



19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۴۰۴ شهریور ۲۷ تا ۲۵



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



اثر باگاس نیشکر، بیوچار و بیوچارهای اصلاح شده حاصل از آن بر برخی ویژگی‌های شیمیایی

یک خاک لوم‌شنی

آزاده احمدی^{۱*}، سید علی اکبر موسوی^۲، معصومه سرمست^۳، جهانشیر محمدزاده هابیلی^۴، عارف نوروزی^۵

*۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

(azadehahmadiiii@yahoo.com)

۲- استاد بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران (aamousavi@gmail.com)

۳- استادیار بخش علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز،

ایران (masoomeh.sarmast@saadi.shirazu.ac.ir)

۴- دانشیار بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران (j.mohammadzadeh@shirazu.ac.ir)

۵- دانشجوی کارشناسی ارشد بخش ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز،

ایران (aref.nowroozi2@gmail.com)

چکیده

مواد آلی خاک اثرات قابل توجهی بر ویژگی‌های فیزیکی، هیدرولیکی، شیمیایی و زیستی خاک دارند. از آنجایی که، بیش‌تر خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران کم‌تر از یک درصد ماده آلی دارند؛ استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی ارزان قیمت نظیر بیوچار توصیه می‌شود. با توجه به این که تاکنون پژوهشی در ارتباط با بررسی اثر باگاس نیشکر، بیوچار و به‌ویژه بیوچارهای اصلاح‌شده حاصل از آن بر ویژگی‌های شیمیایی خاک انجام نشده‌است؛ لذا، این پژوهش با هدف بررسی اثر این اصلاح‌کننده‌ها بر برخی ویژگی‌های شیمیایی یک خاک لوم‌شنی انجام شد. در این پژوهش اثر باگاس نیشکر، بیوچار حاصل از آن و بیوچارهای اصلاح‌شده سولفاتی و نیتراتی در سطح ۳ درصد بر قابلیت هدایت الکتریکی، پهاش، ماده آلی، پتاسیم، کلسیم و منیزیم محلول خاک بررسی شد. نتایج نشان داد کاربرد باگاس، بیوچار و بیوچار اصلاح‌شده نیتراتی و سولفاتی در مقایسه با شاهد بر قابلیت هدایت الکتریکی خاک و پهاش خاک اثر معنی‌داری نداشتند. همچنین، نتایج حاکی از این بود که کاربرد باگاس، بیوچار و بیوچارهای اصلاح‌شده نیتراتی و سولفاتی به ترتیب سبب افزایش معنی‌دار پتاسیم خاک به میزان ۴/۲۸، ۷/۹۰ و ۷/۹۸ برابری در مقایسه با شاهد شد. همچنین، نتایج مقایسه ۲/۸۳، ۱/۹۵، ۱/۸۶ و ۱/۶۶ برابری در مقایسه با شاهد شدند. کاربرد بیوچار، بیوچارهای اصلاح‌شده سولفاتی و نیتراتی به ترتیب سبب افزایش معنی‌دار پتاسیم خاک به میزان ۴/۲۸، ۷/۹۰ و ۷/۹۸ برابری در مقایسه با شاهد شد. همچنین، نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد بیوچار اصلاح‌شده سولفاتی سبب افزایش معنی‌دار کلسیم محلول خاک به میزان ۲/۳۷ برابری در مقایسه با شاهد و کاربرد بیوچار اصلاح‌شده سولفاتی سبب افزایش معنی‌دار منیزیم خاک به میزان ۱/۵۷ برابری در مقایسه با شاهد شد. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد مواد آلی مختلف می‌تواند اثرات متفاوتی بر ویژگی‌های شیمیایی خاک داشته باشد.

واژگان کلیدی: بیوچار اصلاح‌شده سولفاتی، بیوچار اصلاح‌شده نیتراتی، منیزیم، پتاسیم، ماده آلی

مقدمه

آب‌وهوای ایران به استثناء نواحی غربی و نواحی ساحلی شمالی، عمدتاً خشک و نیمه‌خشک است (Fallah et al., 2017). همچنین، بر اساس پیش‌بینی‌ها در دهه‌های آینده با افزایش ۲/۶ درجه سلسیوس در میانگین دما و کاهش ۳۵ درصدی بارندگی مواجه خواهد شد (NCCOI, 2014). بخش عظیمی از قسمت‌های مرکزی ایران را اراضی بیابانی تشکیل داده که معمولاً فاقد پوشش گیاهی یا دارای پوشش گیاهی ضعیف هستند (فلاح‌زاده و حاج‌عباسی، ۱۳۹۰). عدم وجود پوشش گیاهی کافی و مناسب در این اقلیم‌ها سبب کاهش بازگشت بقایای گیاهی به خاک و در نتیجه کاهش ماده آلی خاک می‌شود (Tate, 2000). بنابراین، بیش‌تر خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران کم‌تر از یک درصد ماده آلی دارند (اصغری، ۱۳۹۰). مواد آلی از اجزاء اصلی خاک هستند که اثرات قابل توجهی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک دارند. کمبود مواد آلی و قلیایی بودن خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه‌خشک از مهم‌ترین دلایل کم بودن قابلیت جذب برخی از عناصر غذایی برای گیاه در این خاک‌ها می‌باشند (حسن‌پور و همکاران، ۱۴۰۰). یکی از شیوه‌های مدیریتی برای افزایش ماده آلی و کاهش محدودیت خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی ارزان قیمت می‌باشد (تاجیک، ۱۳۸۳).

باگاس، بقایای خرد شده نیشکر پس از استخراج شربت است (Moradi-Choghamarani et al., 2019a, 2019b). باگاس از نظر فیزیکی شبیه به کاه و کلش ولی خشبی‌تر و ضخیم‌تر و دارای نسبت کربن به ازت حدود ۱۵۰ می‌باشد (بهنام و همکاران، ۱۳۹۵). بیوچار یک ماده جامد سلولزی متخلخل و پایدار غنی از کربن است. این ماده با تجزیه حرارتی مواد آلی (زیست‌توده‌های گیاهی و حیوانی) تحت شرایط بدون اکسیژن یا فشار کم اکسیژن و در دمای پایین (۵۰۰ درجه سلسیوس) یا بالا (۵۰۰ تا ۷۰۰ درجه سلسیوس) تولید می‌شود (Moradi-Choghamarani et al., 2019a, 2019b). بیوچار در درجه اول از حلقه آروماتیک کربنی تک و فشرده تشکیل شده است که با توجه به سطح ویژه و چگالی بار زیاد آن در مقایسه با مواد آلی، ظرفیت بیش‌تری برای جذب کاتیون‌ها دارد (Sombroek et al., 2003). بیوچار به‌علت وجود عناصر قلیایی (مانند کلسیم و منیزیم)، پهاش خنثی تا قلیایی دارد که به نوع ماده آلی و شرایط گرماکافت بستگی دارد (عظیم‌زاده و نجفی، ۱۳۹۵). فراهمی عناصر غذایی بر اثر افزودن بیوچار به خاک، می‌تواند از طریق تغییر پهاش خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و یا اضافه شدن مستقیم عنصر از بیوچار به خاک افزایش یابد. در واقع بیوچار می‌تواند منبعی برای عناصر پتاسیم، کلسیم، فسفر، روی و مس باشد (Lehmann et al., 2003). برای بهبود اثر بیوچار در اصلاح خاک‌ها، روش تهیه بیوچار اصلاح‌شده با عناصر مختلف به تدریج به یک موضوع پژوهشی تبدیل شده‌است. در حال حاضر، روش‌های اصلی آماده‌سازی بیوچار اصلاح‌شده شامل روش‌های اشباع و سنتز درجا می‌باشند. در روش اشباع، بیوچار در محلولی حاوی یک اصلاح‌کننده با عناصر هدف خیسانده می‌شود و در دمای بالا در مدت زمان محدود اصلاح انجام می‌شود. از طریق این فناوری می‌توان بیوچارهای اصلاح‌شده مختلفی تهیه کرد. در روش سنتز درجا، ماده اصلاح‌کننده هدف مستقیماً به ماده خام اضافه می‌شود و به دنبال آن تجزیه در اثر حرارت، رسوب شیمیایی و فعال‌سازی برای به‌دست آوردن بیوچار اصلاح‌شده انجام می‌شود (Liang et al., 2021). انجام این دو روش اصلاح، آسان و هزینه آماده‌سازی آن‌ها کم (Gupta & Kua, 2020) است و اصلاح‌کننده‌ها به راحتی در فرآیند کربنی شدن، تجزیه و در نتیجه از آلودگی ثانویه جلوگیری می‌کنند (Su et al., 2020).

محققین در پژوهشی با بررسی تعیین ترکیب آلی شیمیایی بیوچار مشتق شده از باگاس نیشکر در دماهای ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس، مشاهده کردند که با افزایش دمای گرماکافت نسبت مولی O/C، N/C و H/C کاهش یافت. بنابراین، آنان بیان کردند اگر هدف از کاربرد بیوچار بهبود ویژگی‌های شیمیایی خاک در زمین‌های کشاورزی است، بهتر است از بیوچارهای مشتق شده از باگاس نیشکر تولید شده در دمای پیرولیز پایین استفاده کرد. بیوچارهای تولید شده در دمای بالا با مواد کربنی بیش‌تر، بهتر است برای افزایش جذب کربن و آلاینده‌ها استفاده شوند (Moradi-Choghamarani et al., 2019a). پژوهش دیگری با هدف بررسی اثر چهار سطح شوری آب آبیاری و بیوچار حاصل از کاه و کلش گندم بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک لوم شنی پس از برداشت گندم انجام شد. نتایج نشان داد که غلظت سدیم، پتاسیم و کلسیم، قابلیت هدایت الکتریکی و نسبت جذبی سدیم در لایه صفر تا ۱۰ سانتی‌متری با اعمال بیش‌ترین سطح بیوچار و بیش‌ترین سطح شوری نسبت به شاهد افزایش معنی‌دار داشته‌است (رضایی و همکاران، ۱۳۹۷). در پژوهشی دیگر، چینتالا و همکاران (۲۰۱۴) گزارش کردند که افزودن بیوچار تولید شده از علوفه ذرت به خاک اسیدی، باعث افزایش پهاش خاک شد؛ در

حالی که بر قابلیت هدایت الکتریکی خاک اثر معنی‌داری نداشت (Chintala et al., 2013a). عباس‌پور و همکاران (۱۳۹۷) با بررسی تأثیر بیوچار بر برخی ویژگی‌های خاک، عملکرد دانه، درصد روغن و اسیدهای چرب سیاه‌دانه، نتیجه گرفتند که پ‌هاش خاک تحت تأثیر آبیاری و بیوچار قرار نگرفت، اما کاربرد ۲۱ تن در هکتار بیوچار میزان کربن آلی خاک را در مقایسه با شاهد ۱۸/۱ درصد افزایش داد. در مقابل تیمار ۱۰ تن در هکتار بیوچار اختلاف معنی‌داری با شاهد نداشت (عباس‌پور و همکاران، ۱۳۹۷). دیوبند هفشجانی و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی با بررسی اثر باگاس نیشکر بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک، نتیجه گرفتند که افزودن بیوچار باگاس نیشکر در تمامی سطوح، باعث افزایش معنی‌دار کربن آلی، ازت کل، فسفر قابل جذب، ظرفیت تبادل آنیونی، قابلیت هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و کاهش معنی‌دار پ‌هاش خاک شده‌است (دیوبند هفشجانی و همکاران، ۱۳۹۴). کریمی و همکاران (۱۳۹۸) نیز با بررسی دو فاکتور نوع و سطح کاربرد بیوچار نتیجه گرفتند که کاربرد هر سه نوع بیوچار (تهیه شده در دمای ۲۰۰، ۳۵۰ و ۵۰۰ درجه سلسیوس) سبب افزایش معنی‌دار ظرفیت تبادل کاتیونی، منگنز، پتاسیم، غلظت قابل استفاده فسفر و کربن آلی شد (کریمی و همکاران، ۱۳۹۸). در پژوهشی حسن‌پور و همکاران (۱۴۰۰) با بررسی دو نوع بیوچار در سه سطح در دو نوع خاک با بافت لوم شنی و لوم رسی در دو زمان انکوباسیون یک و شش ماه نتیجه گرفتند که کاربرد بیوچار باعث کاهش اندک پ‌هاش خاک و افزایش قابلیت هدایت الکتریکی خاک شد. هم‌چنین، آنان گزارش کردند که میزان کربن آلی، نیتروژن کل و غلظت منگنز قابل جذب خاک در همه تیمارها و غلظت فسفر، پتاسیم، آهن، روی و مس قابل جذب خاک در اکثر تیمارها افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داده‌است.

مواد آلی خاک اثرات قابل توجهی بر ویژگی‌های فیزیکی، هیدرولیکی، شیمیایی و زیستی خاک دارند. از آنجایی که بیش‌تر خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران کم‌تر از یک درصد ماده آلی دارند، استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی ارزان قیمتی نظیر بیوچار توصیه می‌شود. بیوچارها با توجه به ماده اولیه، روش گرماکافت و روش اصلاح اثرات مختلفی دارند. از آنجایی که اثرات بیوچارهای اصلاح‌شده حاصل از باگاس بر ویژگی‌های شیمیایی خاک در مقایسه با اثرات بیوچار و باگاس تاکنون بررسی نشده‌است، این پژوهش با هدف بررسی مقایسه اثرات باگاس نیشکر، بیوچار و بیوچارهای اصلاح‌شده نیتراتی و سولفاتی حاصل از آن بر برخی ویژگی‌های شیمیایی (پ‌هاش، ماده آلی، قابلیت هدایت الکتریکی، غلظت عناصر پتاسیم، سدیم، کلسیم و منیزیم محلول) انجام شد.

مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش مقدار کافی خاک مورد نیاز از مجاورت روستای شیخ‌عبود واقع در شهرستان بیضا (ارتفاع ۱۵۹۴ متر از سطح دریای آزاد و در موقعیت عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی) در ۴۵ کیلومتری شیراز برداشته شد. نمونه خاک پس از هوا خشک‌شدن از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. باگاس نیشکر از کارخانه کشت و صنعت نیشکر امام خمینی (ره) خوزستان در ایران (در موقعیت طول جغرافیایی ۴۹ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه شمالی) تهیه شد. این باگاس پس از تهیه، هوا خشک، آسیاب و از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. بیوچار مورد استفاده از باگاس نیشکر خشک شده در هوا، درون کوره الکتریکی با روش متداول گرماکافت آهسته در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس و در جعبه‌های آلومینیومی در شرایط اکسیژن محدود، با نرخ گرمایش ثابت ۱۰ درجه سلسیوس در دقیقه و زمان ماند ۴ ساعت (Ahiduzzaman & Sadrul Islam, 2016; Moradi-Choghamarani et al., 2019a, 2019b) تهیه شد. متعاقباً، کوره خاموش و بیوچار تهیه شده خنک شد تا اکسیداسیون سریع منجر به یک محصول همگن‌تر شود و احتراق خودکار کاهش یابد (Rajkovich et al., 2012; Moradi-Choghamarani et al., 2019a, 2019b). در روش اول برای تهیه بیوچار اصلاح‌شده، ۱۲/۴۳۲ گرم از بیوچار (BC) تهیه شده به مدت ۴۸ ساعت در ۴۰ میلی‌لیتر از محلول حاوی ۰/۰۶ مولار نیترات آهن (Fe(NO₃)₃) و ۰/۲۴ مولار پرمنگنات پتاسیم (KMnO₄) خیسانده و متعاقباً به مدت ۳۰ دقیقه در کوره در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس برای رسیدن به بیوچار اصلاح‌شده (با نسبت وزنی ۱:۴:۲۴ از BC:KMnO₄:Fe(NO₃)₃) گرماکافت شد. هم‌چنین، برای تهیه بیوچار اصلاح‌شده با روش دوم، ۱۲/۴۳۲ گرم از بیوچار تهیه شده در ۴۰ میلی‌لیتر محلول ۰/۱۸ مولار FeSO₄ و ۰/۰۶ مولار KMnO₄ به مدت ۴۸ ساعت خیسانده و متعاقباً به مدت ۳۰ دقیقه در کوره در دمای ۶۰۰ درجه

سلسیوس برای رسیدن به بیوچار اصلاح شده (با نسبت وزنی ۱۸:۱:۳ از BC:KMnO₄:FeSO₄ گرماکافت شد (Lin et al., 2019a, 2019b; Lin et al., 2020).

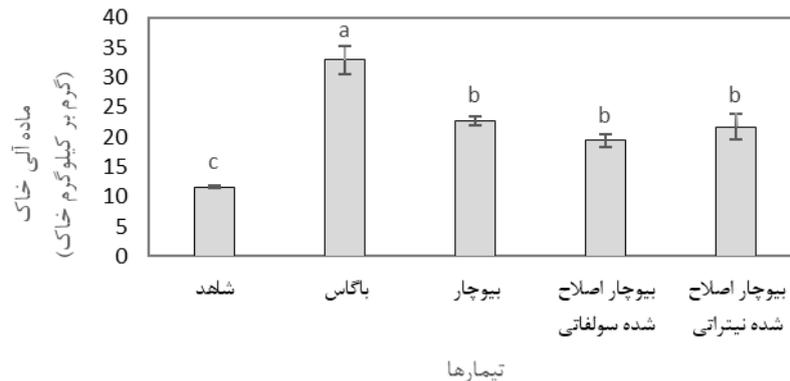
برای اندازه‌گیری ویژگی‌های شیمیایی خاک، مقدار لازم از هر نمونه خاک (۵۰۰ گرم برای ظرف‌های شاهد و ۴۸۵ گرم برای سایر ظرف‌ها) درون ظرف‌های پلاستیکی با مقدار مورد نیاز از تیمارها (۱۵ گرم) مخلوط و کاملاً به هم زده شدند و در نهایت به ظروف آلومینیمی منتقل و به اندازه رطوبت ظرفیت مزرعه آبیاری شدند. پس از طی شدن مدت یک ماه، پهاش در گل اشباع با استفاده از پهاش‌متر (Thomas, 1996)، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) در عصاره اشباع با هدایت‌سنج الکتریکی (Rhoades, 1996)، ماده آلی به روش خشک‌سوزانی (Mozaffari et al., 2023)، پتاسیم محلول با روش شعله‌سنجی (Helmke & Sparks, 1996) و کلسیم و منیزیم محلول به روش تیتراسیون با ای. دی. تی. ا. (Staff, 1954) اندازه‌گیری شدند. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزارهای Excel و SAS و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون چند دامنه‌ای توکی در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد باگاس، بیوچار و بیوچار اصلاح شده نیتراتی و سولفاتی در مقایسه با شاهد بر پهاش خاک اثر معنی‌داری نداشتند. این نتیجه با یافته‌های عباس‌پور و همکاران (۱۳۹۷) که گزارش کردند، پهاش خاک تحت تأثیر آبیاری و بیوچار قرار نگرفت، هم‌خوانی دارد. همچنین، نتایج نشان داد که بین تیمار باگاس نیشکر، بیوچار و بیوچار اصلاح شده نیتراتی تفاوت معنی‌داری وجود دارد. تیمار بیوچار و بیوچار اصلاح شده نیتراتی سبب افزایش معنی‌دار پهاش خاک نسبت به تیمار باگاس شده است. لازم به ذکر است که دیوبند هفشجانی و همکاران (۱۳۹۴) گزارش کردند که افزودن بیوچار باگاس نیشکر در تمامی سطوح، باعث کاهش معنی‌دار پهاش خاک شده است. آنان عنوان نمودند، دلیل این موضوع می‌تواند اسیدی بودن بیوچار که تابعی از ماده تشکیل‌دهنده آن (در این پژوهش باگاس نیشکر)، شرایط گرماکافت و فعال‌سازی آن است، باشد. در واقع حضور گروه‌های عاملی با بار منفی روی سطح بیوچار (بار سطحی بیوچار) با اثر بر پهاش خاک سبب کاهش آن می‌شود (Chintala et al., 2014b).

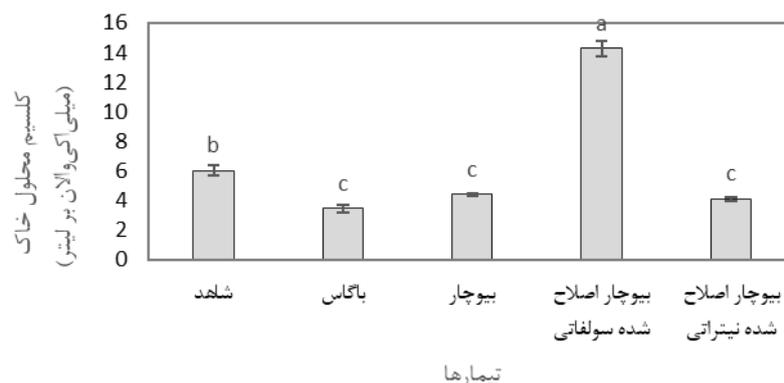
نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد باگاس، بیوچار و بیوچار اصلاح شده نیتراتی و سولفاتی در مقایسه با شاهد بر قابلیت هدایت الکتریکی خاک اثر معنی‌داری نداشتند که با یافته‌های Chintala و همکاران (۲۰۱۴) که گزارش کردند افزودن بیوچار تولید شده از علوفه ذرت به خاک اسیدی، اثر معنی‌داری بر قابلیت هدایت الکتریکی خاک نداشت، هم‌خوانی دارد. همچنین، نتایج نشان داد که بین تیمار باگاس نیشکر، بیوچار و بیوچار اصلاح شده نیتراتی تفاوت معنی‌داری وجود دارد. تیمار بیوچار و بیوچار اصلاح شده نیتراتی سبب افزایش معنی‌دار قابلیت هدایت الکتریکی نسبت به تیمار باگاس شده است.

اثر تیمارهای باگاس نیشکر، بیوچار و بیوچارهای اصلاح شده حاصل از آن بر میانگین ماده آلی خاک مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد باگاس، بیوچار و بیوچارهای اصلاح شده نیتراتی و سولفاتی به ترتیب سبب افزایش معنی‌دار ماده آلی خاک به میزان ۲/۸۳، ۱/۹۵، ۱/۸۶ و ۱/۶۶ برابری در مقایسه با شاهد شدند. این نتیجه با یافته‌های عباس‌پور و همکاران (۱۳۹۷) که گزارش کردند کاربرد ۲۱ تن در هکتار بیوچار میزان کربن آلی خاک را در مقایسه با شاهد ۱۸/۱ درصد افزایش داد، با یافته‌های کریمی و همکاران (۱۳۹۸) که گزارش کردند، کاربرد هر سه نوع بیوچار (تهیه شده در دمای ۲۰۰، ۳۵۰ و ۵۰۰ درجه سلسیوس) سبب افزایش معنی‌دار کربن آلی شد و نیز با یافته‌های حسن‌پور و همکاران (۱۴۰۰) که گزارش کردند، کاربرد بیوچار باعث افزایش معنی‌دار میزان کربن آلی در اکثر تیمارها نسبت به شاهد شد، هم‌خوانی دارد. همچنین، نتایج نشان داد که هر چند بین تیمار باگاس نیشکر، بیوچار و بیوچار اصلاح شده نیتراتی تفاوت معنی‌داری وجود دارد، اما بین تیمارهای بیوچار و بیوچارهای اصلاح شده سولفاتی و نیتراتی تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (شکل ۱).



شکل ۱- اثر تیمارهای باگاس نیشکر، بیوچار و بیوچارهای اصلاح شده حاصل از آن بر ماده آلی خاک لوم شنی مورد مطالعه

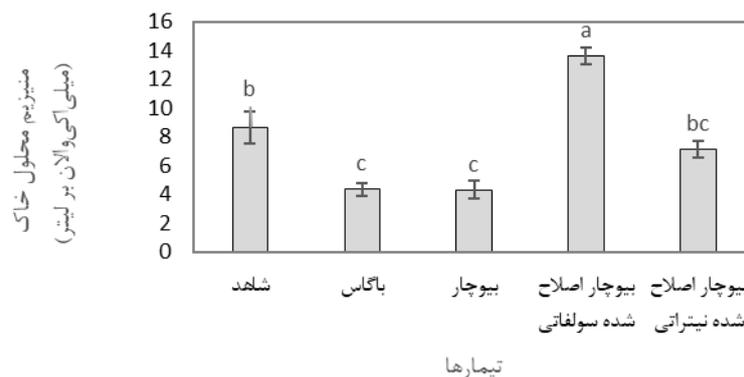
اثر تیمارهای باگاس نیشکر، بیوچار و بیوچارهای اصلاح شده حاصل از آن بر میانگین کلسیم محلول خاک مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد بیوچار اصلاح شده سولفاتی سبب افزایش معنی‌دار کلسیم محلول خاک به میزان ۲/۳۷ برابری در مقایسه با شاهد شد. دلیل این امر می‌تواند این باشد که بیوچار اصلاح شده سولفاتی با کاهش پهایش خاک باعث حلالیت بیشتر کربنات کلسیم موجود در خاک و در نتیجه افزایش غلظت کلسیم محلول می‌شود. نتایج با یافته‌های رضایی و همکاران (۱۴۰۱) که بیان کردند افزودن ۷۵ مگاگرم در هکتار بیوچار کاه و کلسیم گندم سبب افزایش معنی‌دار ۲/۲ برابری کلسیم خاک در مقایسه با شاهد شد، هم‌خوانی دارد. همچنین، نتایج نشان داد که کاربرد باگاس، بیوچار و بیوچار اصلاح شده نیتراتی به ترتیب سبب کاهش معنی‌دار کلسیم محلول خاک به میزان ۴۲/۲۲، ۲۶/۶۶ و ۳۱/۱۱ درصد در مقایسه با شاهد شدند. هر چند که بین تیمارهای باگاس، بیوچار و بیوچار اصلاح شده نیتراتی تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (شکل ۲). نتایج با یافته‌های اینال و همکاران (۲۰۱۵) که گزارش کردند غلظت کلسیم محلول خاک با افزودن ۲۰ گرم بر کیلوگرم بیوچار کود مرعی کاهش یافت، هم‌خوانی دارد (Inal et al., 2015).



شکل ۲- اثر تیمارهای باگاس نیشکر، بیوچار و بیوچارهای اصلاح شده حاصل از آن بر کلسیم خاک لوم شنی مورد مطالعه

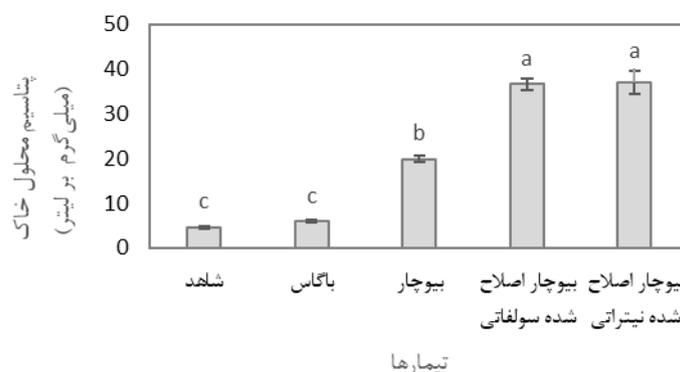
اثر تیمارهای باگاس نیشکر، بیوچار و بیوچارهای اصلاح شده حاصل از آن بر میانگین منیزیم محلول خاک مورد مطالعه در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد بیوچار اصلاح شده سولفاتی سبب افزایش معنی‌دار منیزیم خاک به میزان ۱/۵۷ برابری در مقایسه با شاهد شد. همچنین، نتایج نشان داد که کاربرد باگاس و بیوچار به ترتیب سبب کاهش معنی‌دار منیزیم خاک به میزان ۵۰ و ۴۹/۶ درصدی در مقایسه با شاهد شدند. هر چند که بین تیمارهای باگاس،

بیوچار و بیوچار اصلاح شده نیترا تی و بین تیمار بیوچار اصلاح شده نیترا تی و شاهد تفاوت معنی داری وجود ندارد (شکل ۳). این نتایج با یافته‌های گویلی و همکاران (۲۰۱۹) که گزارش کردند کاربرد ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ تن در هکتار بیوچار کود گاوی، غلظت منیزیم محلول را به‌طور قابل توجهی نسبت به شاهد افزایش داد، اما افزودن ۱۰۰ تن در هکتار بیوچار کود گاوی با رطوبت کم‌تر از ۷۰ درصد ظرفیت نگهداشت آب، غلظت منیزیم محلول خاک را به‌طور معنی داری کاهش داد، هم‌خوانی دارد. این موضوع می‌تواند به این دلیل باشد که فلزات قلیایی مانند کلسیم و منیزیم محلول قادر به جذب توسط بیوچار هستند و فعالیت آن‌ها در محلول کاهش می‌یابد (Gavili et al., 2019).



شکل ۳- اثر تیمارهای باگاس نیشکر، بیوچار و بیوچارهای اصلاح شده حاصل از آن بر منیزیم خاک لوم شنی مورد مطالعه

اثر تیمارهای باگاس نیشکر، بیوچار و بیوچارهای اصلاح شده حاصل از آن بر میانگین پتاسیم خاک مورد مطالعه در شکل ۴ نشان داده شده است. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد بیوچار، بیوچارهای اصلاح شده سولفات و نیترا تی به ترتیب سبب افزایش معنی دار پتاسیم خاک به میزان ۴/۲۸، ۷/۹۰ و ۷/۹۸ برابری در مقایسه با شاهد شد. این نتایج با یافته‌های رضایی و همکاران (۱۴۰۱) که بیان کردند اعمال ۷۵ مگاگرم در هکتار بیوچار کاه و گلش گندم سبب افزایش معنی دار ۱۴۳/۸ برابری پتاسیم خاک در مقایسه با شاهد شد و یافته‌های کریمی و همکاران (۱۳۹۸) که گزارش کردند کاربرد هر سه نوع بیوچار (تهیه شده در دمای ۲۰۰، ۳۵۰ و ۵۰۰ درجه سلسیوس) سبب افزایش معنی دار پتاسیم خاک شد، هم‌خوانی دارد. هم‌چنین، نتایج نشان داد که بین تیمار باگاس نیشکر و شاهد از نظر آماری تفاوت معنی داری وجود نداشت (شکل ۴).



شکل ۴- اثر تیمارهای باگاس نیشکر، بیوچار و بیوچارهای اصلاح شده حاصل از آن بر پتاسیم خاک لوم شنی مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

کاربرد باگاس، بیوچار و بیوچار اصلاح‌شده نیتراتی و سولفات‌ی در مقایسه با شاهد اثر معنی‌داری بر قابلیت هدایت الکتریکی و پهاش خاک نداشتند. اما، بین تیمار باگاس نیشکر، بیوچار و بیوچار اصلاح‌شده نیتراتی تفاوت معنی‌داری وجود داشت. در واقع تیمار باگاس باعث کاهش معنی‌دار قابلیت هدایت الکتریکی و پهاش خاک نسبت به تیمار بیوچار و بیوچار اصلاح‌شده نیتراتی شد. کاربرد باگاس، بیوچار و بیوچارهای اصلاح‌شده نیتراتی و سولفات‌ی سبب افزایش معنی‌دار ماده آلی خاک در مقایسه با شاهد شدند. کاربرد بیوچار اصلاح‌شده سولفات‌ی سبب افزایش معنی‌دار کلسیم و منیزیم خاک در مقایسه با شاهد شد. در حالی‌که کاربرد باگاس، بیوچار و بیوچار اصلاح‌شده نیتراتی سبب کاهش معنی‌دار کلسیم خاک در مقایسه با شاهد شدند. کاربرد باگاس و بیوچار سبب کاهش معنی‌دار منیزیم خاک در مقایسه با شاهد شدند. کاربرد بیوچار و بیوچارهای اصلاح‌شده سولفات‌ی و نیتراتی سبب افزایش معنی‌دار پتاسیم خاک در مقایسه با شاهد شدند. در حالی‌که بین تیمار باگاس نیشکر و شاهد از نظر آماری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. کاربرد باگاس، بیوچار و بیوچارهای اصلاح‌شده سولفات‌ی و نیتراتی اثر معنی‌داری بر سدیم خاک نسبت به شاهد نداشتند.

فهرست منابع

- اصغری، ش. (۱۳۹۰). اثرات لجن فاضلاب پتروشیمی تبریز بر کربن آلی، شاخص‌های پایداری خاکدانه و حدود پایایی یک خاک منطقه نیمه‌خشک. آب و خاک، ۲۵(۳)، ۵۳۹-۵۳۰.
- بهنام، ه.، فرخیان فیروزی، ا.، و معزی، ع. (۱۳۹۵). تاثیر بیوچار و کمپوست باگاس نیشکر بر برخی ویژگی‌های مکانیکی خاک. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۳(۴)، ۲۳۵-۲۵۰.
- تاجیک، ف. (۱۳۸۳). ارزیابی پایداری خاکدانه‌ها در برخی مناطق ایران. نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۱(۱)، ۱۰۷-۱۲۳.
- حسن‌پور، ا.، شیروانی، م.، حاج‌عباس، م.، ع.، مجیدی، م.م. (۱۴۰۱). تأثیر بیوچارهای اسیدی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی و قابلیت جذب عناصر غذایی خاک‌های آهکی. نشریه علوم آب و خاک، ۲۶(۲)، ۳۹-۵۹.
- دیوبند هفشجانی، ل.، ناصری، ع.، هوشمند، ع.، عباسی، ف.، و سلطانی محمدی، ا. (۱۳۹۵). بررسی تاثیر کاربرد بیوچار باگاس نیشکر بر خصوصیات شیمیایی یک خاک لوم شنی. علوم و مهندسی آبیاری، ۴۰(۱)، ۶۳-۷۲.
- رضایی، ن.، رزاقی، ف.، سپاس‌خواه، ع.، و موسوی، ع.ا. (۱۳۹۷). اثر بیوچار و شوری آب آبیاری بر ویژگی‌های شیمیایی خاک پس از برداشت گندم. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۵(۴)، ۲۹۱-۳۰۵.
- عظیم زاده، ی.، نجفی، ن. (۱۳۹۵). اثر بیوچار بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک. مدیریت اراضی، ۴(۲)، ۱۶۱-۱۷۳.
- فلاح زاده، ج.، و حاج‌عباسی، م. (۱۳۹۰). توزیع کربن آلی، نیتروژن و کربوهیدرات‌ها در خاک دانه‌های اراضی بیابانی و کشاورزی مرکز ایران. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵(۳)، ۵۱۸-۵۲۹.
- کریمی، ا.، معزی، ع.، چرم، م.، و عنایتی ضمیر، ن. (۱۳۹۹). تاثیر بیوچار باگاس نیشکر بر فراهمی عناصر غذایی و ویژگی‌های زیستی یک خاک آهکی. تحقیقات کاربردی خاک، ۱(۱)، ۱-۱۷.
- Ahiduzzaman, M. & Sadrul Islam, A. (2016). Preparation of porous biochar and activated carbon from rice husk by leaching ash and chemical activation. *SpringerPlus*, 5(1), 1248. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2932-8>.
- Chintala, R., Mollinedo, J., Schumacher, T. E., Malo, D. D., & Julson, J. L. (2013a). Effect of biochar on chemical properties of acidic soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60(3), 393-404.
- Fallah, B., Sodoudi, S., Russo, E., Kirchner, I., & Cubasch, U. (2017). Towards modeling the regional rainfall changes over Iran due to the climate forcing of the past 6000 years. *Quaternary International*, 429, 119-128.
- Gavili, E., Moosavi, A. A., & Zahedifar, M. (2019). Integrated effects of cattle manure-derived biochar and soil moisture conditions on soil chemical characteristics and soybean yield. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 65(12), 1758-1774.

- Gupta, S., & Kua, H. W. (2020). Application of rice husk biochar as filler in cenosphere modified mortar: Preparation, characterization, and performance under elevated temperature. *Construction and Building Materials*, 253, 119083.
- Helmke, P., & Sparks, D. L. (1996). Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. In D. L. Sparks, A. L. Page, P. A. Helmke, R. H. Loeppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T. Johnston & M. E. Sumner (Eds.), *Methods of Soil Analysis* (2nd Ed., pp. 551- 574). Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.
- Inal, A., Gunes, A. Y. D. I. N., Sahin, O. Z. G. E., Taskin, M. B., & Kaya, E. C. (2015). Impacts of biochar and processed poultry manure, applied to a calcareous soil, on the growth of bean and maize. *Soil Use and Management*, 31(1), 106-113.
- Lehmann, J., Pereira da Silva, J., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., & Glaser, B. (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil*, 249, 343-357.
- Liang, M., Lu, L., He, H., Li, J., Zhu, Z., & Zhu, Y. (2021). Applications of biochar and modified biochar in heavy metal contaminated soil: A descriptive review. *Sustainability*, 13, (24)14041.
- Lin, L., Gao, M., Liu, X., & Song, Z. (2020). Influence of the application of Fe–Mn–La ternary oxide-biochar composites on the properties of arsenic-polluted paddy soil. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 22(4), 1045-1056.
- Lin, L., Li, Z., Liu, X., Qiu, W., & Song, Z. (2019a). Effects of Fe-Mn modified biochar composite treatment on the properties of As-polluted paddy soil. *Environmental Pollution*, 244, 600-607 .
- Lin, L., Song, Z., Khan, Z. H., Liu, X., & Qiu, W. (2019b). Enhanced As (III) removal from aqueous solution by Fe-Mn-La-impregnated biochar composites. *Science of the Total Environment*, 686, 1185-1193 .
- Moradi Choghamarani, F. (2020). Determining Physicochemical Properties of Sugarcane Bagasse- derived Biochar as a Function of Pyrolysis Temperature and Effect of the Resultant Biochars on Some Physical and Hydraulic Characteristics of Texturally Different Calcareous Soils. Ph.D. Dissertation, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, IR Iran.
- Moradi-Choghamarani, F., Moosavi, A. A., & Baghernejad, M. (2019a). Determining organo-chemical composition of sugarcane bagasse-derived biochar as a function of pyrolysis temperature using proximate and Fourier transform infrared analyses. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 138, 331-342 .
- Moradi-Choghamarani, F., Moosavi, A. A., Sepaskhah, A. R., & Baghernejad, M. (2019b). Physico-hydraulic properties of sugarcane bagasse-derived biochar: the role of pyrolysis temperature. *Cellulose*, 26, 7125-7143.
- Mozaffari, H., Moosavi, A. A., & Cornelis, W. (2022). Vis-NIR-spectroscopy- and loss-on-ignition-based functions to estimate organic matter content of calcareous soils. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 69(6), 962–980.
- NCCOI (2014) Third national communication to UNFCCC. National Climate Change Office of Iran. <http://climate-change.ir>.
<https://unfccc.int/sites/default/files/resource/ThirdNationalcommunicationIRAN.pdf>.
- Rajkovich, S., Enders, A., Hanley, K., Hyland, C., Zimmerman, A. R., & 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.
- Rhoades, J. D. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved soils. In D. L. Sparks (Ed.), *Methods of Soil Analysis* (2nd Ed., pp. 417-436). Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.
- Sombroek, W., Ruivo, M. D. L., Fearnside, P. M., Glaser, B., & Lehmann, J. (2003). Amazonian dark earths as carbon stores and sinks. In *Amazonian Dark Earths: Origin Properties Management* (pp. 125-139). Springer .
- Staff, U. S. L. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Agriculture Handbook*, 60, 83-100 .
- Thomas, G. W. (1996). Soil pH and soil acidity. In D. L. Sparks., A. L. Page., P. A. Helmke., R. H. Loeppert., P. N. Soltanpour., M. A. Tabatabai., C. T. Johnston & M. E. Sumner (Eds.), *Methods of Soil Analysis* (2nd Ed., pp. 475-490). Madison, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America.
- Su, M. H., Azwar, E., Yang, Y., Sonne, C., Yek, P. N. Y., Liew, R. K., Cheng, C. K., Show, P. L., & Lam, S. S. (2020). Simultaneous removal of toxic ammonia and lettuce cultivation in aquaponic system using microwave pyrolysis biochar. *Journal of Hazardous Materials*, 396, 122610.
- Tate, R. L. 2000. Soil Microbiology. John Wiley and Sons. New York, USA

Effect of Sugarcane Bagasse, Its Biochar and Modified Biochars on Some Chemical Properties of a Sandy Loam Soil

Azadeh Ahmadi^{1*}, Ali Akbar Moosavi², Masoomeh Sarmast³, Jahanshir Mohamadzadeh Habili⁴, Aref Norouzi⁵

¹ M.Sc. Graduate, Department of Soil Science and Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran*
(azadehahmadiiii@yahoo.com)

² Professor, Department of Soil Science and Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, , Shiraz, Iran (aamousavi@gmail.com)

³ Assistant Prof., Department of Soil Science and Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, , Shiraz, Iran (masoomeh.sarmast@saadi.shirazu.ac.ir)

⁴ Associate Prof., Department of Water Engineering, College of Agriculture, Shiraz University, , Shiraz, Iran (j.mohammadzadeh@shirazu.ac.ir)

⁵ M.Sc. Student, Department of Plant Breeding and Genetics, Shiraz University, Shiraz, Iran (aref.nowroozi2@gmail.com)

Abstract

Soil organic matter is a critical determinant of key soil properties, encompassing physical structure, hydraulic characteristics, chemical composition, and biological activity. In light of the deficient organic matter content (<1%) prevalent in the arid and semi-arid regions of Iran, the amendment of these soils with low-cost organic materials, notably biochar, is strongly advocated. Since, no study has been conducted on the effects of sugarcane bagasse, its derived biochar, and particularly the modified forms of this biochar on soil chemical properties. Therefore, the present study was undertaken to evaluate the effects of these amendments on selected chemical properties of a sandy loam soil. In this study, the effects of sugarcane bagasse, its biochar, and sulfate- and nitrate-modified biochars at a 3% application rate were assessed on soil electrical conductivity, pH, organic matter content, soluble potassium, calcium, and magnesium. The results showed that the application of bagasse, biochar, and nitrate- and sulfate-modified biochars had no significant effects on soil electrical conductivity and pH compared with the control. Moreover, the results indicated that the application of bagasse, biochar, and nitrate- and sulfate-modified biochars significantly increased soil organic matter by 2.83, 1.95, 1.86, and 1.66 times, respectively, compared with the control. Likewise, the application of biochar, sulfate-modified biochar, and nitrate-modified biochar significantly increased soil potassium by 4.28, 7.90, and 7.98 times, respectively, compared with the control. Mean comparison results further revealed that the application of sulfate-modified biochar significantly increased soil soluble calcium and magnesium by 2.37 and 1.57 times, respectively, compared with the control. Overall, it can be concluded that the application of different organic amendments may exert varying effects on soil chemical properties.

Keywords: Sulfate- modified biochar, Nitrate-modified biochar, Magnesium, Potassium, Organic matter