استفاده از بیوچار و تیمارهای معدنی برای اصلاح ویژگی‌های شیمیایی یک خاک شور و سدیمی

زهرا نوری[۱]، محمد امیر دلاور[۱] و یاسر صفری[۲*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۳/۳۱)

چکیده

در پژوهش حاضر، امکان اصلاح برخی ویژگی‌های شیمیایی یک خاک شور و سدیمی طی افزودن سطح پنج درصد وزنی بقایای یونجه و دو نوع بیوچار تولید شده از باگاس نیشکر و پوست گردو به‌صورت مستقل و همزمان با گچ، سولفات آلومینیم و مخلوط این دو بررسی شد. این پژوهش در سه تکرار در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی به‌صورت گلدانی انجام شد. نمونه‌های خاک پس از اعمال تیمارها به‌مدت چهار ماه در رطوبت ظرفیت مزرعه خوابانیده و برخی از مهم‌ترین ویژگی‌های شیمیایی خاک اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که بقایای یونجه بیشترین کارایی را در کاهش پ‌هاش خاک داشته و کاربرد مخلوط این نوع بقایا با گچ مقدار پ‌هاش خاک را از ۹/۱۳ در تیمار شاهد به ۷/۲۴ کاهش داد. تیمارهای گچ، سولفات آلومینیم و مخلوط این دو با افزایش غلظت یون‌هایی از جمله کلسیم و سولفات موجب افزایش غلظت الکترولیت خاک و درنتیجه افزایش قابلیت هدایت الکتریکی تا حدود سه برابر بیشتر از تیمار شاهد شدند. تیمارهای مورد استفاده با جایگزینی برخی یون‌ها به‌جای سدیم تبادلی موجب افزایش غلظت سدیم محلول و درنتیجه بالا رفتن نسبت جذب سدیم خاک شدند. بیشترین افزایش نسبت جذب سدیم را کاربرد همزمان بیوچار پوست گردو و گچ رقم زده و این ویژگی را از ۲۲/۶ در تیمار شاهد تا ۵۴/۳ افزایش داد. آزادسازی پتاسیم از تیمارهای آلی و بهبود شرایط عمومی خاک در پی افزودن تیمارهای شیمیایی موجب افزایش پتاسیم تبادلی خاک شد؛ درحالی که افزایش فسفر قابل دسترس خاک کمتر تحت تأثیر کاربرد تیمارهای شیمیایی قرار گرفت. در مجموع، به‌نظر می‌رسد که اثرات اصلاحی تیمارهای آلی و معدنی مورد استفاده تکمیل کننده یکدیگر هستند و از این‌رو، کاربرد همزمان آنها نه‌تنها ویژگی‌های نامطلوب شیمیایی خاک‌های شور و سدیمی را بهبود می‌دهد، بلکه افزایش کیفیت حاصلخیزی این خاک‌ها را نیز رقم می‌زند.

واژه‌های کلیدی: اصلاح خاک، باگاس نیشکر، پوست گردو، زغال زیستی، گرماکافت

۱. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۲. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: yaser.safari@shahroodut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

خاک‌های مبتلا به نمک بخش قابل توجهی از اراضی مناسب برای کشاورزی در مقیاس جهانی را پوشش می‌دهند و از این رو، طراحی برنامه‌های دقیق برای استفاده بهتر از این اراضی با تکیه بر اصول کشاورزی پایدار امری ضروری است (۲۰). دسترسی بسیار محدود گیاهان به آب در اثر فشار اسمزی بالای ناشی از تجمع نمک‌ها در خاک و هدایت هیدرولیکی ضعیف ناشی از پراکندگی ذرات خاک به‌دلیل وجود سدیم زیاد، از مهم‌ترین مشکلات خاک‌های شور و سدیمی برای تولید محصول است (۷). اصلاح یک خاک سدیمی یا خاک شور و سدیمی مستلزم حذف سدیم از فاز تبادلی و وارد کردن آن به فاز محلول توسط کاتیون‌های دو ظرفیتی است که در پی آن با انجام آبیاری و شستشوی کامل خاک، املاح محلول نیز از پروفیل خاک خارج می‌شوند (۱۹). از میان روش‌های مختلف کنترل شوری و قلیاییت خاک‌ها، افزودن مواد آلی و معدنی به خاک، آبشویی و پالایش گیاهی با اقبال بیشتری از سوی پژوهشگران مواجه شده است (۳). این روش‌ها به‌تنهایی و گاهی متعاقب یکدیگر اجرا شده و انتخاب روش صحیح اصلاح خاک‌های شور و سدیمی مستلزم توجه به ملاحظات خاصی از جمله شرایط موضعی، هزینه‌های مالی و زمانی اصلاح خاک و مهم‌تر از همه، عواقب زیست‌محیطی به‌کارگیری هر روش است (۵).

ترکیبات معدنی دارای یون سولفات، از جمله گچ و سولفات آلومینیم، از پرکاربردترین مواد شیمیایی برای اصلاح خاک‌های شور و سدیمی هستند که ضمن اسیدی ساختن محیط، قادر به جایگزین کردن سدیم تبادلی با کلسیم یا دیگر عناصر مشابه موجود در خاک هستند (۱۳). این مواد از زمان‌های به‌نسبت طولانی توسط پژوهشگران داخلی و خارجی برای اصلاح ویژگی‌های نامناسب خاک‌های سدیمی یا شور و سدیمی مورد استفاده قرار گرفته است (۲، ۷، ۲۲ و ۲۳). یکی از ترکیب‌های حاوی مواد آلی که در حال حاضر توجه بسیاری از پژوهشگران را به‌خود جلب کرده، بیوچار (زغال زیستی) است. بیوچارها، مواد زغالی‌مانند و غنی از کربن هستند که توسط گرما دادن به هر نوع پسماند آلی (تفاله محصولات کشاورزی، کود حیوانی و مرغی و...) در دماهای مختلف و در محیط عاری از اکسیژن، توسط فرایند گرماکافت تولید می‌شوند. پژوهش‌های پیشین مؤید کارایی بیوچارهای تهیه شده از مواد مختلف برای اصلاح ویژگی‌های نامطلوب خاک‌های متأثر از املاح است (۵، ۲۳، ۲۵، ۲۸ و ۳۰). به‌هر حال، کارایی بیوچارها بستگی شدیدی به نوع مواد اولیه، شرایط تهیه بیوچار و شرایط عمومی محیط هدف دارد (۳۰). بنابراین، تهیه بیوچار از برخی مواد و افزودن آنها به خاک‌های متأثر از تجمع نمک در شرایط خاص، ممکن است نه‌تنها موجب بهبود ویژگی‌های خاک نشوند، بلکه حتی خصوصیات نامناسب آن خاک‌ها را تشدید کنند.

نظر به قرارگیری کشور ایران در اقلیم خشک تا نیمه‌خشک، مساحت زیادی از اراضی کشور دچار مشکلات تجمع نمک در خاک‌ها هستند؛ به‌گونه‌ای که از نظر وسعت اراضی دچار مشکل و همچنین شدت مشکلات ناشی از شوری خاک، این عامل در صدر مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی که موجب کاهش قابل ملاحظه عملکرد محصولات کشاورزی در کشور می‌شود، ذکر شده است (۲۰). از سوی دیگر، در بخش‌های زیادی از کشور سامانه‌های سنتی یا نیمه‌مکانیزه کشاورزی فعال هستند که در آنها مدیریت سودمند ضایعات گیاهی همچنان با چالش مواجه است. حتی گاهی کشاورزان برای خلاصی یافتن از بقایای زاید گیاهی باقی‌مانده در سطح مزارع پس از برداشت محصول، مجبور به صرف هزینه‌های مالی و زمانی هستند. از این‌رو، به‌نظر می‌رسد تبدیل بقایای گیاهی مختلف به بیوچار و استفاده از آن برای اصلاح ویژگی‌های نامطلوب خاک‌ها راهکاری بسیار سودمند باشد. پژوهش حاضر درصدد است تا بهبود برخی ویژگی‌های شیمیایی یک خاک شور و سدیمی را با استفاده مستقل از بقایای یونجه، بیوچارهای تهیه شده از باگاس نیشکر و پوست گردو همراه با استفاده همزمان آنها با گچ، سولفات آلومینیم و مخلوط این دو ترکیب معدنی را بررسی کند.

www.SID.ir

Archive of SID

مواد و روش‌ها

خاک مورد استفاده در پژوهش حاضر یک نمونه خاک شور و سدیمی آهکی بود که از منطقه‌ای واقع در ۲۵ کیلومتری غرب شهرستان ملایر در موقعیت جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۴ دقیقه و ۱۷ ثانیه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۲۰ دقیقه و ۳۶ ثانیه عرض شمالی برداشت شد. برای این منظور یک پروفیل خاک در این منطقه حفر و بر اساس دستورالعمل‌های استاندارد (۲۴) مشخصات مورفولوژیکی خاک مطالعه شد. از این خاک تا عمق ۵۰ سانتی‌متری سطح خاک در حدود ۲۰۰ کیلوگرم نمونه خاک جمع‌آوری و برای اعمال تیمارها به آزمایشگاه ارسال شد.

تهیه تیمارهای آزمایشی

تیمارهای آلی مورد استفاده در این پژوهش شامل بقایای یونجه (تهیه شده از مزارع یونجه شهرستان زنجان) و دو نوع بیوچار بودند که از پوست سبز گردو (تهیه شده از باغ‌های گردو شهرستان طارم) و باگاس نیشکر (تهیه شده از مزارع نیشکر هفت‌تپه شهرستان اهواز) تهیه شدند. بقایای پوست سبز گردو و باگاس به‌منظور پاکسازی مواد همراه، در آزمایشگاه با آب شهری شستشو داده شده و سپس در آون در دمای ۵۵ درجه سلسیوس خشک و قبل از استفاده به‌صورت پودر یکنواخت با ابعاد ۰/۵ تا ۱ میلی‌متر آسیاب شدند. برای تولید بیوچار از طریق روش پیرولیز آرام، این مواد در داخل ظروف بوته چینی درب‌دار ریخته شدند و برای اطمینان از شرایط اکسیژن محدود روی ظروف حاوی نمونه‌ها با فویل آلومینیومی پوشانده شد. بوته‌ها به کوره الکتریکی منتقل و دمای کوره با نرخ افزایش ۱۷ درجه سلسیوس در هر دقیقه به دمای نهایی ۴۰۰ درجه سلسیوس رسانده شد. پس از گذشت چهار ساعت، بوته‌ها از کوره خارج شده و در دمای آزمایشگاه سرد شدند. مقادیر کربن، هیدروژن و نیتروژن در بقایای یونجه و بیوچارهای تهیه شده با استفاده از دستگاه کربن، هیدروژن و نیتروژن آنالیزر مدل لکو مرکز پژوهش‌های متالورژی رازی تهران تعیین شد. مورفولوژی سطح نمونه‌ها با استفاده از مطالعات تصویربرداری توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل وگاتی‌اسکن الام‌یو مرکز پژوهش‌های متالورژی رازی تهران تعیین شد. سطح ویژه بیوچار با استفاده از روش جذب متیلن بلو تعیین شد (۱۰). پ‌هاش نمونه‌ها در سوسپانسیون با نسبت یک به پنج (بیوچار- آب) توسط دستگاه پ‌هاش‌متر اندازه‌گیری شد. ظرفیت تبادل کاتیونی و هدایت الکتریکی نمونه‌های بیوچار با استفاده از روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد (۸).

انکوباسیون

خاک شور و سدیمی جمع‌آوری شده با سطح پنج درصد وزنی با بیوچارهای تهیه شده از پوست سبز گردو و باگاس نیشکر و بقایای یونجه مخلوط شدند. علاوه بر آن، اصلاح‌کننده‌های معدنی شامل گچ به اندازه نیاز گچی خاک، سولفات آلومینیم معادل نیاز گچی خاک و مخلوط گچ و سولفات آلومینیم هرکدام به مقدار نیمی از نیاز گچی خاک نیز جداگانه تهیه شدند. برای این منظور در هر گلدان پلاستیکی ۱۵۰۰ سانتی‌متر مکعبی، ۱۰۰۰ گرم از هر مخلوط خاک پر شده و با یک درپوش سوراخ‌دار برای محدود کردن تبخیر آب و اطمینان از تبادل گاز پوشش داده شد و تلاش شد که در دمای حدود ۲۵ درجه سلسیوس در گلخانه دانشگاه زنجان به‌مدت ۱۲۰ روز خوابانیده شوند. مقدار رطوبت هر گلدان با وزن کردن و آبیاری مداوم با آب مقطر هر چهار روز یک‌بار در حد ظرفیت زراعی نگهداشته شد. پس از گذشت چهار ماه از شروع آزمایش مقداری خاک از گلدان‌ها برداشت و برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک در آنها اندازه‌گیری شد. ویژگی‌های شیمیایی خاک شامل پ‌هاش (۴)، هدایت الکتریکی (۴)، کربن آلی (۱۶)، فسفر قابل دسترس با روش اولسن (۱۷) و پتاسیم تبادلی با استفاده از روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم (۱۲) اندازه‌گیری شدند. غلظت محلول کاتیون سدیم در عصاره خاک توسط دستگاه فلیم‌فتومتر مدل PFP 7 JENWEY و غلظت کاتیون‌های کلسیم و منیزیم توسط دستگاه جذب اتمی مدل Varian AA 20 (۱۸) اندازه‌گیری و نسبت جذب سدیم محاسبه شد (۲۶). ویژگی‌های شیمیایی در خاک مورد مطالعه نیز قبل از اعمال تیمارهای آلی و معدنی مطابق روش‌های ذکر شده اندازه‌گیری شد. با درنظر گرفتن نوع تیمارهای

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. طرح آزمایشی همراه با تیمارهای آلی و شیمیایی مورد استفاده

تیمار شیمیایی	تیمار آلی	علامت اختصاری	
–	–	C	
–	بیوچار باگاس نیشکر	-	SBB
	بیوچار پوست گردو		WSB
	بقایای یونجه		AR
گچ	بیوچار باگاس نیشکر	+ G	SBB
	بیوچار پوست گردو		WSB
	بقایای یونجه		AR
سولفات آلومینیوم	بیوچار باگاس نیشکر	+ AlS	SBB
	بیوچار پوست گردو		WSB
	بقایای یونجه		AR
گچ + سولفات آلومینیوم	بیوچار باگاس نیشکر	+ G/AlS	SBB
	بیوچار پوست گردو		WSB
	بقایای یونجه		AR

شیمیایی و آلی مورد استفاده به‌عنوان عامل‌های مورد آزمون، در مجموع ۱۲ تیمار آزمایشی همراه با یک تیمار شاهد به‌شرح جدول ۱ در این پژوهش منظور شد و آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در شرایط گلخانه در دانشگاه زنجان انجام گرفت. پس از تجزیه واریانس داده‌های حاصل از مطالعات، آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد برای مقایسه میانگین‌ها مورد استفاده قرار گرفت. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار اس‌پی‌اس‌اس نسخه ۲۱ انجام و نمودارهای مربوطه در محیط نرم‌افزاری اکسل ۲۰۱۳ ترسیم شدند.

نتایج و بحث

خصوصیات خاک مورد بررسی

خاک مطالعه شده بر اساس سیستم طبقه‌بندی جامع آمریکایی (۲۰۱۴) در تحت گروه سدیک کلسی‌زرپت و بر اساس سامانه رده‌بندی جهانی خاک کلسیک سولونتز رده‌بندی شد. پهاش خاک در گل اشباع در اعماق مختلف از ۸/۵ تا ۹/۳ نوسان داشت. هدایت الکتریکی با عمق کاهش جزئی نشان داد و در افق‌های سطحی کمتر از ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر اندازه‌گیری شد. مقدار کربنات کلسیم با عمق افزایش یافت و حداکثر آن در افق‌های کلسیک (۳۷/۹ درصد) اندازه‌گیری شد. بافت خاک در افق‌های مختلف خاک از لوم‌رسی تا رسی متغیر بود و مقدار سدیم قابل تبادل با افزایش عمق کاهش یافت و حداکثر ۴۵ درصد اندازه‌گیری شد. محتوای مواد آلی در خاک مورد بررسی بسیار اندک بود و متوسط کربن آلی خاک برابر با ۰/۲۱ درصد اندازه‌گیری شد. بر اساس معیارهای موجود برای طبقه‌بندی خاک‌ها از منظر تجمع املاح، خاک مورد نظر در شمار خاک‌های شور و سدیمی قرار گرفت (۳).

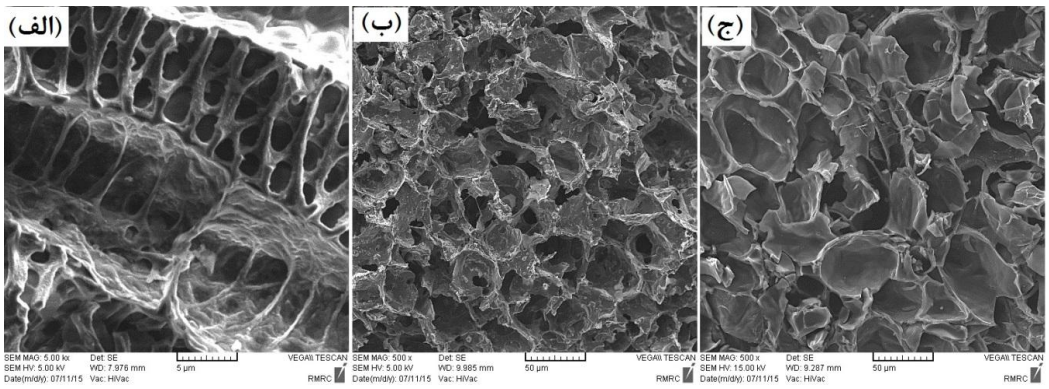
نتایج اندازه‌گیری ویژگی‌های مختلف پهاش، هدایت الکتریکی، سطح ویژه و درصد کربن، نیتروژن و هیدروژن در بقایای یونجه و بیوچارهای تهیه شده در جدول ۲ نشان داده شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده ظرفیت تبادل کاتیونی بیوچار باگاس نیشکر، بیوچار پوست سبز گردو و بقایای یونجه به‌ترتیب برابر با ۵۵/۱۲، ۴۵/۱۳ و ۹/۱۶ سانتی‌مول بار بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه کربن، نیتروژن و هیدروژن در ترکیب بیوچار باگاس نیشکر، بیوچار پوست سبز گردو و بقایای یونجه به ترتیب نشان داد

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. مهم‌ترین ویژگی‌های بیوچارها و بقایای گیاه یونجه

تیمار آلی	ظرفیت تبادل کاتیونی ($Cmol^{(+)}/Kg$)	پ‌هاش (1:5)	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	سطح ویژه ($m^2.g^{-1}$)	کربن (٪)	هیدروژن (٪)	نیتروژن (٪)
بقایای یونجه	۹/۱۶	۶/۵۱	۰/۱۳	۳/۹۲	۵۰/۲۱	۶/۵۳	۰/۲۱
بیوچار پوست گردو	۴۵/۱۳	۱۰/۲۰	۰/۰۸	۱۲/۴۰	۶۳/۱۶	۲/۷۸	۰/۱۷
بیوچار باگاس نیشکر	۵۵/۱۲	۹/۸۹	۰/۲۰	۱۴/۶۴	۶۹/۲۷	۳/۴۳	۰/۱۵



شکل ۱. تصاویر میکروسکوپ الکترونی: الف) بقایای یونجه، ب) بیوچار پوست گردو و ج) بیوچار باگاس نیشکر

مقادیر درصد کربن در بیوچارهای پوست سبز گردو و باگاس نیشکر تهیه شده ۱/۳ برابر بیشتر از کربن موجود در بقایای یونجه است. مقادیر هیدروژن در بقایای یونجه ۲/۴ برابر بیشتر از هیدروژن موجود در بیوچارهای تهیه شده و مقادیر نیتروژن در هر سه منبع بسیار پایین است. نتایج اندازه‌گیری سطح ویژه جاذب‌ها با استفاده از متیلن بلو نشان داد که مقدار این ویژگی در بیوچار باگاس نیشکر، بیوچار پوست سبز گردو و بقایای یونجه به‌ترتیب ۱۴/۶۴، ۱۲/۴۰ و ۳/۹۲ متر مربع بر گرم است (جدول ۲).

مقدار پ‌هاش بیوچار تولید شده از هر دو نوع بقایا در مقایسه با پ‌هاش بقایای یونجه بالاتر است (جدول ۲). به‌نظر می‌رسد صرف نظر از اثر نوع ماده گیاهی بر مقدار پ‌هاش بقایا، افزایش غلظت برخی کاتیون‌های بازی در بیوچارها طی فرایند گرماکافت دلیل اصلی این مشاهده باشد. شکل ۱ تصاویر تهیه شده از سطح بقایای یونجه و بیوچارهای مورد استفاده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی را نشان می‌دهد. تصاویر سطوح متخلخل بیوچارها حاکی از خلل‌وفرج بیشتری نسبت به بقایای یونجه است. خلل و فرج‌های متعدد باعث افزایش نسبت سطح به حجم جاذب شده که درنتیجه می‌تواند سبب افزایش میزان جذب شود.

جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس داده‌ها را نشان می‌دهد. نتایج جدول ۳ گویای معنی‌داری اثرات ساده و متقابل تیمارهای آلی و شیمیایی بر تمامی خصوصیات مورد بررسی در سطح ۱ درصد است؛ از این‌رو مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

اثر تیمارهای مورد استفاده بر پ‌هاش خاک

کاربرد مستقل تیمارهای آلی موجب کاهش معنی‌دار پ‌هاش خاک شور و سدیمی شد و مقدار این ویژگی را از ۹/۱۳ در تیمار شاهد به ۸/۵۵ رساند (شکل ۲)؛ اگرچه کاربرد همزمان آنها با تیمارهای شیمیایی موجب تشدید این کاهش شد. انحلال نسبی گچ در آب موجود در خاک با آزادسازی مقادیر زیادی عنصر کلسیم موجب افزایش توان رقابتی این عنصر برای قرار گرفتن در مکان‌های تبادلی شده و درنتیجه با جایگزینی کلسیم به‌جای کاتیون‌های

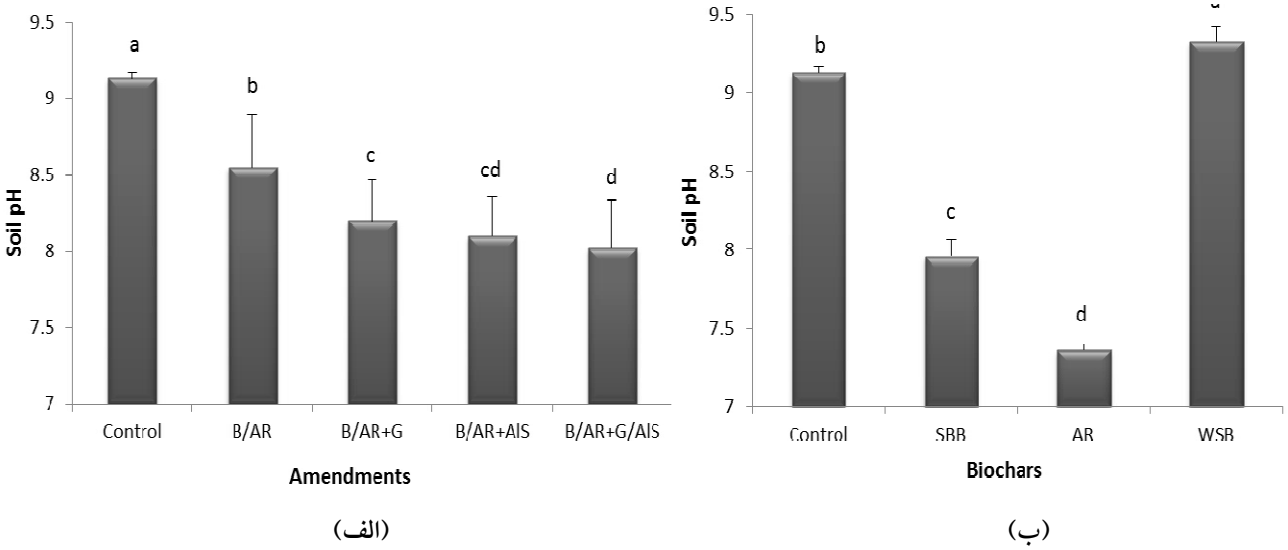
www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های شیمیایی خاک در تیمارهای مختلف آلی و شیمیایی

	درجه آزادی	پ‌هاش	هدایت الکتریکی	نسبت جذب سدیم	پتاسیم	فسفر
تیمار شیمیایی (معدنی)	۳	۰/۴۸**	۲۳/۴۶**	۵۱/۲۱**	۳۳۱۶/۰۹**	۱۹/۱۳**
تیمار آلی	۲	۱۲/۲۸**	۹۹۴/۰۲**	۲۱۱۶/۸۴**	۸۹۹۱۲/۷۵**	۱۴۷/۹۶**
تیمار شیمیایی × تیمار آلی	۶	۰/۲۲**	۲/۶۱**	۱۰۸/۲۸**	۲۶۳۹/۶۴**	۸/۳۳**
خطا	۲۶	۰/۰۱	۰/۷۷	۰/۶۱	۳۶/۰۱	۰/۱۸
ضریب تغییرات	–	۰/۲۴	۳/۹۴	۲/۲۰	۱۱/۴۵	۱/۷۰

علامت ** نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد است.



شکل ۲. اثرات ساده: الف) نوع تیمارهای آلی و شیمیایی و ب) نوع بیوچار یا بقایای گیاهی بر پ‌هاش خاک (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.)

B/AR: بیوچار باگاس نیشکر یا پوست گردو و یا بقایای یونجه، SBB : بیوچار باگاس نیشکر، WSB: بیوچار پوست گردو، AR: بقایای یونجه، G: گچ، AlS: سولفات آلومینیوم، G/AlS: مخلوط گچ و سولفات آلومینیوم

هیدروژن، پ‌هاش خاک کاهش می‌یابد (۱۹). همچنین، تجزیه سولفات آلومینیم در خاک موجب تشکیل اسید قوی اسید سولفوریک می‌شود که با کاهش فعالیت یون‌های کربنات و بی‌کربنات در محیط خاک، کاهش پ‌هاش خاک را در پی دارد.

کاهش پ‌هاش خاک در تیمارهای آلی نیز به این دلیل است که تجزیه انواع مواد آلی در خاک موجب افزایش فشار جزئی گاز دی‌اکسید کربن در خاک شده و با تشکیل اسید ضعیف اسید کربنیک موجب کاهش پ‌هاش خاک می‌شود. چنین اظهار شده است که در پی تجزیه بقایای آلی به‌ویژه بیوچار در خاک، با آزادسازی برخی کاتیون‌ها از جزء خاکستر آنها به درون خاک، آنیون‌های موجود در سطوح کلوئیدی خاک کاهش می‌یابد (۲۳). در میان تیمارهای آلی، بقایای یونجه بیشترین کارایی برای کاهش پ‌هاش خاک را داشت و موجب شد تا مقدار این ویژگی در خاک حاوی تیمار بقایای یونجه به ۷/۳۶ برسد؛ درحالی که بیوچار پوست گردو به‌دلیل ماهیت قلیایی، موجب افزایش جزئی پ‌هاش خاک در مقایسه با تیمار شاهد شد (شکل ۲). در پژوهشی

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴. اثرات متقابل تیمارهای شیمیایی و نوع بیوچار یا بقایای گیاهی بر پ‌هاش خاک

شاهد	تیمار آلی همراه با گچ و سولفات آلومینیوم			تیمار آلی همراه با سولفات آلومینیوم			تیمار آلی همراه با گچ			تیمار آلی		
–	AR	WSB	SBB	AR	WSB	SBB	AR	WSB	SBB	AR	WSB	SBB
	+ G/AlS			+ AlS			+ G			-		
نوع تیمار آلی												
۹/۱۳ b	۷/۳۲ ef	۹/۲۷ b	۷/۴۹ e	۷/۴۴ e	۹/۱۳ b	۷/۱۳ d	۷/۲۴ f	۹/۰۹ b	۸/۲۷ c	۷/۴۶ e	۹/۵ a	۸/۳۳ c
پ‌هاش خاک												

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

SBB: بیوچار باگاس نیشکر ، WSB: بیوچار پوست گردو، AR: بقایای یونجه، G: گچ، AlS: سولفات آلومینیم

مشابه، چنین مشاهده شد که گرچه افزودن بقایای چوبی گیاه ذرت و بیوچار تولید شده از آن در دمای ۳۰۰ درجه سلسیوس، موجب کاهش معنی‌دار پ‌هاش خاک در یک خاک شور شد، اما در مقایسه با بیوچار، بقایای گیاهی توانایی بیشتری برای کاهش پ‌هاش خاک نشان دادند (۲۸). اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی بر پ‌هاش خاک شور و سدیمی در جدول ۴ ارائه شده است.

بررسی اثرات متقابل تیمارهای آلی و شیمیایی بر پ‌هاش خاک بیانگر آن است که کاربرد تیمارهای شیمیایی به‌طور معنی‌داری کاهش پ‌هاش خاک را تشدید می‌کنند (جدول ۴). در این میان، تیمار مخلوط بقایای یونجه با گچ با تعدیل پ‌هاش خاک از ۹/۱۳ در تیمار شاهد به ۷/۲۴ بیشترین کاهش پ‌هاش خاک را نشان داد؛ گرچه در مقایسه با سایر تیمارهای آلی، کاهش پ‌هاش خاک در تمامی تیمارهای حاوی بقایای یونجه بسیار مشهودتر بود. از سوی مقابل، در تیمارهای حاوی بیوچار پوست گردو، نه‌تنها کاهش معنی‌داری در مقادیر پ‌هاش خاک مشاهده نشد، بلکه کاربرد مستقل این نوع بیوچار منجر به افزایش معنی‌دار پ‌هاش خاک شد (جدول ۴). چنین گزارش شده است که افزودن بیوچارهایی با مقادیر پ‌هاش کمی تا شدیداً قلیایی به خاک‌های قلیایی از طریق به‌هم زدن تعادل عناصر به‌ویژه در زمان‌های کوتاهی پس از شروع تجزیه بیوچارها در خاک، موجب افزایش پ‌هاش خاک می‌شود (۹). همچنین، این مشاهده به وضوح اثر بسیار شدید نوع مواد آلی بر کارایی آنها برای اصلاح ویژگی‌های خاک را نشان می‌دهد. از این‌رو، توصیه می‌شود بسته به هدف مورد مطالعه، تنها انواع خاصی از مواد برای تهیه بیوچار مورد استفاده قرار گیرند. پژوهش‌های پیشین نیز مؤید آن هستند که کاهش پ‌هاش خاک تابع مستقیم نوع مواد مورد استفاده برای تهیه بیوچار بوده است (۲۳).

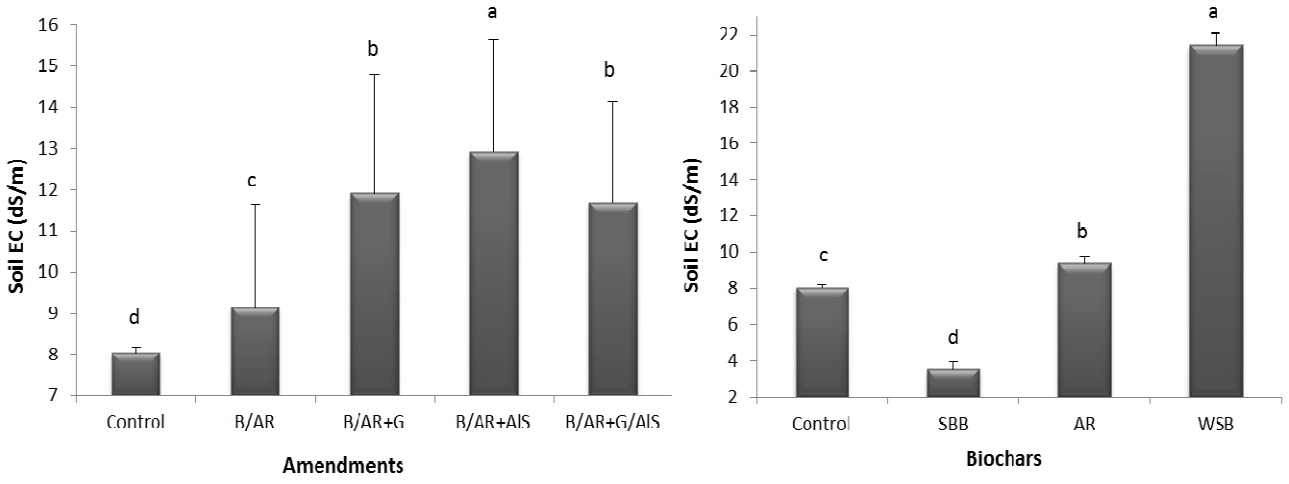
اثر تیمارهای مورد استفاده بر هدایت الکتریکی خاک

کاربرد تیمارهای مورد استفاده در این پژوهش موجب افزایش معنی‌دار قابلیت هدایت الکتریکی خاک مورد آزمایش شد (شکل ۳). تیمار مخلوط سولفات آلومینیم با بیوچار بیشترین افزایش را در پی داشت و مقدار هدایت الکتریکی خاک را از ۸/۰۴ در تیمار شاهد به ۱۲/۹۸ دسی‌زیمنس بر متر افزایش داد. گچ، سولفات آلومینیم و مخلوط این دو با افزایش غلظت یون‌هایی از جمله کلسیم و سولفات موجب افزایش غلظت الکترولیت خاک و درنتیجه افزایش قابلیت هدایت الکتریکی شده‌اند. در پژوهشی مشابه، با بررسی اصلاح یک خاک سدیمی توسط گچ چنین گزارش شد که در پی افزایش گچ به خاک غلظت الکترولیت خاک افزایش یافته و درنتیجه قابلیت هدایت الکتریکی محلول خاک از ۲/۳ به ۵/۸ افزایش یافت (۲۰).

مقایسه اثرات بقایای یونجه و دو نوع بیوچار پوست گردو و باگاس نیشکر بر هدایت الکتریکی خاک نشان از آن دارد که بیوچار پوست گردو موجب افزایش معنی‌دار و قابل ملاحظه

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. اثرات ساده: الف) نوع تیمارهای آلی و شیمیایی و ب) نوع بیوچار یا بقایای گیاهی بر هدایت الکتریکی خاک (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.)

B/AR: بیوچار باگاس نیشکر یا پوست گردو و یا بقایای یونجه، SBB: بیوچار باگاس نیشکر، WSB: بیوچار پوست گردو، AR: بقایای یونجه، G: گچ، AlS: سولفات آلومینیوم، G/AlS: مخلوط گچ و سولفات آلومینیوم

جدول ۵ . اثرات متقابل تیمارهای شیمیایی و نوع بیوچار یا بقایای گیاهی بر هدایت الکتریکی خاک

شاهد		تیمار آلی همراه با گچ و سولفات آلومینیوم			تیمار آلی همراه با سولفات آلومینیوم			تیمار آلی همراه با گچ			تیمار آلی		
نوع تیمار آلی	–	AR	WSB	SBB	AR	WSB	SBB	AR	WSB	SBB	AR	WSB	SBB
		+ G/AlS			+ AlS			+ G			-		
هدایت الکتریکی (dS/m)	۸/۰۴ e	۱۰/۱ d	۲۰/۸ b	۴/۱ f	۱۱/۲ d	۲۳/۱ a	۴/۵ f	۸/۶ e	۲۳/۱ a	۷/۰ f	۷/۵ e	۱۸/۵ c	۱/۵ g

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

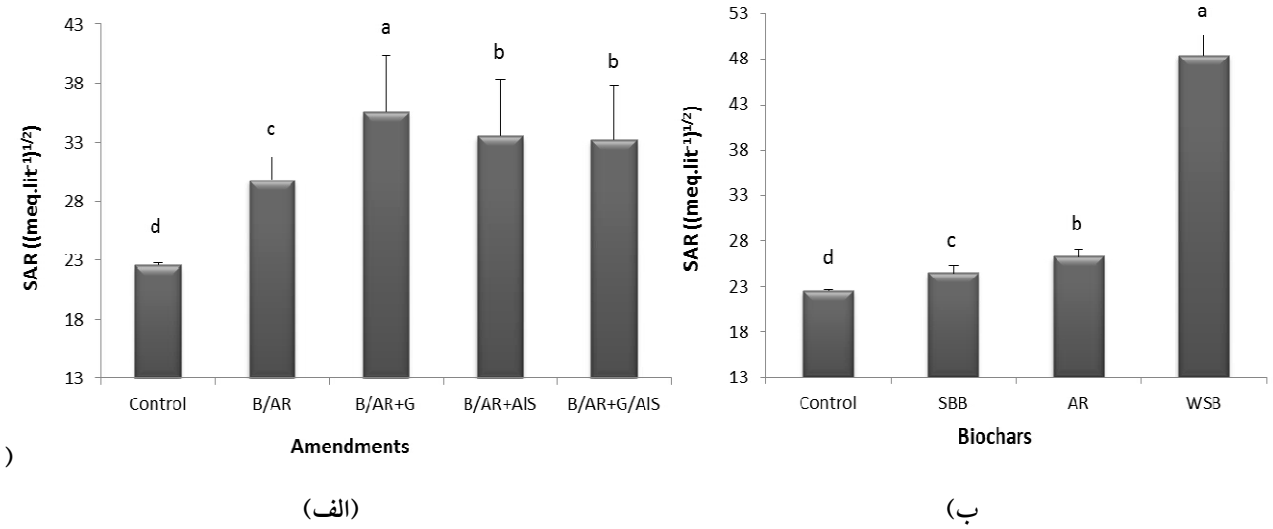
SBB: بیوچار باگاس نیشکر ، WSB: بیوچار پوست گردو، AR: بقایای یونجه، G: گچ، AlS: سولفات آلومینیم

این ویژگی شده است و مقدار هدایت الکتریکی خاک را از ۸/۰۴ در تیمار شاهد به ۲۱/۳۸ افزایش داد (شکل ۳). درحالی که بیوچار باگاس نیشکر منجر به کاهش معنی‌دار این ویژگی به ۳/۵۴ و بقایای یونجه منجر به افزایش جزئی این ویژگی به ۹/۳۵ شده‌اند (شکل ۳). این مشاهده گویای آن است که نوع مواد اولیه مورد استفاده برای تهیه بیوچار به‌شدت بر عملکرد بیوچارهای حاصل اثر می‌گذارد. در همین ارتباط، برخی پژوهشگران معتقدند که عواملی مانند بافت خاک و سطح شوری و قلیائیت خاک مورد آزمون و نیز نوع بقایای گیاهی مورد استفاده برای تهیه بیوچار، از مهم‌ترین عواملی هستند که بر کارایی بیوچار در اصلاح خاک‌های شور و سدیمی مؤثر هستند (۳۰). اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی بر هدایت الکتریکی خاک شور و سدیمی در جدول ۵ ارائه شده است.

به گواه نتایج موجود در جدول ۵، خاک حاوی تیمار بیوچار

www.SID.ir

Archive of SID



(الف) ب)

شکل ۴. اثرات ساده: الف) نوع تیمارهای آلی و شیمیایی و ب) نوع بیوچار یا بقایای گیاهی بر نسبت جذب سدیم خاک (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.)

B/AR: بیوچار باگاس نیشکر یا پوست گردو و یا بقایای یونجه، SBB: بیوچار باگاس نیشکر، WSB: بیوچار پوست گردو، AR: بقایای یونجه، G: گچ، AlS: سولفات آلومینیوم، G/AlS: مخلوط گچ و سولفات آلومینیوم

باگاس نیشکر کمترین مقدار هدایت الکتریکی (۱/۵ دسی‌زیمنس برمتر) و خاک حاوی تیمار مخلوط بیوچار پوست گردو با گچ یا مخلوط گچ و سولفات آلومینیم بیشترین مقدار هدایت الکتریکی (۲۳/۱ دسی‌زیمنس بر متر) را در مقایسه با تیمار شاهد داشتند. چنین گزارش شده است که افزودن بیوچار بدون حضور گچ اثر محسوسی بر قابلیت هدایت الکتریکی خاک ندارد؛ حال آنکه کاربرد همزمان گچ و بیوچار موجب افزایش هدایت الکتریکی خاک از ۳/۷ دسی‌زیمنس بر متر در تیمار شاهد به ۷/۷ شد (۲۵). البته لازم به توضیح است که گرچه عمده تیمارهای آزمایشی موجب افزایش هدایت الکتریکی خاک شدند و از این طریق، شدت مسئله شوری خاک را بیشتر کردند اما انجام آبشویی به‌عنوان یک راهکار تکمیلی می‌تواند از این مشکل جلوگیری کند.

اثر تیمارهای مورد استفاده بر نسبت جذب سدیم خاک

اثرات ساده تیمارهای آزمایشی بر نسبت جذب سدیم خاک شور و سدیمی در شکل ۴ ارائه شده است. نتایج گویای آن است که تمام تیمارهای مورد استفاده موجب افزایش معنی‌دار نسبت جذب سدیم خاک شده است. در میان تیمارهای شیمیایی بیشترین افزایش را تیمار مخلوط گچ و بقایای آلی به‌همراه داشته و نسبت جذب سدیم را از ۲۲/۶ در تیمار شاهد به ۳۵/۶ افزایش داد؛ درحالی که در میان انواع تیمارهای آلی مورد استفاده، بیوچار پوست گردو با افزایش مقدار این ویژگی به ۴۸/۴ مؤثرترین تیمار بود.

این مشاهده به این مفهوم است که برایند نتیجه افزودن تیمارهای آلی و شیمیایی به خاک در تغییر ترکیب یون‌های کلسیم، منیزیم و سدیم منجر به افزایش نسبت یون سدیم محلول به مجموع کاتیون‌های کلسیم و منیزیم نسبت به تیمار شاهد شده است. از آنجا که منابع شیمیایی افزوده شده به خاک‌ها یک منبع غنی از کلسیم هستند احتمالاً کاربرد این تیمارها منجر به افزایش غلظت یون‌های کلسیم و منیزیم می‌شوند. از سوی دیگر، هیچ‌یک از منابع شیمیایی و تیمارهای آلی اضافه شده به خاک حاوی سدیم چندانی نیستند. نتیجه آنکه، افزایش نسبت جذب سدیم در پژوهش حاضر ناشی از آن است که در پی افزودن تیمارهای آلی و شیمیایی سدیم موجود در فاز تبادلی وارد فاز محلول خاک شده و موجب افزایش نسبت جذب سدیم شده است. چنین نتیجه‌ای گرچه نشان از تشدید ویژگی نامناسب نسبت جذب سدیم در خاک دارد اما در

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۶. اثرات متقابل تیمارهای شیمیایی و نوع بیوچار یا بقایای گیاهی بر نسبت جذب سدیم خاک

شاهد		تیمار آلی همراه با گچ و سولفات آلومینیوم			تیمار آلی همراه با سولفات آلومینیوم			تیمار آلی همراه با گچ			تیمار آلی		
نوع تیمار آلی	–	AR	WSB	SBB	AR	WSB	SBB	AR	WSB	SBB	AR	WSB	SBB
		+ G/AlS			+ AlS			+ G			-		
نسبت جذب سدیم	۲۲/۶ j	۲۵/۴ d	۵۱/۰ c	۲۳/۳ hij	۲۴/۵ gh	۲۵/۴ b	۲۳/۸ hij	۲۴/۱ ghi	۵۴/۳ a	۲۸/۴ f	۳۱/۰ e	۳۵/۸ d	۲۲/۸ j

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

SBB: بیوچار باگاس نیشکر ، WSB: بیوچار پوست گردو، AR: بقایای یونجه، G: گچ، AlS: سولفات آلومینیم

حقیقت بیانگر موفقیت تیمارهای مورد استفاده در خارج ساختن یون سدیم از فاز تبادلی است. در انطباق با این یافته‌ها، در مطالعه اثرات افزودن بقایای یک گیاه علفی و گچ به یک خاک شور و سدیمی، کاهش درصد سدیم تبادلی در خاک‌های تیمار شده نسبت به خاک شاهد گواهی بر کارایی تیمارهای کاربردی در جایگزین کردن سدیم تبادلی خاک و درنتیجه کاهش اثرات مضر آن عنوان شد؛ اما بیان شد که به‌دلیل عدم انجام آبشویی و خارج نشدن سدیم محلول از خاک، ویژگی نسبت جذب سدیم خاک کاهش نیافته است (۲۷). اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی بر نسبت جذب سدیم خاک شور و سدیمی در جدول ۶ ارائه شده است.

نتایج موجود در جدول ۶ بیانگر آن است که کاربرد همزمان تیمار بیوچار پوست گردو با گچ و سولفات آلومینیم در خاک شور و سدیمی با افزایش بیش از دو برابری نسبت جذب سدیم در مقایسه با تیمار شاهد، منجر به بیشترین افزایش این ویژگی شده است. گزارش شده که کاربرد بیوچار موجب افزایش جزئی مقادیر کلسیم تبادلی در خاک سدیمی می‌شود؛ درحالی که کاربرد مستقل گچ و کاربرد همزمان آن با بیوچار موجب افزایش قابل ملاحظه و معنی‌دار این ویژگی شد (۲۵). همانند دو ویژگی پ‌هاش خاک و هدایت الکتریکی، مشاهده می‌شود که در مورد نسبت جذب سدیم نیز، دو نوع بیوچار مورد استفاده اثرات متفاوتی دارند (جدول ۶).

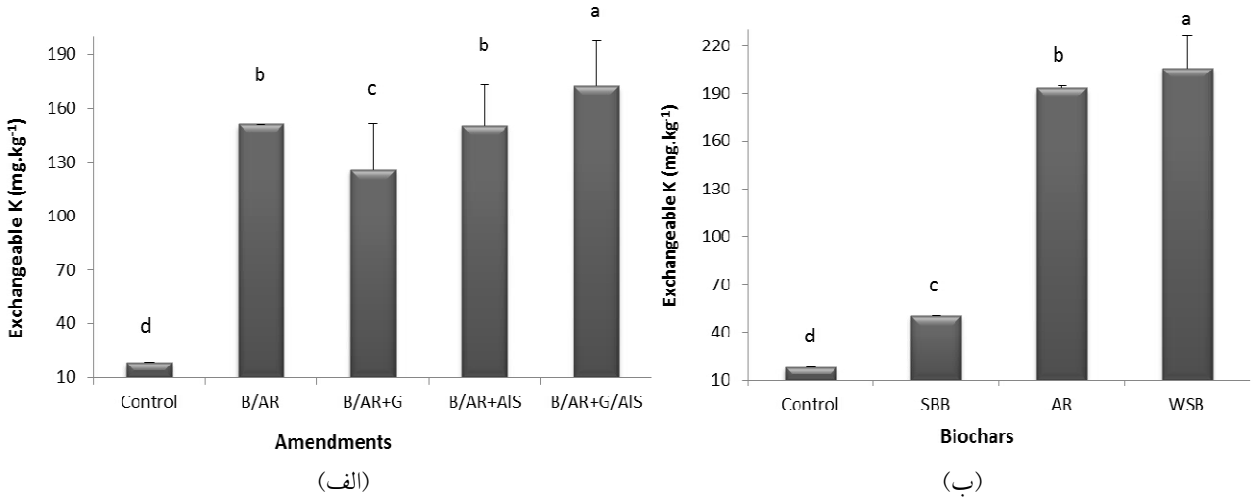
اثر تیمارهای مورد استفاده بر پتاسیم تبادلی خاک

اثرات ساده تیمارهای آزمایشی بر پتاسیم تبادلی خاک شور و سدیمی در شکل ۵ ارائه شده است. همان‌طور که از شکل ۵ مشخص است، تمامی تیمارهای آزمایشی موجب افزایش معنی‌دار و قابل ملاحظه مقدار پتاسیم تبادلی خاک در مقایسه با تیمار شاهد شده‌اند. در این میان تیمار بیوچار پوست گردو با رساندن مقدار پتاسیم تبادلی خاک از ۱۸/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار شاهد به ۲۰۵/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیشترین افزایش این عنصر غذایی را در پی داشت. با توجه به وجود مقادیر قابل توجهی از عناصر غذایی از جمله پتاسیم در بیوچار و بقایای گیاهی، این نتیجه قابل انتظار بود. از سویی گرچه بالاترین مقدار پتاسیم تبادلی خاک در تیمار بیوچار همراه با مخلوط گچ و سولفات آلومینیم به‌دست آمد، اما در مجموع تفاوت چندانی میان وجود و عدم وجود و یا نوع اصلاح کننده شیمیایی مشاهده نشد. مشابه با این یافته‌ها، چنین گزارش شده است که با کاربرد سطح غلظت ۱۰ تن بر هکتار بیوچار تهیه شده از پوست گردو در دمای ۹۰۰ درجه سلسیوس، این تیمار موجب افزایش معنی‌دار غلظت پتاسیم تبادلی خاک از حدود ۱۵۰ به بیش از ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک شد (۹).

مقایسه اثر نوع بیوچار یا بقایای گیاهی بر پتاسیم تبادلی خاک مورد بررسی گویای آن است که بیوچار تهیه شده از پوست گردو و بقایای گیاه یونجه اثرات مثبت به مراتب بیشتری

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵. اثرات ساده: الف) نوع تیمارهای آلی و شیمیایی و ب) نوع بیوچار یا بقایای گیاهی بر پتاسیم تبادلی خاک
(میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.)
B/AR: بیوچار باگاس نیشکر یا پوست گردو و یا بقایای یونجه، SBB : بیوچار باگاس نیشکر، WSB: بیوچار پوست گردو، AR: بقایای یونجه، G: گچ، AlS: سولفات آلومینیوم، G/AlS: مخلوط گچ و سولفات آلومینیوم

جدول ۷. اثرات متقابل تیمارهای شیمیایی و نوع بیوچار یا بقایای گیاهی بر پتاسیم تبادلی خاک

شاهد	تیمار آلی همراه با گچ و سولفات آلومینیوم			تیمار آلی همراه با سولفات آلومینیوم			تیمار آلی همراه با گچ			تیمار آلی		
–	AR	WSB	SBB	AR	WSB	SBB	AR	WSB	SBB	AR	WSB	SBB
	+ G/AlS			+ AlS			+ G			-		
پتاسیم تبادلی (mg/kg)	۱۸/۱ e	۲۵۳/۳ a	۲۰۶/۷ b	۵۷/۷ d	۱۹۸/۰ b	۲۰۵/۷ b	۴۷/۳ d	۱۲۳/۷ c	۲۰۵/۰ b	۴۸/۱ d	۲۰۰/۰ b	۲۰۵/۷ b	۴۷/۶ d

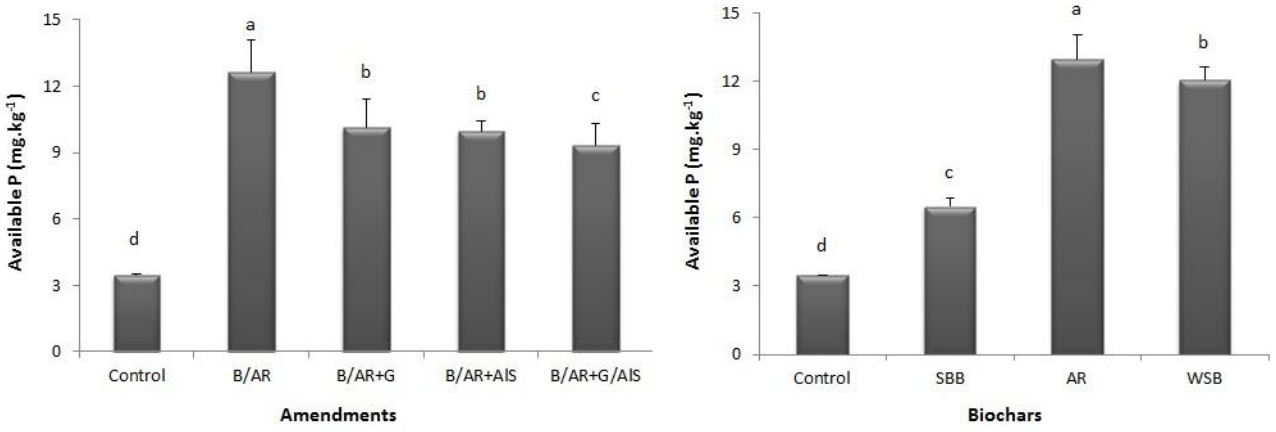
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.
SBB: بیوچار باگاس نیشکر ، WSB: بیوچار پوست گردو، AR: بقایای یونجه، G: گچ، AlS: سولفات آلومینیم

در مقایسه با بیوچار باگاس نیشکر دارند (شکل ۵). به‌نظر می‌رسد بیوچار پوست گردو دارای مقادیر بیشتری پتاسیم نسبت به مواد آلی دیگر است و به‌دلیل تفاوت‌های ساختاری، با سهولت بیشتری پتاسیم خود را به درون خاک رها می‌کند. در انطباق با این یافته‌ها، در مطالعه اثر نوع و مقدار بیوچار بر پتاسیم قابل استفاده در یک خاک آهکی چنین گزارش شد که در میان سه نوع بیوچار تهیه شده از ضایعات هرس سیب، ضایعات هرس انگور و کاه و کلش گندم، افزایش مقدار پتاسیم قابل استفاده در خاک تیمار شده با بیوچار کاه و کلش گندم مشهودتر بود (۱۵)؛ از این‌رو چنین تفسیر شد که در کنار شرایط تولید بیوچار، نوع مواد اولیه اثر بسیار زیادی بر کارایی بیوچارها در افزایش غلظت عناصر غذایی خاک دارد. اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی بر پتاسیم تبادلی خاک در جدول ۷ ارائه شده است.

کاربرد همزمان تیمار بقایای یونجه همراه با مخلوط گچ و سولفات آلومینیم منجر به بیشترین افزایش مقادیر پتاسیم تبادلی خاک (۲۵۳/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در مقایسه با تیمار شاهد

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶. اثرات ساده: الف) نوع تیمارهای آلی و شیمیایی و ب) نوع بیوچار یا بقایای گیاهی بر فسفر قابل دسترس خاک (میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.)

B/AR: بیوچار باگاس نیشکر یا پوست گردو و یا بقایای یونجه، SBB: بیوچار باگاس نیشکر، WSB: بیوچار پوست گردو، AR: بقایای یونجه، G: گچ، AlS: سولفات آلومینیوم، G/AlS: مخلوط گچ و سولفات آلومینیوم

(۱۸/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) شد (جدول ۷). به‌نظر می‌رسد افزودن گچ و سولفات آلومینیم در خاک با بهبود شرایط عمومی خاک شور و سدیمی موجب تسهیل تعادل میان پتاسیم محلول و تبادلی خاک شده‌اند. در پژوهشی مشابه، افزایش پتاسیم خاک در تیمارهای آلی و گچ به‌ترتیب، ناشی از آزاد شدن این عنصر طی تجزیه مواد آلی در خاک و افزایش توان رقابتی عنصر پتاسیم برای قرارگیری در مکان‌های تبادلی عنوان شد (۲۹). همچنین، گزارش شده است که در پی افزودن بقایای گیاهی گندم، ذرت، سویا، پنبه و یونجه به خاک، بقایای یونجه بیشترین افزایش غلظت پتاسیم تبادلی در خاک و در پی آن بیشترین افزایش جذب پتاسیم توسط گیاه گندم کشت شده در آن خاک را رقم زدند (۱). دلیل این مشاهده بالاتر بودن غلظت پتاسیم در بقایای یونجه در مقایسه با بقایای سایر گیاهان و ویژگی‌های مناسب‌تر بقایای یونجه از نقطه نظر شرایط مؤثر بر معدنی شدن ترکیبات آلی بقایای گیاهی همچون نسبت کربن به نیتروژن و محتوای لیگنین و سلولز بیان شد. لازم به ذکر است که بعد از نیتروژن، پتاسیم پرمصرف‌ترین عنصر توسط یونجه است که به‌عنوان کاتالیزور و تنظیم کننده رشد نقش مهمی در رشد و توسعه گیاه یونجه دارد (۱۴).

اثر تیمارهای مورد استفاده بر فسفر قابل استفاده در خاک

اثرات ساده تیمارهای آزمایشی بر فسفر قابل دسترس در خاک شور و سدیمی مورد بررسی در شکل ۶ ارائه شده است. به گواه نتایج موجود در شکل ۶، کاربرد تمامی تیمارهای آزمایشی موجب افزایش معنی‌دار و قابل ملاحظه مقدار فسفر قابل دسترس خاک در مقایسه با تیمار شاهد شدند. مقایسه مقادیر فسفر قابل دسترس در خاک تیمار شده با انواع مواد اصلاح‌کننده گویای آن است که کاربرد تیمار بیوچار یا بقایای گیاهی بدون حضور عامل شیمیایی بالاترین مقادیر فسفر قابل دسترس خاک را رقم زده و مقدار این ویژگی را از ۳/۴۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار شاهد به ۱۲/۶۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم افزایش داد (شکل ۶). بنابراین به نظر می‌رسد افزایش مشاهده شده در مقدار فسفر قابل دسترس بیشتر مربوط به اثر مستقیم بقایای گیاهی و بیوچار در افزودن فسفر به خاک طی فرایند تجزیه در خاک باشد. برخی پژوهشگران بر این عقیده هستند که افزودن بقایای گیاهی به خاک‌های آهکی موجب حل شدن کربنات کلسیم شده و درنتیجه برخی عناصر غذایی، از جمله فسفر پیوند یافته با کربنات‌ها را به داخل خاک آزاد می‌کنند (۱۹).

مقایسه اثر نوع بیوچار یا بقایای گیاهی بر فسفر قابل

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۸ اثرات متقابل تیمارهای شیمیایی و نوع بیوچار یا بقایای گیاهی بر فسفر قابل دسترس خاک

شاهد	تیمار آلی همراه با گچ و سولفات آلومینیوم			تیمار آلی همراه با سولفات آلومینیوم			تیمار آلی همراه با گچ			تیمار آلی		
–	AR	WSB	SBB	AR	WSB	SBB	AR	WSB	SBB	AR	WSB	SBB
	+ G/AlS			+ AlS			+ G			-		
فسفر قابل دسترس (mg/kg)	۲/۵ g	۱۱/۴ c	۱۱/۱ c	۵/۵ f	۱۰/۸ c	۱۰/۹ c	۸/۳ d	۱۴/۰ b	۱۰/۹ c	۵/۵ f	۱۵/۷ a	۱۵/۴ a	۶/۷ e

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

SBB: بیوچار باگاس نیشکر ، WSB: بیوچار پوست گردو، AR: بقایای یونجه، G: گچ، AlS: سولفات آلومینیم

دسترس خاک نیز گویای آن است که تیمار بقایای یونجه کارایی بیشتری در مقایسه با بیوچارها برای افزایش فسفر قابل دسترس خاک نشان داده است و موجب افزایش مقدار این عنصر غذایی مهم از ۳/۴۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار شاهد به ۱۳/۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم شد (شکل ۶). به‌نظر می‌رسد تغییرات انجام گرفته در مواد اولیه حین فرایند پیرولیز، ضمن بالا بردن نسبت عناصر غذایی مفید و ضروری در بیوچار حاصل، تغییرات ساختاری در بیوچار ایجاد می‌کنند که از منظر سهولت آزادسازی عناصر ضروری به درون محلول خاک، لزوماً تغییرات مفیدی نیستند. در مطالعه اثر نوع و مقدار بیوچار بر قابلیت دسترسی فسفر در یک خاک آهکی چنین گزارش شد که متناسب با سطح غلظت بیوچار مورد استفاده و با اثرپذیری از نوع مواد اولیه برای تهیه بیوچار، زیست‌فراهمی فسفر در خاک نیز افزایش می‌یابد؛ به‌نحوی که فسفر قابل استفاده خاک در تیمار ۸ درصد بیوچار ضایعات هرس سیب، ضایعات هرس انگور و کاه و کلش گندم در مقایسه با تیمار شاهد به‌ترتیب، ۲/۰۲، ۲/۹۵ و ۳/۳۲ برابر افزایش یافت (۱۵). با توجه به آنکه مشابه با اثر نوع بیوچار بر مقدار پتاسیم تبادلی خاک (شکل ۵)، در مورد فسفر قابل دسترس خاک نیز کمترین افزایش مربوط به تیمار بیوچار باگاس نیشکر بود (شکل ۶)، به‌نظر می‌رسد این نوع بیوچار ارزش غذایی کمی داشته و با توجه به هزینه‌های تبدیل مواد به بیوچار، در تهیه و کاربرد آن می‌بایست ملاحظات خاصی مدنظر قرار گیرد. گزارش شده است که مقادیر عناصر فسفر و پتاسیم موجود در بیوچار تهیه شده از باگاس نیشکر تنها حدود یک هفتم مقادیر این عناصر در بیوچار بقایای پسته است (۱۱). اثرات متقابل تیمارهای آزمایشی بر فسفر قابل دسترس خاک در جدول ۸ ارائه شده است.

کاربرد مستقل تیمار بقایای یونجه و یا بیوچار تهیه شده از پوست گردو بدون حضور تیمارهای شیمیایی منجر به بیشترین افزایش مقادیر فسفر قابل دسترس خاک (به ترتیب، ۱۵/۷ و ۱۵/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در مقایسه با تیمار شاهد شد (جدول ۸). به نظر می‌رسد افزایش مقادیر فسفر قابل دسترس خاک در این آزمایش کمتر تحت تأثیر تیمارهای شیمیایی و اثرات اصلاحی آنها بر شرایط عمومی خاک شور و سدیمی قرار گرفته است. در انطباق با این یافته‌ها، پژوهشگران با مشاهده عدم اثرپذیری ویژگی‌های ظرفیت تبادل کاتیونی و پ‌هاش خاک از کاربرد بیوچار پوست گردو در خاک، افزایش سه برابری مقدار فسفر قابل دسترس خاک در پی افزودن این نوع بیوچار به خاک را ناشی از آزادسازی مستقیم این عنصر غذایی از بیوچار به درون محلول خاک دانستند (۹). همچنین، در بررسی تأثیر بیوچار و کمپوست ضایعات هرس و تلقیح میکروبی بر فراهمی فسفر در یک خاک قلیایی چنین گزارش شد که بیوچارها علاوه بر بهبود ذخیره فسفر خاک در کوتاه‌مدت از طریق افزایش مستقیم فسفر به خاک، با بهبود ویژگی‌هایی همچون ظرفیت نگهداشت آب و مواد غذایی در خاک

www.SID.ir

Archive of SID

موجب افزایش قابلیت دسترسی گیاهان به فسفر در درازمدت می‌شوند (۲۱). از سوی مقابل گزارش شده است که با توجه به فراوانی اکسیدهای کلسیم و منیزیم در خاک‌های قلیایی و غلظت کم آلومینیم در محلول خاک، با افزودن بیوچار به خاک قلیایی جذب فسفر توسط ذرات خاک افزایش و درنتیجه، زیست‌فراهمی این عنصر طی درازمدت در خاک کاهش می‌یابد (۶).

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع، کاربرد بقایای یونجه و بیوچارهای تهیه شده از باگاس نیشکر و پوست گردو موجب کاهش مقادیر پ‌هاش خاک شور و سدیمی مورد بررسی و افزایش مقادیر هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم شدند. استفاده همزمان از تیمارهای شیمیایی گچ، سولفات آلومینیم یا مخلوط این دو موجب تشدید اثرات تیمارهای آلی شد. کاربرد مستقل تیمار بقایای یونجه و یا بیوچار تهیه شده از پوست گردو بدون حضور تیمارهای شیمیایی منجر به بیشترین افزایش مقادیر فسفر قابل دسترس خاک و کاربرد همزمان تیمار بقایای یونجه همراه با مخلوط گچ و سولفات آلومینیم منجر به بیشترین افزایش مقادیر پتاسیم تبادلی خاک در مقایسه با تیمار شاهد شدند. با توجه به پیچیدگی‌های محیط خاک و تعدد عوامل مؤثر بر جذب عناصر، به‌نظر می‌رسد افزایش فسفر خاک تنها ناشی از آزادسازی مستقیم این عنصر از تیمارهای آلی به درون خاک است؛ درحالی که تیمارهای شیمیایی نیز با بهبود شرایط عمومی خاک شور و سدیمی در افزایش پتاسیم خاک نقش داشته‌اند. تفاوت‌های موجود میان اثرات دو نوع بیوچار مورد استفاده در این پژوهش گویای اثرپذیری شدید کارایی بیوچارها برای اصلاح خاک از نوع مواد اولیه است؛ از این‌رو، با توجه به هزینه‌های تبدیل مواد به بیوچار، می‌بایست ملاحظات ویژه‌ای در زمان انتخاب مواد اولیه برای تهیه بیوچار منظور شود. گرچه اظهارنظر قطعی در مورد توانایی بیوچارهای مورد استفاده در اصلاح ویژگی‌های نامطلوب خاک شور و سدیمی مستلزم اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک پس از انجام آبشویی است، اما به نظر می‌رسد استفاده همزمان از بیوچار پوست گردو همراه با مخلوط گچ و سولفات آلومینیم کارایی بیشتری برای اصلاح خاک‌های شور و سدیمی دارد.

سپاسگزاری

از دانشگاه زنجان به خاطر حمایت‌های مالی این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Akbari, F., K. Poori, B. Kamkar and S. M. AliMaqam. 2011. The effects of wheat, alfalfa, maize, soybean and cotton residues on potassium concentration in soil and its uptake by wheat plant (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Agroecology* 3(2): 163-171. (In Farsi).
2. Alimardani, A., M. A. Delaver and A. Golchin. 2011. The effects of organic and inorganic materials on some physical properties of a sodic soil. *Journal of Soil Management and Sustainable Production* 1(2): 21-38. (In Farsi).
3. Amini, S., H. Ghadiri, Ch. Chen and P. Marschner. 2016. Salt-affected soils, reclamation, carbon dynamics, and biochar: a review. *Journal of Soils and Sediments* 16(3): 939-953.
4. Carter, M. R. and E. G. Gregorich. (Eds.), 2008. Soil Sampling and Methods of Analysis. 2nd Edition, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton.
5. Chaganti, V. N., D. M. Crohn and J. Simunek. 2015. Leaching and reclamation of a biochar and compost amended saline-sodic soil with moderate SAR reclaimed water. *Agricultural Water Management* 158: 255-265.
6. Chintala, R., J. Mollinedo, T. E. Schumacher, D. D. Malo and J. L. Julson. 2013. Effect of biochars on chemical properties of acidic soil. *Archives of Agronomy and Soil Science* 60: 393-404.
7. Day, S. J., J. B. Norton, C. F. Strom, T. J. Kelleners and E. F. Aboukila. 2019. Gypsum, langbeinite, sulfur, and compost for reclamation of drastically disturbed calcareous saline-sodic soils. *International Journal of Environmental Science and Technology* 16: 295-304.

www.SID.ir

Archive of SID

8. Gaskin, J., C. Steiner, K. Harris, K. Das and B. Bibens. 2008. Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. *Transactions of the ASABE* 51(6): 2061-2069.
9. Griffin, D. E., D. Wang, S. J. Parikh and K. M. Scow. 2017. Short-lived effects of walnut shell biochar on soils and crop yields in a long-term field experiment. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 236: 21-29.
10. Joseph, S., C. Peacocke, J. Lehmann and P. Munroe. 2009. Developing a biochar classification and test methods. Biochar for environmental management. *Science and Technology* 1: 107-126.
11. Khanmohammadi, Z., M. Afyuni and M. R. Mosaddeghi. 2015. Effect of pyrolysis temperature on chemical properties of sugarcane bagasse and pistachio residues biochar. *Applied Soil Research* 3(1): 1-13. (In Farsi).
12. Knudsen, D., G. A. Peterson and P. F. Pratt. 1982. Lithium, Sodium and Potassium. PP. 225-246. *In*: Page, A. L. (ed.), Methods of Soil Analysis, (Part II): Chemical and Microbiological Properties, American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, Inc. Publisher. Madison, Wisconsin, USA.
13. Makoi, J. H. J. R. and P. A. Ndakidemi. 2007. Reclamation of sodic soils in Rundugai village, Hai District, Kilimanjaro Region, Tanzania, using locally available organic and inorganic resources. *African Journal of Biotechnology* 6(16): 1926-1931.
14. Mikkelsen, R. L. 2005. Managing phosphorus and potassium for maximum alfalfa yield and quality. In: Proceeding of National Alfalfa Symposium, San Diego, USA.
15. Moradi, N., M. H. Rasouli-Sadaghiani and E. Sepehr. 2017. Effect of biochar types and rates on some soil properties and nutrients availability in a calcareous soil. *Journal of Water and Soil* 31(4): 1232-1246. (In Farsi).
16. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. PP. 539-577. *In*: Page, A. L. (ed.), Methods of Soil Analysis, (Part II): Chemical and Microbiological Properties, American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, Inc. Publisher. Madison, Wisconsin, USA.
17. Olsen S. R. and L. E. Sommers. 1982. Phosphorus. PP. 403- 430. *In*: Page, A. L. (ed.), Methods of Soil Analysis, (Part II): Chemical and Microbiological Properties, American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, Inc. Publisher. Madison, Wisconsin, USA.
18. Page, A. L. 1982. Method of Soil Analysis. Part 2: chemical and microbiological properties. Soil Science Society of American Madison, Wisconsin, USA.
19. Qadir, M., D. Steffens, F. Yan and S. Schubert. 2003. Sodium removal from a calcareous saline-sodic soil through leaching and plant uptake during phytoremediation. *Land Degradation and Development* 14(3): 301-307.
20. Rasouli, F., A. Kiani-Pouya and N. Karimian. 2013. Wheat yield and physicochemical properties of a sodic soil from semi-arid area of Iran as affected by applied gypsum. *Geoderma* 193-194: 246-255.
21. Rasouli-Sadaghiani, M. H., R. Vahedi and M. Barin. 2018. Effect of pruning waste biochar and compost and microbial inoculation on phosphorus availability. *Journal of Water and Soil* 32(4): 709-722. (In Farsi).
22. Rousta, M. J., A. Golchin, H. Siadat and N. Saleh-Rastin. 2002. Effects of organic matter and mineral compounds on some chemical properties and biological activity of a sodic soil. *Journal of Water and Soil Sciences* 16(1): 1-13. (In Farsi).
23. Sappor, D. K., B. A. Osei and M. R. Ahmed. 2017. Reclaiming sodium affected soil: the potential of organic amendments. *International Journal of Plant and Soil Science* 16(2): 1-11.
24. Schoeneberger, P. J., D. A. Wysocki, E. C. Benham and W. D. Broderson. 2012. Field book for describing and sampling soils, version 3.0. USDA Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
25. Schultz, E., A. Chatterjee, T. DeSutter and D. Franzen. 2017. Sodic soil reclamation potential of gypsum and biochar additiions: influence on physicochemical properties and soil respiration. *Communications in Soil Science and Plant Analyses* 48(15): 1792-1803.
26. Sparks, D. L. 2002. Environmental Soil Chemistry. (2nd ed). Academic Press.
27. Wong, V. N. L., R. C. Dalal and R. S. B. Greene. 2009. Carbon dynamics of sodic and saline soils following gypsum and organic material additions: A laboratory incubation. *Applied Soil Ecology* 41: 29-40.
28. Wu, Y., G. Xu and H. B. Shao. 2014. Furfural and its biochar improve the general properties of a saline soil. *Solid Earth* 5: 665-671.
29. Yazdanpanah, N., E. Pazira, A. Neshat and M. Mahmoodabadi. 2012. Effect of different amendments on some physical and chemical properties of a saline-sodic soil. *Arid Biome* 2 (1): 83-97. (In Farsi).
30. Yue, Y., W. N. Guo, Q. M. Lin, G. T. Li and X. R. Zhao. 2016. Improving salt leaching in a simulated saline soil column by three biochars derived from rice straw (*Oryza sativa* L.), sunflower straw (*Helianthus annuus*), and cow manure. *Journal of Soil and Water Conservation* 71(6): 467-475.

www.SID.ir

Archive of SID

Journal of Water and Soil Science
Vol. 24, No. 4, Winter 2021, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Applying Biochar and Mineral Amendments to Remediate the Chemical Properties of a Saline-Sodic Soil

Z. Noori[1], M. A. Delavar[1] and Y. Safari[2*]

(Received: May 25-2019 ; Accepted: June 20-2020)

Abstract

The present study was intended to improve the chemical properties of a saline-sodic soil using the individual application of alfalfa residue and two biochars produced from sugarcane bagasse and walnut shell, at the weighting ratio of 5%; their concomitant application with gypsum, aluminum sulfate and the mixture of these two chemical amendments was considered. The experiment was conducted in three replications using the factorial experiment in a completely randomized design. After four months of incubation, the soil samples were measured for their main chemical properties. The results showed that alfalfa residues were the most effective treatment to reduce the soil pH; so the concomitant application of this organic amendment with gypsum lowered the soil pH from 9.13 in the control (untreated soil) to 7.24. It was also observed that the addition of gypsum and/or aluminum sulfate to the soil led to the increase of the soil electrolyte concentration and consequently, the increase of soil electrical conductivity to three times greater than control, through an increase of ions, like calcium and sulfate in the soil solution. Increasing the soluble sodium concentration by replacing exchangeable sodium by other similar ions showed that the studied treatments enhanced the sodium adsorption ratio (SAR), which could be regulated by washing. Concomitant application of the walnut-shell biochar with gypsum had the most increasing effect on the soil SAR, enhancing it from 22.6 in the control to 54.3. Potassium was released from organic amendments, improving the soil general conditions; addition of chemical amendments elevated soil exchangeable potassium contents; however, the elevated soil available phosphorus contents were less influenced by chemical amendments application. As the conclusion, it seems that the positive impacts of the applied chemical and organic amendments would supplement each other; as a result, the concurrent use of both treatments not only improves the bad soil chemical properties, but also enhances the soil fertility.

Keywords: Soil remediation, Sugarcane bagasse, Walnut shell, Biochar, Pyrolysis

1. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
2. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.
*: Corresponding author, Email: yaser.safari@shahroodut.ac.ir

www.SID.ir