42: 11. 1357-1378.
10. Dong, D., Yang, M., Wang, C., Wang, H., Li, Y., Luo, J., and Wu, W. 2013. Responses of methane emissions and rice yield to applications of biochar and straw in a paddy field, *J. Soil Sed.* 13: 8. 1450-1460.
11. Farhadi, E., Reyhanitabar, A., and Oustan, Sh. 2018. Impact of pyrolysis temperature and feedstock sources on physiochemical characteristics of biochar. Testis Master of Science Degree in Soil Science Soil Chrmistry and Fertility. Department of Soil Science, university of Tabriz.
12. Fu, P., Yi, W., Bai, X., Li, Z., Hu, S., and Xiang, J. 2011. Effect of temperature on gas composition and char structural features of pyrolyzed agricultural residues. *Bioresource Technology*, 102: 17. 8211-8219.
13. Günal, E., Erdem, H., and Demirbaş, A. 2018. Effects of three biochar types on activity of β -glucosidase enzyme in two agricultural soils of different textures. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64: 14. 1963-1974.
14. Hemmat, A., Aghilinategh, N., and Sadeghi, M. 2010. Shear strength of repacked remouldedsample of a calcareous soil as affected by long-term incorporation of three organic manures in central Ira Biosystems Engineering, 107: 3. 257-261.
15. Horne, P.A., and Williams, P.T. 1996. Influence of temperature on the products from the flash pyrolysis of biomass. *Fuel*, 75: 9. 1051-1059.
16. Hou, J., Li, M., Xuhui, M., Hao, Y., Ding, J., Liu, D., Xi, B., and Liu, H. 2017. Response of microbial community of organicmatter- impoverished arable soil to long-term application of soil conditioner derived from dynamic rapid fermentation of food waste. *PLoS ONE*, 12: 4. 1-15.
17. Hwang, I., Ouchi, Y., and Matsuto, T. 2007. Characteristics of leachate from pyrolysis residue of sewage sludge. *Chemosphere*, 68: 10. 1913-1919.
18. Jain, S., Mishra, D., Khare, P., Yadav, V., Deshmukh, Y., and Meena, A. 2016. Impact of biochar amendment on enzymatic resilience properties of mine spoils. *Science of the Total Environment*, 544: 3. 410-421.
19. Jindo, H., Mizumoto, Y., Sawada, M.A., Sanchez, M., and Sonoki, T. 2014. Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues. *Biogeosciences*, 11: 7. 6613-6621.
20. Kloss, S., Zehetner, F., Dellantonio, A., Hamid, R., Ottner, F., Liedtke, V., Schwanniger, M., Gerzabek, M.H., and Soja, G. 2012. Characterization of slow pyrolysis biochars: Effects of feedstocks and pyrolysis temperature on biochar properties. *J. Environ. Qual.* 41: 4. 990-1000.
21. Lehmann, J., and Joseph, S. 2009. Biochar for environmental management- an introduction. In: Lehmann J. and Joseph S. (Eds). *Biochar for environmental management: Science and Technology*. Earthscan, London, pp. 1-11.

22. Li, B., Fan, C., Xiong, Z., Li, Q., and Zhang, M. 2015. The combined effects of nitrification inhibitor and biochar incorporation on yield-scaled N_2O emissions from an intensively managed vegetable field in southeastern China. *Biogeosciences*, 12: 6. 2003-2017.
23. Mahmoudian, A., Rezaei, H., and Solmellani, H. 2019. The importance of biochar in soil remediation. 1: 1. 112-167.
24. Nabizadeh, S., Sadeghzadeh, F., Jalili, B., and Emadi, M. 1397. Adsorption of Methylene Blue Using Biochar, soil and Treated Soil with Biochar from aqueous solutions. *J. Soil Cons. Res.* 25: 6. 281-292.
25. Rajabi, H., Safarzadeh Shirazi, P., and Ronaghi, A. 2016. Effect of biomass on pistachio pulp produced at two different temperatures and different levels of nitrogen and phosphorus on the concentration of some elements and growth of spinach. *Aquifer*, 31: 2. 557-569.
26. Rowell, R.M., Han, J.S., and Rowell, J.S. 2000. Characterization and factors effecting fiber properties, *Natural Polymers and Agrofibers Composites, preparation, Properties and Applications*, F. Elisabete, L.L. Alcides and H.C. Mattoso, (eds.), Emrapa Instrumentacao Agropecuaria, Brazil, Pp: 115-134.
27. Sharifi A.M., Tilki G.H., and Alavi, J. 2014. Investigation of the Response of *Festuca ovina* L. to Some Environmental Variables Using the HOF Function in the Rangeland of the Glendrood Watershed. *Range. Sci. J.* 8: 4. 328-341.
28. Shinogi, Y., and Kanri, Y. 2003. Pyrolysis of plant, animal and human waste: physical and chemical characterization of the pyrolysis products. *Bioresource Technology*. 90: 241-247.
29. Singh, B., Camps-Arbestain, M., and Lehmann, J. 2017. *Biochar: A guide to analytical methods*. CSIRO Publishing. 310p.
30. Sun, E.W., Bruun, E., Arthur, L.W., Jonge, P., Moldrup, H., Nielsen, H., and Elsgaard, L. 2014. Effect of biochar on aerobic processes, enzyme activity, and crop yields in two sandy loam soils. *Biology and Fertility of Soils*. 50: 7. 1087-1097.
31. Tajgordan, T., Ayobi, S. Shataei, S., and Khormali, F. 2008. Preparation of surface soil salinity using of remote sensing ETM (Case study: North Agghla: Golestan province). *J. Res. Water Soil Prot.* 16: 1-18.
32. Torabian, Sh., Farhangi-Abriz, S., and Rathjen, J. 2018. Biochar and lignite affect H^+ -ATPase and H^+ -PPase activities in root tonoplast and nutrient contents of mung bean under salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 129: 1. 141-149.
33. Uchimiya, T., and Ohno, Z. He. 2013. Pyrolysis temperature dependent release of dissolved organic carbon from plant, manure, and biorefinery wastes. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*. 104: 1. 84-94.
34. Wang, L., Zhou, H., Wang, X., and Mi, J. 2016. Evaluation of nanoparticle effect on bubble nucleation in polymer foaming. *J. Physic. Chem.* 120: 47. 26841-26851.
35. Wang, Y., Hu, Y., Zhao, X., Wang, S., and Xing, G. 2013. Comparisons of biochar properties from wood material and crop residues at different temperatures and residence time. *Energy and Fuels*, 27: 10. 5890-5899.
36. Warnock, D.D., Mummeya, D.L., McBride, B., Major, J., Lehmann, J., and Rillig, M.C. 2010. Influences of nonherbaceous biochar on arbuscular mycorrhizal fungal abundances in roots and soils: results from growth chamber and field experiments. *Applied Soil Ecology*, 46: 3. 450-456.
37. Yang, H., and Sheng, K. 2012. Characterization of biochar properties affected by different pyrolysis temperatures using visible-near-infrared spectroscopy. *ISRN Spectroscopy*. 120p.



Biochar production from peach trees pruned foliage and its qualitative properties at different temperatures

A. Mahmoodian Choplou¹, *H. Niknahad Gharmakher² and H. Yousefi³

¹Ph.D. Student, Dept. of Range Management, Faculty of Range and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran,

²Assistant Prof., Dept. of Range Management, Faculty of Range and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran,

³Associate Prof., Dept. of Wood Technology and Engineering, Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received: 12.25.2019; Accepted: 04.28.2020

Abstract

Background and Objectives: Most of soils in arid and semi-arid regions have less than one percent organic matter, so organic matter deficiency is mainly a limiting factor in mentioned areas. Millions of tons of trees pruned foliage are produced nationwide each year that can contribute to the supply of organic matter and the improvement soil fertility. Organic wastes from agricultural activities have created short and long-term negative consequences for agriculture and the environment. One way to overcome these issues is to convert organic wastes into biochars. Biochar is a highly stable, porous, carbon-rich and fine-grained organic soil conditioner derived from pyrolysis of organic debris. Biochar affects various soil physical (structure, bulk density, hydraulic conductivity), chemical (pH, cation exchange capacity, organic matter content), and biologic (microbial activity, microbial diversity, enzymatic activity, and microbial population) properties and improves soil fertility. The aim of this study was to investigate the effect of different pyrolysis temperatures on the physical and chemical properties of produced biochars from pruned foliage of peach trees.

Materials and Methods: The pruned foliage of peach trees was prepared from gardens around Gorgan city and after being conversion into sawdust, they were transferred to the laboratory. Then, in the electric furnace under argon gas, at various temperatures of 300, 400, 500, 600 and 700 degrees centigrade, within one hour, various biochars were produced. Then, properties of produced biochars including yield percent, ash content, acidity, salinity, organic carbon percentage, total nitrogen percentage, exchangeable potassium, phosphorus, calcium and magnesium were measured.

Results: The yield of produced biochar significantly decreased with increasing temperature. The highest percentage of yield was observed at pyrolysis temperatures of 300 and 400 degree centigrade. The highest organic carbon (65%) and total nitrogen (0.55%) were obtained at 400 degree centigrade. Biochar quality gradually decreased with increasing temperature, with highest salinity (0.88 ds/m), acidity (8.6), and lowest yield (23%) observed in biochar produced at 700 degree centigrade. The highest amount of ash (%73) was obtained in biochar at 700 degree centigrade and the highest water storage capacity (0.085 gr/gr) was obtained in biochar at 300 and 400 degree centigrade.

* Corresponding Author; Email: niknahad@gau.ac.ir

Conclusion: Acidity and salinity of produced biochars from Peach tree foliage increased and the percentage of yield and organic carbon decreased by increasing the temperature of the pyrolysis process, therefore, in order to use in saline and alkaline land reclamation operations, biochar production from peach trees pruned foliage in 400 degree centigrade is recommended.

Keywords: Biochar, Peach tree foliage, Pyrolysis, Temperature