نشریه علوم آب و خاک
سال بیست و هفتم / شماره چهارم / زمستان ۱۴۰۲/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۲۱۹ تا ۲۳۳

تأثیر دمای فرایند پیرولیز بر برخی از ویژگی‌های شیمیایی بیوچار تولیدشده از ضایعات چغندر علوفه‌ای

راضیه حسین‌پور[1*]، حمیدرضا عسگری[1]، حمید نیک‌نهاد قرماخر[2]، الهام ملک‌زاده[3] و محمدکیا کیانیان گل‌افشانی[4]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱/۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۷/۱۵)

چکیده

خاک‌های مناطق بیابانی عمدتا از مواد آلی کمی برخوردار هستند و از نظر اسیدیته ممکن است نوسانات زیادی داشته باشند. یکی از موادی که برای بهبود و اصلاح برخی از ویژگی‌های خاک استفاده می‌شود، بیوچارها هستند. این ترکیب نسبت به تجزیه بسیار مقاوم است و مدت‌زمان طولانی‌تری در خاک می‌ماند و سبب کاهش ضایعات زراعتی و تبدیل آنها به یک اصلاح‌کننده خاک می‌شود. این امر منجر به حفظ کربن در خاک، افزایش امنیت غذایی، افزایش تنوع زیستی و کاهش تخریب جنگل‌ها می‌شود. در این پژوهش سعی شد، بیوچار ضایعات گیاه چغندر علوفه‌ای در دماهای مختلف پیرولیز تولید و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن بررسی شود. برای این منظور، ضایعات چغندر علوفه‌ای از آبادی های اطراف بیرجند جمع آوری و پس از خرد و هواخشک شدن، در کوره الکتریکی در شرایط اکسیژن محدود، در بازه دمایی ۳۰۰ تا۷۰۰ درجه سانتی‌گراد پیرولیز شدند. سپس خصوصیات بیوچارهای تولیدی با ۳ تکرار اندازه‌گیری و آنالیزهای آماری با نرم‌افزار SPSS انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد، با تغییر دما خصوصیات بیوچارها چشمگیری تغییر یافت. بیشترین درصد عملکرد (٪ ۵۹)، کربن آلی (٪۵۶/۳۳)، نیتروژن کل (٪۰/۵۳)، ذخیره نگهداشت آب (g/g ۰/۸۴) در دمای ۳۰۰ و ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد و بیشترین مقدار خاکستر (٪۷۶)، اسیدیته (۸/۲۱) و قابلیت هدایت الکتریکی (ds/cm ۰/۱)در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد. درصد کربن و راندمان بیوچار تولید شده در دماهای ۳۰۰ و ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد از سایر بیوچارهای تولیدی در دماهای دیگر بیشتر بوده است. بیوچار تولید شده در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد از نظر درصد کربن و راندمان اسیدیته در مقایسه با بیوچار تولید شده در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد، ویژگی‌های بهتری داشته است. هر چند که این تفاوت‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبوده است، اما باتوجه‌به اقتصادی‌تر بودن تولید بیوچار از نظر مصرف انرژی، تولید بیوچار در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بیوچار، چغندر علوفه‌ای، دمای پیرولیز

۱. گروه آبخیزداری و مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۲. گروه مرتع‌داری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۳. گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۴. گروه آموزشی بیابان زدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: raziyeh.hosseinpour@gmail.com

مقدمه

حدود ۲۰ درصد از مساحت کشور را مناطق بیابانی تشکیل داده‌اند که این مناطق در ۱۷ استان و ۹۷ شهرستان پراکنده شده‌اند. معمول خاک‌های این مناطق از تکامل کمی برخوردار هستند و دارای خصوصیات مواد آلی بسیار کم، pH قلیایی و مستعد فرسایش بادی هستند. بیابان، به‌عنوان یک اکوسیستم، طبیعی دارای ظرفیت مشخصی از لحاظ میزان بهره‌برداری از منابع آب و خاک بوده و در صورت مدیریت درست می‌تواند در حالت تعادل قرار بگیرد (۳۰).

یکی از راه‌های افزایش عملکرد و رشد گیاهان، بهبود ویژگی‌های تغذیه‌ای و فیزیکی خاک و افزودن مواد آلی به خاک است. سالانه استفاده از کودهای شیمیایی و عدم بازگشت بقایای گیاهی به خاک، باعث اضافه شدن مقدار بسیار ناچیز ماده آلی به خاک‌ها می‌شود که این امر سبب تخریب ویژگی‌های فیزیکی و زیستی خاک می‌شود. وجود ماده آلی علاوه‌بر اینکه نشانه سلامت و کیفیت خاک است، شاخص مناسبی برای باروری خاک نیز به شمار می‌رود که نتیجه برهمکنش فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی است. مواد آلی با بهبود شرایط خاکدانه‌سازی، سبب بهبود وضعیت تخلخل و نفوذپذیری خاک می‌شوند. همچنین، به علت داشتن گروه‌های عاملی مختلف مانند کربوکسیلی، فنلی و هیدروکسی، ظرفیت تبادل کاتیونی و نگهداری عناصر غذایی خاک را افزایش می‌دهد که در نتیجه، قابلیت دسترسی گیاه به عناصر غذایی را بهبود می‌بخشد. از طرف دیگر، با معدنی شدن ماده آلی، مقدار زیادی از عناصر غذایی (پرمصرف و کم‌مصرف) در خاک آزاد شده و به تغذیه گیاه کمک قابل‌توجهی می‌کند (۲۰).

یکی از راه‌های افزایش ماده آلی در خاک، افزودن بیوچار به آن است. بیوچار ماده‌ای کربنی است که از پیرولیز (گرماکافت) پسماندهای گیاهی در محیط حاوی اکسیژن محدود یا بدون اکسیژن به‌دست می‌آید. در طی فرایند پیرولیز، کربن موجود در گیاه به یک کربن آروماتیک پایدار تبدیل و گازهای قابل‌احتراق CH_4، H_2 و CO آزاد می‌شود. ساختارهای آروماتیک موجود در بیوچار، سبب مقاومت آن در برابر تجزیه شیمیایی و زیستی می‌شود و این امر دوام آن در خاک را برای صدها تا هزاران سال بهبود می‌دهد. همین امر سبب شده است، علاوه‌بر استفاده از بیوچار به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک، از آن برای افزایش ترسیب کربن در خاک، کاهش تغییرات آب‌وهوایی ناشی از مدیریت کربن، منبع انرژی زیستی و مدیریت پسماندها نیز استفاده شود (۱۱) ویژگی‌های بیوچارها (فیزیکی و شیمیایی) تحت‌تأثیر عوامل زیادی ازجمله مواد اولیه، شرایط گرماکافت (سرعت گرمادهی، دمای اوج و مدت‌زمان) و اندازه ذرات قرار می‌گیرد. گستردگی فرایند پیرولیز، سبب تشکیل بیوچارهایی می‌شود که از نظر ویژگی‌های مختلف مانند ترکیبات عناصر، درصد خاکستر، جرم مخصوص ظاهری، تخلخل، اندازه منافذ، سطح ویژه، ویژگی‌های شیمیایی، جذب آب و یون‌ها، و اسیدیته بسیار متفاوت باشند (۱۶).

یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچارها دمای پیرولیز آن است، به‌طوری که با تغییر دما خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بیوچارها تغییر چشمگیری پیدا می‌کند. برای نمونه، محمودیان چپلو و همکاران (۱۹) به این نتیجه دست یافتند که با افزایش دمای پیرولیز، اسیدیته و شوری بیوچار تولید شده افزایش و درصد عملکرد و میزان کربن آلی آن کاهش یافته است. همچنین، زلفی باوریانی و همکاران (۳۳)، در پژوهش‌های خود به این امر اشاره کردند که تولید بیوچار در دماهای بیشتر، تأثیر بیشتری بر حفظ نگهداری کربن در خاک داشته و بیوچار تولید شده در دماهای کمتر (تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد)، تأثیر مطلوبی بر سایر ویژگی‌های خاک دارد. مهدی کریمی (۱۵) نیز با بررسی تأثیر دمای پیرولیز بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچار تولیدی از ضایعات هرس درختان بارور پسته نشان داد، نسبت قابلیت هدایت الکتریکی، pH، غلظت عناصر غذایی پتاسیم، سدیم و فسفر بیشترین دمای پیرولیز به کمترین دمای پیرولیز به‌ترتیب به میزان ٪۳۲،

٪۲۷، ٪۲۷، ٪۲۵ و ٪۲۹ افزایش یافت. روند افزایشی غلظت عناصر غذایی کلسیم، منیزیم و روی نیز با افزایش دمای پیرولیز تا ۴۵۰ درجه سلسیوس دیده شد؛ اما با افزایش بیشتر دمای پیرولیز به ۵۰۰ درجه سلسیوس، غلظت این عناصر تغییر معنی‌داری نداشت. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد، افزایش دمای آتشکافت تا دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس موجب افزایش سطح ویژه و تخلخل بیوچار شد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت بیوچار حاصل از هرس سرشاخه‌های پسته، یک منبع از عناصر غذایی موردنیاز گیاه بوده و می‌تواند برای اصلاح خاک و افزایش عملکرد در واحد سطح محصولات کشاورزی استفاده شود. لی و همکاران (۱۸) اثرات دمای تجزیه در اثر حرارت و نوع ماده اولیه بر ویژگی‌های بیوچار مربوط به کربن خاک و سلامت خاک را بررسی کردند. نتایج نشان داد، بیوچارهای تولید شده در دمای زیاد پیرولیز (بیش از ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد) مقدار کربن و حجم منافذ بیشتری در مقایسه با بیوچارهای تولید شده در دمای کم (کمتر از ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد) دارد. نسبت H/C و مقدار نیتروژن در دماهای زیاد کاهش یافته است؛ اما میزان اسیدیته، سطح ویژه و مقدار خاکستر، بدون درنظرگرفتن مواد اولیه افزایش یافته است. سومپارن و همکاران (۲۵) تأثیر شرایط فرایند پیرولیز را بر خواص بیوچار حاصل از بقایای کشاورزی بررسی کردند. نتایج نشان داد، با افزایش دمای پیرولیز، میزان بیوچار تولید شده کاهش می‌یابد، اما مقادیر مختلف کربن، هدایت الکتریکی، مواد معدنی (N، P، K، Mg، Ca، Fe) و قلیاییت افزایش می‌یابد. این عمل بیوچار تولید شده را قادر می‌سازد علاوه‌بر اینکه کربن بیشتری را در هنگام استفاده به خاک اضافه کند، اسیدیته یا قلیاییت را کاهش داده و خاک، مواد مغذی موردنیاز و آب بیشتری برای استفاده گیاهان داشته باشد. هم چنین این عمل می‌تواند محیطی را برای زندگی میکروارگانیسم‌ها فراهم آورد که سبب افزایش تهویه هوای در خاک و کیفیت آن می‌شود.

باتوجه‌به آنکه مناطق بیابانی از تنش‌هایی نظیر خشک‌سالی، کمبود آب و مقدار کم مواد آلی در خاک، وفور نمک‌ها در خاک و... رنج می‌برد، بنابراین شرایط مناسبی برای رشد و نمو گیاهان در این مناطق فراهم نیست. فراوانی چغندر علوفه و ضایعات آن و قیمت مناسب آن در منطقه موردمطالعه (شهرستان بیرجند)، سبب شده است در این پژوهش از این محصول برای تولید بیوچار (برای بهبودبخشیدن به خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک در منطقه) استفاده شود؛ بنابراین، هدف از این پژوهش تولید بیوچار از ضایعات چغندر علوفه‌ای در دماهای پیرولیز مختلف است تا پس از دستیابی به بهترین دمای پیرولیز، از بیوچار تولیدی برای اصلاح خصوصیات مختلف خاک و بهبود رشد و نمو گیاهان مرتعی بومی منطقه استفاده شود

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده‌سازی ماده اولیه

ضایعات چغندر علوفه‌ای مورداستفاده در این پژوهش از روستاهای اطراف شهرستان بیرجند تهیه شدند. پس از خرد و هواخشک کردن به آزمایشگاه گروه مدیریت مناطق بیابانی دانشکده مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انتقال داده شدند. برای شست‌وشوی آنها از آب شهری و سپس آب مقطر استفاده شد و سپس به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شدند. در نهایت برای تهیه نمونه‌های یکنواخت، پس از آسیاب‌کردن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند (۱۷).

مراحل تهیه و تولید بیوچار

نمونه‌های الک شده در شرایط اکسیژن کم و داخل کوره الکتریکی در دماهای ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد، با سرعت انتقال گرمای ۱۵-۱۰ درجه سانتی‌گراد در هر دقیقه و به مدت یک ساعت قرار داده شد و بیوچارهای مورد نظر تولید شدند (۹). ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی

بیوچارهای تولید شده به صورت زیر اندازه‌گیری شدند:

اندازه‌گیری ویژگی‌های بیوچار

عملکرد بیوچار

عملکرد بیوچار تولید شده با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (۲۴):

$$\text{عملکرد بیوچار} = \frac{\text{جرم بیوچار}}{\text{جرم ماده اولیه قبل از حرارت}} \times 100 \qquad (۱)$$

مقدار خاکستر بیوچار

برای تعیین مقدار خاکستر در بیوچار، ابتدا ۵ گرم بیوچار در آون و در دمای ۶۰ درجه خشک شد. سپس نمونه خشک‌شده در فویل‌های نسوز به مدت ۳ ساعت و در دمای ۵۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی (در حضور اکسیژن) قرار داده شدند. بعد از گذشت ۳ ساعت، ظروف از کوره خارج شده و پس از سرد شدن در دمای اتاق مجددا توزین شدند. مقدار خاکستر بیوچارها طبق رابطه (۲) محاسبه شد (۲۴):

$$\text{مقادیر خاکستر} = \frac{\text{وزن خاکستر (گرم)}}{\text{وزن خشک بیوچار (گرم)}} \times 100 \qquad (۲)$$

هدایت الکتریکی (EC) و اسیدیته (pH) بیوچار

برای اندازه‌گیری EC و pH ، بیوچار تولید شده درون لوله‌های سانتریفیوژ ریخته شد و به نسبت ۱:۱۰ به آن آب دیونیزه اضافه شد. سپس به مدت ۲۰ دقیقه درون شیکر قرار داده شد و پس از گذشت ۳۰ دقیقه برای رسیدن به حالت تعادل، pH و EC محلول به ترتیب با دستگاه‌های pH متر و EC متر اندازه‌گیری شدند (۲۳).

ظرفیت نگهداری آب بیوچارهای تولیدی

ظرفیت نگهداری آب بیوچارهای تولید شده از رابطه (۳) محاسبه شد (۲۴):

$$\text{ظرفیت نگهداری آب} = \frac{\text{آب نگهداری شده (گرم)}}{\text{وزن بیوچار (گرم)}} \times 100 \qquad (۳)$$

مواد فرار

برای اندازه‌گیری این پارامتر، همراه با بستن خروجی تهویه، دمای کوره به ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد رسانده شد. ظروف حاوی بیوچار آون خشک‌شده، داخل کوره قرار گرفته و به مدت ۱۰ دقیقه حرارت داده شد. سپس ظروف خارج شد و نمونه‌ها تا رسیدن به دمای محیط خنک شدند. سپس مواد فرار مطابق رابطه (۴) محاسبه گردید (۷).

$$\text{مواد فرار} = \frac{\text{وزن بیوچار در دمای ۹۵۰ درجه} - \text{وزن بیوچار در دمای ۱۰۵ درجه}}{\text{وزن خشک بیوچار (گرم)}} \times 100 \qquad (۴)$$

کربن و نیتروژن موجود در بیوچار

برای اندازه‌گیری میزان کربن بیوچارهای تولید شده از روش والکی بلک (۲۸) و برای محاسبه مقدار نیتروژن کل بیوچارها از دستگاه کجلدال استفاده شد. به این صورت که با استفاده از محلول غلیظ اسیدسولفوریک، آب مقطر و قرص کاتالیزور و توسط دستگاه کجدال اندازه‌گیری شد (۱۴).

مقدار فسفر بیوچارهای تولیدی

فسفر موجود در عصاره بیوچار استخراج شده به روش اولسن (۲۱)، با به‌کارگیری اسید آسکوربیک به‌عنوان ماده احیاء کننده به روش رنگ‌سنجی در طول‌موج ۶۶۰nm، با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر اندازه‌گیری شد.

مقدار کلسیم بیوچارها

کلسیم موجود در بیوچارها به روش تیتراسیون با اتیلن دی آمین ترا استیک اسید (EDTA) و سدیم بیوچار با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر اندازه‌گیری شد (۳).

تحلیل آماری داده‌ها

برای تحلیل آماری داده‌های به‌دست‌آمده از نرم SPSS با روش آزمایش تجزیه واریانس چندعاملی و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد استفاده شد. همچنین، روابط بین متغیرها مانند درصد بیوچار و افزایش کربن خاک با استفاده از تجزیه رگرسیونی مشخص شد. جداول آماری و نمودارها از طریق نرم‌افزار Office نسخه ۲۰۱۳ ارائه شد.

نتایج و بحث

دما از جمله متغیرهای اصلی تهیه بیوچار است که تأثیر بسزایی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و پایداری آن دارد. دامنه گسترده فرایند گرماکافت، سبب تشکیل بیوچارهایی می‌شود که از نظر ترکیبات 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 (۱۶). ویژگی‌های بیوچارهای تولید شده از ضایعات چغندر علوفه‌ای در دماهای مختلف در جدول ۱ ارائه شده است.

عملکرد بیوچار

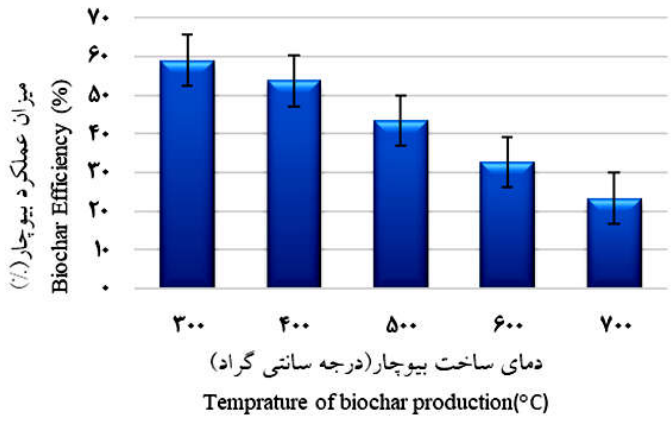
بر اساس نتایج به‌دست‌آمده دیده می‌شود، عملکرد بیوچار معنی‌داری تحت‌تأثیر دمای پیرولیز قرار دارد، به‌طوری که با افزایش دمای پیرولیز، عملکرد بیوچارهای تولید شده کاهش می‌یابد. بیوچارهای تولید شده در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد با ۵۹ درصد، بیشترین عملکرد را در بین سایر بیوچارهای تولید شده (در دماهای مختلف پیرولیز) داشته است. این در حالی است که بیوچار تولید شده در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد، کمترین عملکرد (۲۳ درصد) را در بین بیوچارهای تولیدی داشته است. عملکرد بیوچارهای تولیدی در دماهای ۳۰۰ و ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند، اما با افزایش دما از ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به بالا، عملکرد بیوچارها به میزان ۳۵/۶۷ درصد کاهش یافته است (شکل ۱). نتایج پژوهش‌های بهشتی و همکاران (۲) و فولادی و همکاران (۸) نیز نشان دهنده کاهش عملکرد بیوچار در نتیجه افزایش دمای پیرولیز است. به‌طورکلی، با افزایش دمای پیرولیز، مواد فرار پیرولیتیکی به گازهای مختلف و مولکول‌های آلی با وزن کم تبدیل می‌گردند. در نهایت، سبب افزایش خاکستر و کاهش عملکرد بیوچار در دمای زیاد می‌شوند (۲۹).

مقدار خاکستر

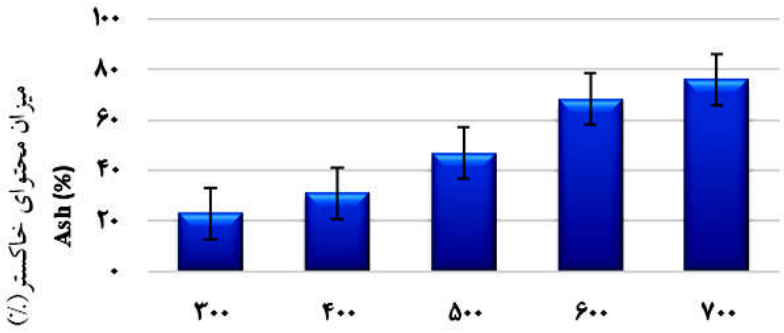
نتایج آزمایش‌ها نشان داد، میزان خاکستر بیوچار تولید شده ارتباط مستقیمی با دمای ساخت بیوچار و ارتباط معکوس با عملکرد بیوچارهای تولیدی دارد. به‌طوری که، با افزایش دمای پیرولیز از ۳۰۰ به ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد، میزان خاکستر بیوچارهای تولیدی معنی داری (۵۳٪) افزایش می‌یابد. درصد خاکستر بیوچار تولید شده در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد، ۲۳ درصد و در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد، ۷۶ درصد است. با افزایش دمای پیرولیز از ۳۰۰ به ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد، با افزایش ۸ درصد تفاوت معنی داری در میزان خاکستر دیده نشد، اما با افزایش دمای پیرولیز از ۴۰۰ به ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد (با افزایش ۱۶ درصدی میزان خاکستر) و ۵۰۰ به ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد (با افزایش ۲۱ درصدی میزان خاکستر)، میزان خاکستر بیوچار افزایش معنی داری یافت. با افزایش دما از ۶۰۰ به ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد نیز تفاوت معنی داری در درصد خاکستر بیوچارها دیده نشد (شکل ۲). نتایج پژوهش میری و همکاران (۲۰) نیز نشان داد، با افزایش دمای پیرولیز از ۳۰۰ به ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد خاکستر بیوچارها به میزان ۳۱ درصد افزایش یافته است. به‌طورکلی، می‌توان بیان کرد علاوه‌بر اینکه مقدار خاکستر بیوچارها به نوع ماده اولیه آنها بستگی دارد، با افزایش دما به دلیل تجزیه مواد آلی، حذف شدن مواد فرار و تجمع پیداکردن مواد معدنی، میزان خاکستر بیوچارها افزایش می‌یابد (۳۱).

جدول ۱. برخی ویژگی‌های بیوچارهای تولیدشده در دماهای مختلف

دما temperature	۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰	۶۰۰	۷۰۰
عملکرد بیوچار (٪) Biochar Efficiency (%)	۵۹	۵۳/۶۷	۴۳/۳۶	۳۲/۷۰	۲۳/۳۳
مقدار خاکستر (٪) Ash (%)	۲۳	۳۱	۴۶/۸۷	۶۸/۳۳	۷۶
آب و مواد فرار Water and volatile substances	۰/۹۳	۱/۶۰	۲/۵۳	۴/۶۲	۵/۰۷
ظرفیت نگهداری آب (g/g) Water storage capacity (g/g)	۰/۸۴	۰/۸۲	۰/۷۷	۰/۶۷	۰/۵۸
قابلیت هدایت الکتریکی EC (dS/cm)	۰/۰۶	۰/۰۶۵	۰/۰۷۹	۰/۰۸۳	۰/۱
اسیدیته pH	۷/۱۱	۷/۳۱	۷/۶۳	۷/۸۱	۸/۲۱
نیتروژن کل (٪) Total nitrogen (%)	۰/۵۰	۰/۵۳	۰/۴۰	۰/۲۸	۰/۲۰
کربن آلی (٪) OC (%)	۵۶/۳۳	۵۲/۶۷	۳۵/۶۷	۱۴/۳۳	۷
فسفر قابل‌جذب (ppm) Available Phosphorus (ppm)	۰/۲۴	۰/۶۴	۰/۷۲	۱/۳۶	۱/۴۹
کلسیم قابل‌جذب (ppm) Available Calcium (ppm)	۹۸/۳۳	۷۶	۵۰	۳۷/۶۷	۳۵
سدیم قابل‌جذب (ppm) Available Sodium (ppm)	۲۸/۳۳	۲۷/۶۷	۴۴	۵۳	۵۰



شکل ۱. تأثیر دمای پیرولیز بر عملکرد بیوچار



شکل۲. تأثیر دمای پیرولیز بر تولید خاکستر بیوچار

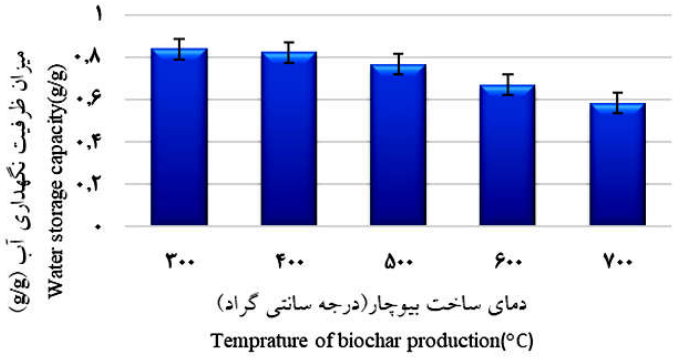
ظرفیت نگهداشت آب

آب از دیگر اجزای مهم بیوچار است. معمول دامنه رطوبتی بیوچارها از ٪۵ تا ٪۱۰ است. ظرفیت نگهداشت آب، بیان‌کننده توانایی بیوچار در نگهداری و ذخیره آب است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، با افزایش دمای پیرولیز ظرفیت نگهداشت آب بیوچار تولید شده کاهش می‌یابد. به‌طوری که، بیشترین و کمترین میزان نگهداشت آب بیوچار در این پژوهش به‌ترتیب در دمای ۳۰۰ درجه (۰/۸۴ g/g) و ۷۰۰ درجه (۰/۵۸ g/g) دیده شده است. باتوجه‌به نتایج آماری، میزان نگهداشت آب در بازه دمایی ۳۰۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد و ۶۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد تفاوت معنی داری در سطح ۰/۰۵ درصد ندارند؛ اما با افزایش دمای پیرولیز از ۵۰۰ به ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد در سطح ۵ درصد، تفاوت معنی داری در میزان ذخیره نگهداشت آب بیوچارها مشاهده شد (شکل۳). نتایج پژوهش هانگ و همکاران (۱۰) نیز نشان داد، بیشترین میزان ظرفیت نگهداشت آب بیوچار در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد است. کاهش میزان نگهداشت آب در دماهای زیاد را می‌توان به کاهش میزان خلل و فرج ریز در بیوچار نسبت داد (۲). علاوه‌بر آن، میزان ذخیره آب بیوچار با میزان کلسیم، فسفر و کربن رابطه مستقیم دارد و با میزان سدیم، پتاسیم و pH رابطه عکس دارد (۱۹) که این امر نیز بیانگر کاهش میزان ذخیره آب در دماهای بیشتر است.

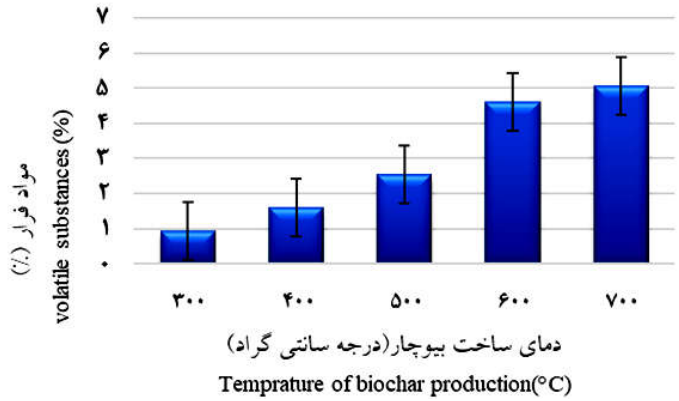
درصد مواد فرار

درصد مواد فرار نیز با افزایش دما به میزان ۴/۱۴ درصد افزایش یافت. به‌طوری که کمترین میزان مواد فرار در دمای ۳۰۰ درجه، ۰/۹۳ درصد و بیشترین میزان آن در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد، حدود ۵/۰۷ درصد بوده است. میزان مواد فرار نیز در بازه ی دمایی ۶۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد و ۳۰۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد در سطح ۵ درصد تفاوت معنی داری با یکدیگر ندارند؛ اما با افزایش دما از ۵۰۰ به ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد (با ۲/۰۹ درصد افزایش) تفاوت معنی داری در سطح ۵ درصد دیده شد (شکل۴). آدیکانی و همکاران (۱) در پژوهش خود به افزایش مواد فرار بیوچار در نتیجه افزایش دمای پیرولیز اشاره کردند و اظهار داشتند که افزایش دمای پیرولیز تأثیر قابل‌توجهی در دفع مواد فرار در بیوچار دارد.

قابلیت هدایت الکتریکی (EC) و هدایت الکتریکی (EC)، نشان‌دهنده شوری بیوچار است. اهمیت این ویژگی به این دلیل است که EC بیوچار می‌تواند بر شوری خاک تأثیر بگذارد. این امر به‌ویژه در مناطق خشک، بر رشد و عملکرد گیاهان تأثیر دارد. در پژوهش حاضر نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن است که بیشترین میزان هدایت الکتریکی در دمای ۷۰۰ درجه (۰/۱ dS/cm) و کمترین مقدار آن در دمای ۳۰۰ و ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد (۰/۰۶ dS/cm) بوده است. در دامنه دمایی ۳۰۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد، تفاوت معنی‌داری بین میزان هدایت الکتریکی بیوچارهای تولیدی وجود ندارد. این در حالی است



شکل۳. تأثیر دمای پیرولیز بر ظرفیت نگهداری آب بیوچار

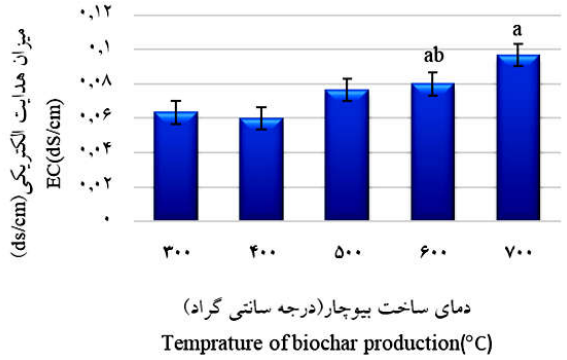


شکل۴. تأثیر دمای پیرولیز بر درصد مواد فرار بیوچار

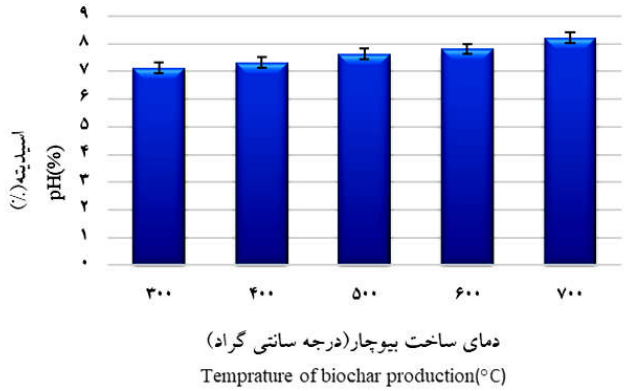
که با افزایش دما در دامنه دمایی ۵۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد، هدایت الکتریکی بیوچارها در سطح ۰/۰۵ درصد معنی‌داری افزایش یافته است (شکل۵). این مشاهدات با نتایج پژوهش ژانگ و همکاران (۳۲) نیز همخوانی دارد. به‌طورکلی، بررسی نتایج مختلف بیانگر آن است که هدایت الکتریکی بیوچار تولیدی به نوع ماده خام ورودی نسبت به دمای پیرولیز همبستگی بیشتری دارد. زیرا تابعی از مقدار خاکستر و ترکیب عنصری است (۲۴).

اسیدیته (pH)

هرچند که در اکثر گزارش‌های علمی و پژوهشی بیان شده است که اسیدیته بیوچار قلیایی است، اما دامنه وسیعی از مقادیر اسیدیته بیوچار، از اسیدی تا قلیایی مشاهده شده است. علت تغییرات وسیع در pH بیوچارها، مقدار خاکستر ماده خام اولیه و شرایط فرایند پیرولیز در تولید بیوچار هستند. در این پژوهش، دامنه تغییرات pH بیوچارهای تولید شده از ۷/۱۱ تا ۸/۲۱ متغیر بوده است. به‌طوری که با افزایش دمای پیرولیز، مقدار pH بیوچارها افزایش یافته است. کمترین میزان pH در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد، برابر ۷/۱۱ و بیشترین مقدار آن در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد، برابر ۸/۲۱ بوده است. بر اساس مقایسه میانگین انجام شده، با افزایش دمای پیرولیز از ۳۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد، مقادیر pH بیوچار به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است (شکل۶). تامزیک و همکاران (۲۷) نیز در پژوهش‌های خود به افزایش میزان pH با افزایش دمای پیرولیز اشاره کردند. دلیل افزایش مقادیر pH بیوچار با افزایش دما را می‌توان همبستگی مثبت pH با تشکیل کربنات‌ها و محتویات قلیایی‌های معدنی دانست. این گروه‌ها عامل اصلی افزایش مقدار pH هستند. افزایش pH بیوچار با افزایش



شکل۵. تأثیر دمای پیرولیز بر میزان هدایت الکتریکی بیوچار



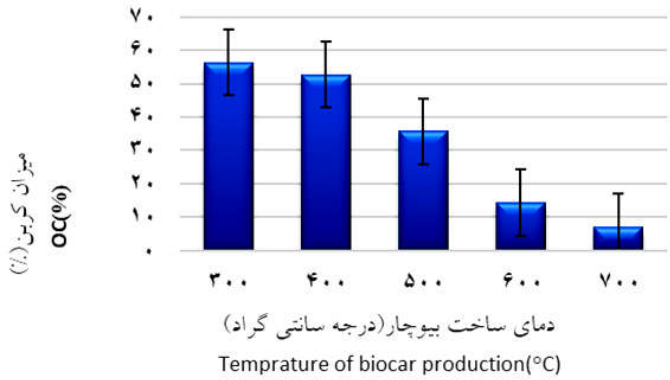
شکل۶. تأثیر دمای پیرولیز بر اسیدیته بیوچار

مقدار خاکستر و گروه‌های عاملی اکسیژن که در طی پیرولیز در دماهای بالا رخ می‌دهد، نیز مرتبط است (۳۱). از عوامل دیگر افزایش pH، می‌توان به ناپدید شدن گروه‌های عاملی اسیدی (–COOH) و ظاهر شدن گروه‌های عاملی پایه در دماهای بالای پیرولیز اشاره کرد. نمک‌های قلیایی در دمای بالای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد، شروع به جدا شدن از ماتریکس آلی می‌کنند و pH محصول را افزایش می‌دهند.

میزان کربن (C)

کربن مهم‌ترین جزء تشکیل‌دهنده بیوچارها هستند. در این پژوهش، افزایش دمای پیرولیز سبب کاهش معنی‌دار میزان کربن بیوچارهای تولیدی شده است. بیشترین میزان کربن بیوچارهای تولید شده در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد (۵۶/۳۳٪) و کمترین مقدار آن در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد (۷٪) دیده شد. نتایج آماری بیانگر این است که با افزایش دمای پیرولیز از ۴۰۰ به ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد و ۵۰۰ به ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد، میزان کربن بیوچارها در سطح ۵ درصد کاهش معنی داری یافته است. اما افزایش دمای پیرولیز از ۳۰۰ به ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد و ۶۰۰ به ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد، تفاوت معنی داری در میزان کربن بیوچارهای تولیدی دیده نشده است (شکل۷). کلستون و همکاران (۴) در پژوهش خود به کاهش میزان کربن بیوچار با افزایش دما اشاره کردند و دلیل آن را کاهش درجه کربونیزاسیون بیان کردند. کاهش میزان کربن بیوچارها با افزایش دمای پیرولیز، می‌تواند به دلیل خروج آن از فاز جامد (بیوچار) و تبدیل به فاز مایع و گاز و خروج مواد فرار و ترکیبات تجزیه‌پذیر باشد (۱۸ و ۲۶).

مقدار مواد مغذی بیوچار عمده به مواد اولیه و شرایط پیرولیز (دما، زمان اقامت و محیط گازی) بستگی دارد (۶). مقدار نیتروژن با افزایش دمای پیرولیز از ۳۰۰ به ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد به میزان ۰/۳ درصد کاهش می‌یابد. بیشترین میزان نیتروژن در دمای ۴۰۰ درجه به میزان ۰/۵۳ درصد و کمترین میزان آن در دمای



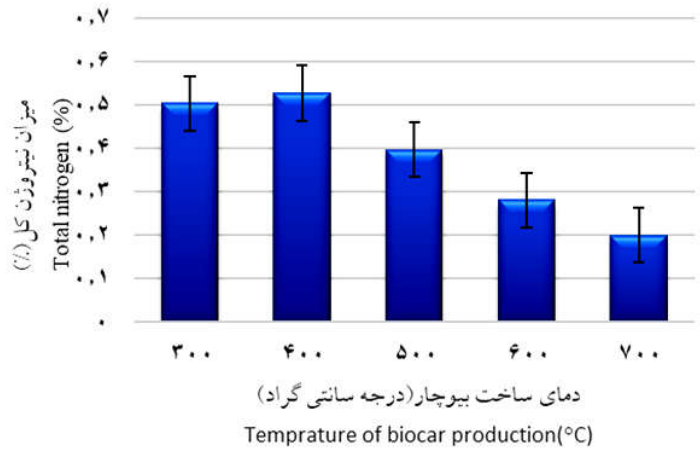
شکل۷. تأثیر دمای پیرولیز بر میزان کربن آلی بیوچار

۷۰۰ درجه به میزان ۰/۲ درصد بوده است. بر اساس مقایسه میانگین داده‌ها، دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد با دماهای ۴۰۰ و ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد با کاهش ۰/۱ درصدی تفاوت معنی داری ندارد؛ اما با دماهای ۶۰۰ و ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد در سطح ۵ درصد تفاوت معنی داری دارد (شکل۸). دورهانی و همکاران (۵) نیز در پژوهش‌های خود به کاهش میزان نیتروژن بیوچارها در نتیجه افزایش دمای پیرولیز اشاره کردند و دلیل آن را هدر رفت نیتروژن آلی طی فرایند پیرولیز بیان کردند.

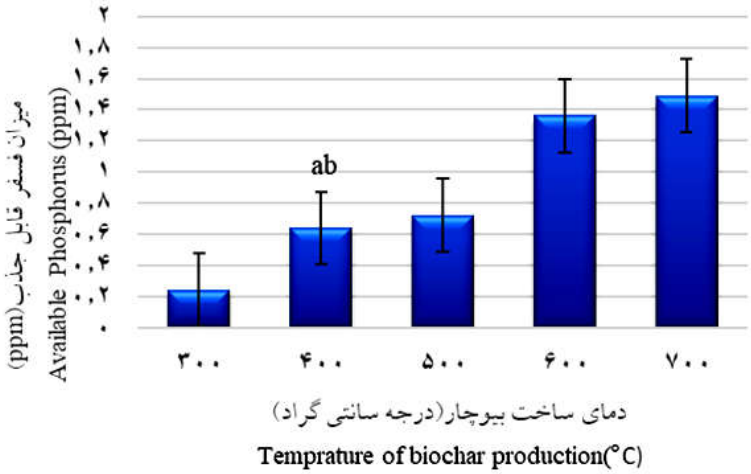
بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، بیشترین و کمترین میزان فسفر قابل‌دسترس به‌ترتیب مربوط به دمای ۷۰۰ و ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد، به میزان ۱/۴۹ و ppm ۰/۲۴ است. با افزایش دمای پیرولیز از ۳۰۰ به ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد، مقدار فسفر بیوچارها به میزان ۱/۲۵ درصد افزایش یافته و نتایج آماری نیز بیانگر تفاوت معنی‌دار بین دمای ۳۰۰ و ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد است؛ اما تفاوت معنی‌دار بین مقدار فسفر بیوچار در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد با دماهای ۴۰۰،۵۰۰ و ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد وجود ندارد (شکل۹). افزایش میزان فسفر بیوچار با افزایش دمای پیرولیز در نتایج سایر پژوهشگران (۱۳ و ۱۵) نیز گزارش شده است. به‌طورکلی، می‌توان بیان کرد مقدار فسفر با دمای پیرولیز همبستگی مثبت دارد. بیوچار با مقدار خاکستر زیاد، دارای مقدار فسفر بالایی است (۲۶). لاغری و همکاران (۱۶) علت افزایش میزان فسفر بیوچار با افزایش دمای پیرولیز را به غیرفرار بودن ترکیبات فسفر و تجمع آن در محتویات خاکستر ارتباط دادند.

میزان کلسیم: میزان کلسیم بیوچارهای تولید شده در بازه ۹۸/۳۳ و ۳۵ درصد متغیر بوده و این تغییرات با افزایش دمای پیرولیز روند کاهشی داشته است، به‌طوری که که بیشترین میزان کلسیم بیوچار در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و کمترین میزان آن در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد دیده شد. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد بین میزان کلسیم بیوچار ساخته شده در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد با بیوچار ساخته شده در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری وجود ندارد؛ اما با میزان کلسیم بیوچار تولید شده در دماهای ۵۰۰،۶۰۰ و ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد تفاوت معنی‌دار دیده شده است (شکل۱۰). بر اساس گزارش ها (۱۲ و ۱۸)، ساخت بیوچار در دمای کمتر از ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد سبب می‌شود بخش اعظم کلسیم و منیزیم در بیوچار باقی بماند. اما افزایش دمای پیرولیز بیش از ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد، سبب جدایی کلسیم و منیزیم از بیوچار می‌شود.

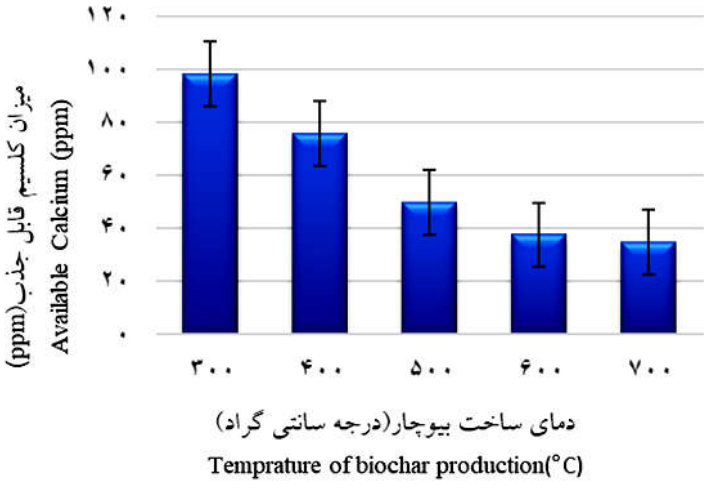
بیشترین و کمترین درصد سدیم بیوچارها در دماهای ۶۰۰ (۵۳٪) و ۴۰۰ (۲۷/۶۷٪) درجه سانتی‌گراد دیده شد. با افزایش دمای پیرولیز، درصد سدیم تبادلی در بیوچارهای تولید شده روند افزایشی یافت. با وجود اینکه میزان سدیم با افزایش دما رابطه مستقیم داشت، اما در بازه دمایی ۳۰۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد تفاوت معنی‌داری در میزان سدیم بیوچار دیده نشد. با این وجود، با افزایش دما در دماهای ۶۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد، میزان سدیم افزایش معنی‌داری یافت (شکل ۱۱). این مشاهده با نتایج سایر پژوهشگران (۱۳ و ۱۵) نیز همخوانی دارد. آنها گزارش کرده‌اند که با افزایش دمای پیرولیز، مقدار سدیم بیوچار افزایش یافت.



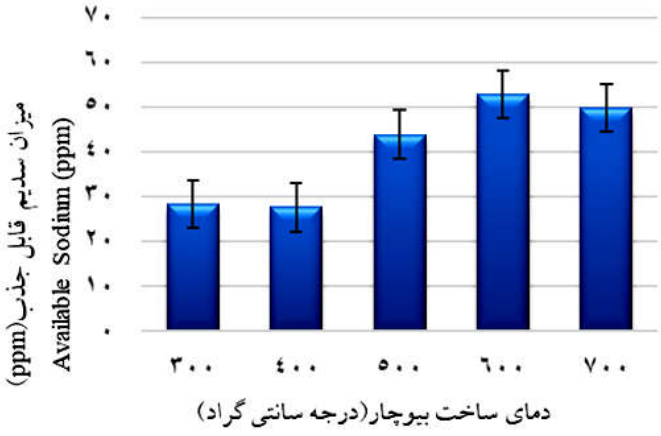
شکل۸. تأثیر دمای پیرولیز بر میزان نیتروژن کل بیوچار



شکل۹. تأثیر دمای پیرولیز بر میزان فسفر قابل‌جذب بیوچار



شکل۱۰. تأثیر دمای پیرولیز بر کلسیم قابل‌جذب بیوچار



شکل ۱۱. تأثیر دمای پیرولیز بر سدیم قابل‌جذب بیوچار

نتیجه‌گیری

عوامل مختلفی روی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچار اثر دارند. دامنه گسترده فرایند پیرولیز، سبب تشکیل بیوچارهایی می‌شود که از لحاظ ویژگی‌های مختلف مانند ترکیبات عنصری، درصد خاکستر، مواد فرار، ظرفیت نگهداشت آب، اسیدیته، قابلیت هدایت الکتریکی و عملکرد متفاوت هستند. به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد، دمای پیرولیز سبب تغییرات عمده‌ای در ویژگی‌های بیوچار می‌شود، به‌طوری که بیشترین عملکرد بیوچار (٪۵۹)، ظرفیت نگهداشت آب (٪۸۴/۰)، نیتروژن کل (٪۵۰/۰)، کربن آلی (٪۵۶/۳۳) ، نیتروژن کل (٪۵۰/۰) و کلسیم قابل‌جذب (ppm ۹۸/۳۳) در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌دست‌آمده است. این در حالی است که کمترین میزان خاکستر (٪۲۳) ، مواد فرار (٪۹۳/۰) ، pH (۷/۱۱) ، EC (ds/m ۰/۰۶) ، فسفر (ppm ۰/۲۴) و سدیم قابل‌جذب (ppm ۲۸/۳۳) در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد دیده شد. به‌طورکلی، بیوچار تولید شده در دمای کم از نظر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، شرایط مناسب تری نسبت به بیوچارهای تولیدی در دمای بالا دارد. استفاده از بیوچارهایی که از درصد ذخیره نگهداشت آب، درصد کربن و راندمان بیوچار بالاتری برخوردار هستند، در اصلاح خاک و بهبود شرایط گیاهان از اهمیت چشمگیری برخوردار هستند. هرچند تفاوت معنی داری بین بیوچار تولید شده در دمای ۳۰۰ و ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد وجود ندارد؛ اما با توجه عملکرد بیشتر بیوچار و اقتصادی‌تر بودن تولید بیوچار در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد از نظر مصرف انرژی، تولید بیوچار در این دما توصیه می‌شود.

پیشنهادهای پژوهشی

بررسی تأثیر بیوچار تولید شده از ضایعات چغندر علوفه‌ای بر گیاهان مرتعی، بیابانی و محصولات کشاورزی استان خراسان جنوبی.

بررسی تأثیر بیوچار ضایعات چغندر علوفه‌ای بر اصلاح خاک‌های استان خراسان جنوبی.

بررسی تأثیر بیوچار ضایعات چغندر علوفه‌ای بر میزان ترسیب کربن.

بررسی تأثیر بیوچار ضایعات چغندر علوفه‌ای بر کاهش میزان آبیاری گیاهان.

مقایسه خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی بیوچار و نانو بیوچار ضایعات چغندر علوفه‌ای.

منابع مورداستفاده

1. Adekanye, A., O. Dada and J. Kolapo. 2022. Pyrolysis of maize cob at different temperatures for biochar production: Proximate, ultimate and spectroscopic characterization. *Agricultural Engineering*. 68: 27-34.
2. Beheshti, M., H. Alikhani, B. Motsharazadeh and L. Mohammadi. 2016. Changes in the quality of biochar produced from cow manure during the slow pyrolysis process at different temperatures. *Iranian Journal of Water and Soil Research* 764: 1-759.
3. Champion, P., H. Pellet and M. Grenier. 1873. De la spectrombtrie; spectronatrometre. *Librairie Polytechnique de J. Baudry*. 76: 707-711.
4. Closton, N., A. W. Samsuri, M. N. Ahmad Husni and M. S. Mohd Amran. 2014. Effects of pyrolysis temperature on the physicochemical properties of empty fruit bunch and rice husk biochars. *Waste Management and Research*. 32 (4): 331-339.
5. Dorhani, F., M. Shayannejad, M. R. Mosaddeghi and H. Shariatmadari. 2019. The effect of temperature and composition of various raw materials on some physicochemical properties of biochar. 16th Iranian Soil Science Congrees. University of Zanjan. Zanjan. Iran
6. El-Naggar, A., A. H. El-Naggar, S. M. Shaheen, B. Sarkar, S. X. Chang, D. C. W. Tsang. J. Rinklebe and Y. Sik Ok. 2019. Biochar composition-dependent impacts on soil nutrient release, carbon mineralization, and potential environmental risk: a review. *Journal of Environmental Management*. 241: 458–467.
7. Enders, A. and J. Lehmann. 2017. Proximate analyses for characterising biochars. PP. 9-22. In B. Singh, M. CampsArbestain, and J. Lehmann (Eds), Biochar: A Guide to Analytical Methods, CRC Press, New York.
8. Fooladi Dorhani, M., M. Shayannejad, M. R. Mosaddeghi and H. Shariatmadari. 2019. The effect of temperature and composition of various raw materials on some physicochemical properties of biochar.16th Iranian Soil Science Congress.University of Zanjan,Iran. I.R. Iran
9. Hou, J., M. Li, M. Xuhui, Y. Hao, J. Ding, D. Liu, B. Xi and H. Liu. 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.
10. Huang, H., P. Chen. P. Wang. Y. Zhang. Y. Huang. P. Lin and A. Gary. 2021. Effects of pyrolysis temperature, feedstock type and compaction on water retention of biochar amended soil. *Scientific Reports* 11: 7419.
11. International Biochar Initiative. 2015. Standardized product definition and product testing guide-lines for biochar 6 that is used in soil. *International Biochar Initiative*. 23.
12. Jindo, H., Y. Mizumoto, M. A. Sawada, M. Sanchez and T. Sonoki. 2014. Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues. *Biogeosciences*. 11(23): 6613-6621.
13. Keskinen, R., J. Hyväluoma, L. Sohlo, H. Help and K. Rasa. 2019. Fertilizer and soil conditioner value of broiler manure biochars. *Biocha.* 1: 259–270.
14. Kjeldahl, J. 1883. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern (New method for the determination of nitrogen in organic substances*). Zeitschrift für analytische Chemie*. 22 (1): 366-383.
15. Karimi, M. 2021. Effect of Pyrolysis Temperature on Some Physicochemical Properties of Biochar Derived from Pruning Waste of Mature Pistachio Trees. *Iranian Journal of Soil Research*. *35*(3): 321-337.
16. Laghari, M., R. Naidu, B. Xiao, Z. Hu, M. S. Mirjat, M. Hu, M. N. Kandhro, Z. Chen, D. Gue, Q. Jogi, Z. N. Abudi and S. Fazal. 2016. Recent developments in biochar as an efective tool for agricultural soil management: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 96(15): 4840-4849
17. Liu, Z. and G. Han. 2015. Production of solid fuel biochar frome waste biomass by low temperature pyrolysis. *Fuel* .158: 159-165.
18. Li, L., A, Long, B. Fossum, M. Kaiser. 2023. Effects of pyrolysis temperature and feedstock type on biochar characteristics pertinent to soil carbon and soil health: A meta-analysis. *Journal Soil Use Manage*. 2023;39:43–52.
19. Mahmoodian Choplou, A., H. Niknahad Gharmakher and H. Yousefi. 2019. Production of biochar from pruned peach tree foliage and its quality characteristics at different temperatures. *Journal of Water and Soil Conservation*. 27(3): 105-124
20. Miri, F. and J. Zamani Babghari. 2020. Effect of temperature of slow pyrolysis process on some characteristics of biochar produced from pistachio harvest waste. *Journal of Agricultural Engineering Soil Science and Agricultural Mechanization,(Scientific Journal of Agriculture)*. 43(1): 87-101.
21. Mirzashahi, K. and K. Bazargan. 2015. Soil organic matter management. *Technical Journal*. (535).
22. Olsen S.R., C. V. Cole, F. S. Watanabe and C. A. Dean. 1954. Estimation of available phosphorous in soils by extraction with sodium bicarbonate. U. S. Department of Agricultur Circular, Colorado.
23. Shinogi, Y. and Y. Kanri. 2003. Pyrolysis of plant, animal and human waste: physical and chemical characterization of the pyrolysis products. *Bioresource Technology*. 90: 241-247.

24. Singh, B., M. M. Dolk, Q. Shen and M. Camps-Arbestain. 2017. Biochar PH, electrical conductivity and liming potential. *Biochar: A guide to analytical methods*. 23.
25. Somparn, W., N. Panyoyai, T. Khamdaeng, N. Tippayawong, S. Tantikul and T. Wongsiriamnuay. 2020. *Journal Earth and Environmental Science.* 463 : 012005.
26. Song, W. and M. Guo. 2012. Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 94: 138-145.
27. Tomczyk, A., Z. Sokolowska and P. Boguta. 2020. Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind efects. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*. 19:191–215.
28. Uchimiya, T. and Z. He. Ohno. 2013. Pyrolysis temperature dependent release of dissolved organic carbon from plant, manure, and biorefinery wastes. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 104: 84-94.
29. Walker, S., J. Kumar, and B. Biswas. 2019. Assessment of different indices (vegetation, salinity) and salt effected area trend analysis using shannon entropy approach–a case study in a semi-arid region of india using rs/gis. *Plant Arch*. 19: 3457-3466.
30. Walkley, A. and L. A. Black. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37:29–37.
31. Zakeri Zarch, M. 2018. Investigating the impact of remedial operations on vegetation and soil in arid and semi-arid areas (case study of Ashkazar city). Master thesis, Yazd University, Yazd, I.R. Iran.
32. Zhang, Z., Z. Zhu, B. Shen and L. Liu. 2019. Insights into biochar and hydrochar production and applications: *a* review. *Energy*. 171: 581–589.
33. Zolfi Bavariani, M., A. Ronaghi, N. Karimian, R. Ghasemi and J. Yathrabi. 2016. The effect of biochar prepared from chicken manure at different temperatures on the chemical characteristics of a calcareous soil. *Journal of Water and Soil Science*. 20(75).

Journal of Water and Soil Science
Vol. 27, No. 4, Winter 2024, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

The Effect of Pyrolysis Temperature on the Characteristics of Fodder Beet Biochar

R. Hosseinpour[1]*, H. R. Asgari[1], H. Nikanhad Qermakher[2], E. Malekzadeh[3] and M. K. Kianian[4]

(Received: March 26-2023 ; Accepted: October 7-2023)

Abstract

The soils of desert areas are mostly low in organic matter and may fluctuate greatly in terms of acidity. Biochars are one of the materials used to improve and modify some soil characteristics. This compound is very resistant to decomposition and remains in the soil for a longer period, reducing agricultural waste and turning it into a soil conditioner. This leads to keeping carbon in the soil, increasing food security, increasing biodiversity, and reducing deforestation. In this research, an attempt was made to investigate the biochar of fodder beet plant waste produced at different pyrolysis temperatures and its physical and chemical characteristics. For this purpose, fodder beet wastes were collected from settlements around Birjand and after being crushed and air-dried, they were pyrolyzed in an electric furnace under limited oxygen conditions at a temperature range of 300-700 degrees Celsius. Then, the characteristics of the produced biochars were performed with 3 repetitions of measurements and statistical analyses with SPSS software. The results of this research showed that the characteristics of biochars changed significantly with temperature change. The highest yield percentage (59%), organic carbon (56.33%), total nitrogen (0.53%), water retention (0.84g/g) at 300 and 400 degrees Celsius, and the highest amount of ash (% 76), acidity (8.21) and electrical conductivity (0.1ds/cm) was obtained at a temperature of 700 degrees Celsius. The percentage of carbon and the efficiency of biochar produced at temperatures of 300 and 400 degrees Celsius were higher than other biochar produced at other temperatures. Biochar produced at 300°C has better characteristics in terms of carbon percentage and acidity efficiency compared to biochar produced at 400°C. Although these differences were not statistically significant, due to biochar production being more economical in terms of energy consumption, it is recommended to produce biochar at a temperature of 300 degrees Celsius.

Keywords: Biochar, Fodder beet, Pyrolysis temperature

1. Department of Watershed Management and Management of Desert Areas, Faculty of Rangeland and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
2. Department of Pasture Management, Faculty of Pasture and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
3. Department of Soil Science Engineering, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
4. Department of Desertification Training, Faculty of Desertology, Semnan University, Semnan, Iran.
*: Corresponding author, Email: raziyeh.hosseinpour@gmail.com