تاثیر دمای گرماکافت بیوچار بر قابلیت دسترسی و جزءبندی روی در یک خاک طبیعی آلوده

پروین کبیری[۱]، حمیدرضا متقیان[۲] و علیرضا حسین‌پور[۳]
۱، ۲ و ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار و استاد گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد

چکیده

هدف این مطالعه بررسی تاثیر دمای گرماکافت بیوچار برگ گردو بر قابلیت دسترسی و جزءبندی روی در یک خاک طبیعی آلوده بود. بدین منظور، آزمایش گلدانی شامل سطوح ۰ و ۰/۵ درصد بیوچار تهیه‌شده در دماهای ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس با ۳ کیلوگرم خاک در ۳ تکرار مخلوط و به مدت ۴۵ روز در شرایط گلخانه خوابانده شد. نتایج نشان داد که با کاربرد بیوچار تهیه‌شده در دمای ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس، روی عصاره‌گیری‌شده با DTPA-TEA به‌ترتیب ۳، ۸ و ۳۰ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. طبق نتایج، با افزایش دما، مقادیر اجزاء روی نیز کاهش پیدا کرد. به‌گونه‌ای‌که در پایان آزمایش، روی تبادلی، پیوندشده با کربنات، پیوندشده با اکسیدها، پیوندشده با ماده‌آلی و باقی‌مانده به ترتیب ۳۰، ۲۷، ۱۶، ۳۹ و ۲۹ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت، بنابراین بیوچار تهیه‌شده در دماهای بالاتر، توان کاهش بیشتر روی دردسترس را داشت.

واژه های کلیدی: برگ گردو، روی- DTPA، جزءبندی، خاک آلوده

مقدمه

فلزات سنگین از جمله آلاینده‌های زیست‌محیطی هستند که در همه جوامع صنعتی یافت می‌شوند (Lasat., 2002). واژه فلزات سنگین به فلزها و شبه فلزهایی که دارای چگالی بیش از ۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب هستند، اطلاق می‌شود. سمیت فلزات سنگین و تجمع آنها در زنجیره‌های غذایی یکی از اصلی‌ترین معضلات زیست‌محیطی و بهداشتی جوامع امروزی است (Adriano., 2001). روی (Zn)، یکی از عناصر کم‌نیاز ضروری برای رشد گیاهان و جانوران است (Tapeiro et al., 2003). وقتی مقدار این عنصر بیش از حد طبیعی باشد، جزء فلزات سمی و خطرناک به حساب می‌آید و می‌تواند تهدید جدی برای موجودات در خاک محسوب شود. میزان روی طبیعی در خاک، حدود ۱ تا ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (Rashed., 2010). سازمان بهداشت جهانی بر اساس غلظت کل فلز در خاک، محدوده هشدار را برای روی ۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کرده است (Tembo et al., 2006). اطلاع از شکل‌های شیمیایی عناصر سنگین در خاک، برای دانستن قابلیت زیست‌فراهمی این عناصر و تحرک آنها در خاک مهم است. به طور کلی شکل‌های قابل جذب این عناصر توسط گیاه اهمیت دارند و مقدار کل این عناصر تنها بیان‌کننده درجه آلودگی خاک می‌باشند (Xian., 1989).

بیوچار، ماده آلی حاصل از فرآیند گرماکافت (*pyrolysis*) ترکیبات آلی می‌باشد. گرماکافت ترکیبات زائد آلی مانند بقایای گیاهی، زراعی، جنگلی و فضولات دامی در شرایط بدون اکسیژن و یا اکسیژن محدود و دمای بالا، سبب تشکیل مقداری ترکیبات کربنی فرار، مقداری ترکیبات کربنی باقیمانده و خاکستر حاوی مقدار قابل‌ملاحظه کلسیم و پتاسیم می‌شود (Novak et al., 2009). بیوچار دارای ساختمان منحصربه‌فرد فیزیکی و شیمیایی است که می‌تواند سبب بهبود کیفیت و سلامت خاک، افزایش عملکرد محصول، افزایش گنجایش تبادل کاتیونی، افزایش اسیدیته خاک اسیدی، کاهش جذب ترکیبات سمی خاک و بهبود ساختمان خاک شود (Liu et al., 2015). همچنین در پژوهش‌های مختلف، گزارش شده است که کاربرد بیوچار در خاک‌های آلوده می‌توانـــد به‌طور چشمگیری قابلیت دسترسی عناصرسنگین را از طریق افزایش گنجایش تبادل کاتیونی و افزایش pHخاک اسیدی کاهش دهد (Park et al., 2011; Zheng et al., 2012; Rodríguez-Vila et al., 2015).

با توجه به آلودگی روزافزون خاک‌ها با فلزات سنگین از راه‌های مختلف، ضرورت اصلاح این خاک‌ها با روش‌های کم‌هزینه وجود دارد. علاوه بر این، ممکن است کاربرد مواد اصلاح کننده، مقدار و سمیت فلزات سنگین را در خاک آلوده کاهش دهد و

امکان استفاده بهتر از خاک را افزایش دهد. برای تحقق این هدف، ممکن است بیوچار مفید باشد. به علاوه، استفاده مناسبی از برگ درخت گردو در استان چهارمحال و بختیاری نمی‌شود. این تحقیق، به‌دلیل فقدان مطالعات کافی در زمینه بررسی تأثیر بیوچار تهیه‌شده از برگ درخت گردو بر قابلیت دسترسی و جزءبندی روی در خاک قلیایی آلوده انجام شد.

مواد و روش‌ها

خاک مورد استفاده از منطقه سپاهان‌شهر واقع در جنوب اصفهان و در شمال جاده اصفهان – شیراز برداشت شد. در قسمت‌های جنوبی اراضی منطقه مسکونی سپاهان‌شهر، معدن دولتی باما و چند معدن خصوصی دیگر وجود دارد که غنی از رگه‌های سرب و روی می‌باشند و از سال‌های قبل، فرآیند استخراج از آنها شروع شده و تاکنون ادامه دارد. از این منطقه، نمونه‌خاکی دارای آلودگی برداشت شد. نمونه‌خاک با چکش چوبی کوبیده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. ویژگی‌های خاک از قبیل بافت به‌روش هیدرومتر، pH، قابلیت هدایت الکتریکی و ماده‌آلی به روش اکسیداسیون‌تر تعیین شد. مقدار روی کل با استفاده از اسیدنیتریک ۴ مولار (Sposito et al., 1982) و مقدار روی قابل استفاده با روش DTPA-TEA (Lindsay and Norvell., 1978) عصاره‌گیری شد.

برای تهیه بیوچار از برگ ریخته شده پای درخت گردو در پایان فصل رشد و از باغ‌های استان چهارمحال و بختیاری استفاده شد. بیوچار در سه دمای ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس با قرار دادن درکوره به‌مدت ۲ ساعت و در شرایط کمبود اکسیژن تهیه شد. مقدار pH بیوچار تهیه‌شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس اسیدی (pH=۵/۲) و قابلیت هدایت الکتریکی آن ۴/۴ دسی‌زیمنس بر متر، pH بیوچار تهیه‌شده در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس قلیایی (pH=۹/۳) و قابلیت هدایت الکتریکی آن ۵/۶ دسی‌زیمنس بر متر و pH بیوچار تهیه‌شده در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس قلیایی (pH=۱۰/۴) و قابلیت هدایت الکتریکی آن ۸/۱ دسی‌زیمنس بر متر بود.

بررسی قابلیت دسترسی و جزءبندی روی

سه کیلوگرم خاک آلوده عبورکرده از الک ۲ میلی‌متری با مقدار ۰/۵ درصد وزنی–وزنی بیوچار (معادل ۱۰ تن در هکتار) تولیدشده در دمای ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلدان مخلوط شد. خاک‌ها به‌مدت ۴۵ روز در رطوبت حدود ظرفیت مزرعه در گلخانه خوابانده شدند. پس از این مدت روی دردسترس (DTPA-TEA) (Lindsay and Norvell; 1978) و اجزاء روی (جدول ۱) تعیین شد. پس از انجام تجزیه واریانس یکطرفه، مقایسه میانگین‌ها با روش LSD (حداقل اختلاف معنی‌دار) در سطح ۵ درصد انجام شد.

جدول ۱- روش جزءبندی روی (Tessier et al., 1979)

شکل	مرحله	روش عصاره‌گیری	دما (درجه سلسیوس)	زمان (ساعت)
تبادلی	۱	۱ گرم خاک + ۸ میلی‌لیتر $MgCl_2$ ۱ مولار (pH =۷)	دمای اتاق	۲
پیوندشده با کربنات‌ها	۲	۸ میلی‌لیتر CH_3COONa ۱ مولار (pH=۵)	دمای اتاق	۶
پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز	۳	۲۰ میلی‌لیتر $NH_2OH.HCl$ ۰/۰۴ مولار (در اسید استیک ۲۵٪)	۹۶±۳	۶
پیوندشده با ماده‌آلی	۴	۵ میلی‌لیتر HNO_3 ۰/۰۲ مولار + ۸ میلی‌لیتر H_2O_2 ۳۰٪ (pH=۲)	۸۵±۲	۵
		+		
		۵ میلی‌لیتر NH_4OAc ۳/۲ مولار (در اسید نیتریک ۲۰٪)	دمای اتاق	۰/۵
باقی‌مانده *	۵	۷ میلی‌لیتر HNO_3 ۴ نرمال	۸۰±۲	۱۶

* بخش باقی‌مانده با استفاده از روش عصاره‌گیری اسپوزیتو و همکاران (۱۹۸۲) اندازه‌گیری شد.

نتایج و بحث

خصوصیات خاک مورد مطالعه

خاک مورد مطالعه دارای بافت شن‌لومی (۷۸ درصد شن، ۱۵ درصد سیلت و ۷ درصد رس) با pH =۷/۵ و قابلیت هدایت الکتریکی ۰/۸۲ دسی‌زیمنس بر متر بود. ماده آلی آن ۰/۲۷ درصد، روی کل ۳۳۸۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم و روی قابل‌استفاده ۲۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود.

میانگین اجزاء روی در تیمارهای مختلف در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج تجزیه واریانس داده‌های آماری نشان داد که تاثیر دمای تهیه بیوچار بر قابلیت دسترسی و اجزاء روی در تیمارهای مورد مطالعه معنی‌دار ($p <$۰/۰۵) بود. در خاک‌های تیمارشده با بیوچار تهیه‌شده در دمای ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس، مقدار روی عصاره‌گیری‌شده با DTPA-TEA پس از ۴۵ روز انکوباسیون کاهش یافت. قابلیت دسترسی روی از ۲۲۸/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در شاهد به ۲۲۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار دارای بیوچار تهیه‌شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس، ۲۰۹/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار دارای بیوچار تهیه‌شده در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس و ۱۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در تیمار دارای بیوچار تهیه‌شده در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس کاهش یافت. بنابراین با کاربرد بیوچار تهیه‌شده در دمای ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس، روی دردسترس به ترتیب به میزان ۳، ۸ و ۳۰ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. نتایج بررسی‌های هائو و همکاران (۲۰۱۳) و یانگ و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که استفاده از دماهای بالاتر در تولید بیوچار، باعث ایجاد منافذ ریزتر و سطح ویژه بیشتر در بیوچار تولیدشده می‌شود و بنابراین جذب آلاینده‌ها در آن بیشتر صورت می‌گیرد. آل‌وابل و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که از مزیت‌های بیوچار تهیه‌شده در دمای بالا، پایداری کربن موجود در آن بود که باعث تاثیر طولانی‌مدت‌تر بیوچار بر جذب عناصر سنگین شد. به‌علاوه، یکی از مهمترین عوامل کاهش اجزاء روی در این مطالعه، افزایش دمای تولیدی بیوچار بود. طبق نتایج، در خاک شاهد، بیشترین مقدار روی در جزء باقی‌مانده (۲۳۲۶۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز (۶۶۰۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم)، پیوندشده با ماده‌آلی (۲۲۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و پیوندشده با کربنات‌ها (۱۶۶۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. روی محلول از ۰/۹۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک شاهد به ۰/۷۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک تیمارشده با بیوچار تهیه‌شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس، ۰/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک تیمارشده با بیوچار تهیه‌شده در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس و ۰/۵۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک تیمارشده با بیوچار تهیه‌شده در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس کاهش یافت. روی تبادلی از ۸۳/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک شاهد به ۷۶/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک تیمارشده با بیوچار تهیه‌شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس، ۶۸/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک تیمارشده با بیوچار تهیه‌شده در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس و ۵۸/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک تیمارشده با بیوچار تهیه‌شده در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس کاهش یافت. روی پیوندشده با کربنات از ۱۶۶۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در شاهد به ۱۳۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک تیمارشده با بیوچار تهیه‌شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس، ۱۱۵۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک تیمارشده با بیوچار تهیه‌شده در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس و ۱۲۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک تیمارشده با بیوچار تهیه‌شده در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس کاهش یافت. روی پیوندشده با ماده‌آلی از ۲۲۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک شاهد و ۲۳۳۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک تیمارشده با بیوچار تهیه‌شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس به ۱۵۸۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک تیمارشده با بیوچار تهیه‌شده در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس و ۱۳۸۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک تیمارشده با بیوچار تهیه‌شده در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس کاهش یافت. روی پیوندشده با اکسیدها از ۶۶۰۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک شاهد به ۶۴۴۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک تیمارشده با بیوچار تهیه‌شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس به ۶۳۸۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک تیمارشده با بیوچار تهیه‌شده در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس و ۵۵۳۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک تیمارشده با بیوچار تهیه‌شده در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس کاهش یافت. بنابراین، روی محلول، تبادلی، پیوندشده با کربنات، پیوندشده با اکسیدها با کاربرد بیوچار تهیه‌شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس، به ترتیب ۲۰، ۹، ۱۸ و ۲ درصد، با کاربرد بیوچار تهیه‌شده در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس ۳۵، ۱۸، ۳۱ و ۳ درصد و با کاربرد بیوچار تهیه‌شده در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس ۴۲، ۳۰، ۲۷ و ۱۶ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. تفاوت روی باقی‌مانده در خاک

شاهد با خاک دارای بیوچار تهیه‌شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس معنی‌دار نبود ($p >$ ۰/۰۵)، در حالی‌که تفاوت بین خاک شاهد و خاک تیمارشده با بیوچار تهیه‌شده در دمای ۴۰۰ و ۶۰۰ درجه سلسیوس معنی‌دار بود ($p <$ ۰/۰۵)، به‌گونه‌ای‌که روی باقی‌مانده از ۲۳۲۶۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک شاهد و ۲۴۴۰۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک تیمارشده با بیوچار تهیه‌شده در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس به ۲۰۳۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک تیمارشده با بیوچار تهیه‌شده در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس و ۱۶۴۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک تیمارشده با بیوچار تهیه‌شده در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس کاهش یافت. روی باقی‌مانده با کاربرد بیوچار تهیه‌شده در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس ۱۳ درصد و با کاربرد بیوچار تهیه‌شده در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس ۲۹ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. کاهش مقدار روی کل در اثر کاربرد بیوچار در مطالعات قبلی نیز گزارش شده است. بنابراین احتمالا روشهای عصاره‌گیری، توانایی استخراج عنصر جذب شده توسط بیوچار را ندارند. (Ma and Rate., 2007).

مشابه با نتایج این تحقیق ملو و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی تأثیر بیوچار تولیدشده از نیشکر بر قابلیت دسترسی، جذب و آزادشدن روی در دو خاک آلوده در برزیل (رده‌های اکسی‌سول و انتی‌سول) پرداختند. آنان برای تهیه بیوچار نیشکر از دمای ۷۰۰ درجه سلسیوس و زمان ۱ ساعت استفاده کردند. خاک‌ها با استفاده از مقدار ۱۰ درصد وزنی–وزنی بیوچار در ۳ تکرار تیمار و در پایان آزمایش (۹۶ ساعت پس از شروع آزمایش)، عناصر سنگین توسط عصاره‌گیر DTPA-TEA استخراج گردیدند. بیوچار نیشکر تولیدشده در دمای بالا، باعث افزایش جذب روی بر سطوح کلوئیدی خاک شد. تیمار بیوچار باعث کاهش روی قابل‌استفاده در خاک گردید؛ زیرا بیوچارها قلیایی بودند و باعث غیرمتحرک‌شدن عناصر سنگین، افزایش تحرک اکسی‌آنیون‌ها و افزایش بارهای منفی به‌خصوص در خاک‌های اکسی‌سول شدند. به علت اینکه pH بیوچار قلیایی بود، کلوئیدهای دارای گروه‌های Fe-OH و Al-OH دهیدروژنه شدند و جذب عناصر سنگین توسط خاک در این تیمارها افزایش یافت. علاوه بر این در تیمار اکسی‌سول، گونه‌های هیدروکسید-فلز ($ZnOH^+$) تشکیل شدند که باعث افزایش جذب عناصر سنگین گردید. در بررسی آنان روی به مقدار بیشتری در خاک انتی‌سول نسبت به اکسی‌سول آزاد شد. بیوچارها قادر به تبادل کاتیونی با عناصر سنگین بوده‌اند. علت اصلی این پدیده، پروتونه شدن سطوح بیوچار و خنثی‌شدن آنها توسط فسفات‌ها یا کربنات‌های آزاد شده از سطوح بیوچار بود. آنان گزارش کردند که یون آلومینیم، تنها در خاک انتی‌سول وجود داشت و در غلظت‌های بالای روی، یون آلومینیوم توانست با این عناصر، تبادل و در محلول خاک هیدرولیز شود و در نتیجه باعث کاهش pH در این خاک گردد. طبق نتایج آنان، علت اصلی جذب عناصر سنگین در تیمار خاک رده انتی‌سول، سطح جذب بالای بیوچار بود.

یانگ و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی اثر بیوچار تهیه‌شده از ساقه تنباکو در دمای ۴۵۰ درجه سلسیوس و بیوچار تهیه‌شده از خوک مرده در دمای ۶۵۰ درجه سلسیوس، به‌مدت ۲ ساعت بر جزءبندی (Tessier et al., 1979) و قابلیت استفاده عناصر سنگین در خاک آبرفتی و اسیدی شالیزاری در چین که دارای بافت لوم‌رسی بود، پرداختند. آنان آزمایش گلخانه‌ای شامل تیمارهایی در ۴ سطح بیوچار (۰، ۱، ۲/۵ و ۵ درصد وزنی–وزنی) و ۳ تکرار و کاشت گیاه تنباکو اجرا و پس از ۸۰ روز آنالیز آزمایشگاهی نمونه‌خاک و گیاه انجام شد. در پایان آزمایش، مقدار روی استخراج شده توسط کلریدکلسیم ۰/۰۱ مولار با افزایش سطح بیوچار کاهش یافت، به‌گونه‌ای‌که با کاربرد بیوچار ساقه تنباکو، مقدار روی استخراج شده در پایان آزمایش ۹۴/۴ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. همچنین بیوچار کود مرغی در سطح ۵ درصد، نیز مقدار روی استخراج‌شده را به ۶۱/۸ درصد کاهش داد. طبق نتایج آنان در خاک شاهد، بیش از ۵۰ درصد روی کل به صورت پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز بود. با کاربرد بیوچار خوک مرده، روی پیوندشده با اکسیدهای آهن و منگنز از ۵۲/۶ درصد در شاهد به ۵۴/۵ درصد در تیمار دارای ۱ درصد بیوچار و ۶۳ درصد در تیمار دارای ۲/۵ درصد بیوچار و ۶۵/۷ درصد در تیمار دارای ۵ درصد بیوچار خوک مرده افزایش یافت. آنان علت این افزایش را به وجود گروه‌های عاملی اکسیژنی زیاد موجود در بیوچار خوک نسبت دادند. مقدار روی باقی‌مانده از ۳۱/۴ درصد در شاهد به ۲۹/۳ درصد در خاک تیمار شده با ۱ درصد بیوچار، ۱۸/۱ درصد در خاک تیمار شده با ۲/۵ درصد بیوچار و ۱۶/۳ درصد در خاک تیمارشده با ۵ درصد بیوچار خوک مرده، کاهش یافت.

جدول ۲- روی دردسترس و اجزاء روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در خاک‌های مورد مطالعه

بیوچار	دردسترس*	محلول	اجزاء				کل
			تبادلی	پیوندشده با کربنات	پیوندشده با اکسیدها	پیوندشده با ماده‌آلی	باقی‌مانده	
شاهد	۲۲۸/۸a	۰/۹۳a	۸۳/۷a	۱۶۶۴a	۶۶۰۴a	۲۲۹۰a	۲۳۲۶۵a	۳۳۹۰۷a
بیوچار ۲۰۰	۲۲۰/۸a	۰/۷۴b	۷۶/۴ab	۱۳۵۷b	۶۴۴۴a	۲۳۳۸a	۲۴۴۰۵a	۳۴۶۲۰a
بیوچار ۴۰۰	۲۰۹/۵b	bc ۰/۶۰	۶۸/۷b	۱۱۵۶c	۶۳۸۹a	۱۵۸۸b	۲۰۳۲۸ab	۲۹۵۳۰ab
بیوچار ۶۰۰	۱۶۰c	۰/۵۴c	۵۸/۴c	۱۲۱۳c	۵۵۳۱b	۱۳۸۲c	۱۶۴۲۳b	۲۴۶۰۷b

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد ندارند.

* DTPA-TEA

منابع

Adriano D.C. 2001. Trace Elements in Terrestrial Environments, Biochemistry, Bioavailability and Risks of Metals. Springer-Verlag, New York. 867p.

Al-Wabel M.I., Al-Omran A., El-Naggar A.H., Nadeem M. and Usman A.R. 2013. Pyrolysis temperature induced changes in characteristics and chemical composition of biochar produced from conocarpuswastes. Bioresource Technology, 131: 374-379.

Hao F., Zhao X., Ouyang W., Lin C., Chen S., Shan Y. and Lai X. 2013. Molecular structure of corncob-derived biochars and the mechanism of atrazine sorption. Agronomy Journal, 105: 773-782.

Lasat M.M. 2002. Phytoextraction of toxic metals – A review of biological mechanisms. Journal of Environmental Quality, 31: 109–120.

Lindsay W.L. and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society of America, 42: 421-428.

Liu W., Wang S., Lin P., Sun H., Hou J., Zuo Q. and Huo R. 2015. Response of CaCl2-extractable heavy metals, polychlorinated biphenyls, and microbial communities to biochar amendment in naturally contaminated soils. Journal of Soils and Sediments, 16: 476-485.

Ma Y. and Rate A.W., 2007. Metals adsorbed to charcoal are not identifiable by sequential extraction. Environmental Chemistry, 4(1): 26-34.

Melo L.C., Puga A.P., Coscione A.R., Beesley L., Abreu C.A. and Camargo O.A. 2016. Sorption and desorption of cadmium and zinc in two tropical soils amended with sugarcane-straw-derived biochar. Journal of Soils and Sediments, 16: 226-234.

Novak J.M., Lima I., Xing B., Gaskin J.W., Steiner C., Das K.C., Ahmedna M., Rehrah D., Watts D.W., Busscher W.J. and Schomberg H. 2009. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. Annals of Environmental Science, 3: 195-206.

Park J.H., Choppala G.K., Bolan N.S., Chung J.W. and Chuasavathi T. 2011. Biochar reduces the bioavailability and phytotoxicity of heavy metals. Plant and Soil, 348: 439-451.

Rashed M.N. 2010. Monitoring of contaminated toxic and heavy metals, from mine tailings through age accumulation, in soil and some wild plants at southeast Egypt. Journal of Hazardous Materials, 178: 739-746.

Rodríguez-Vila A., Asensio V., Forján R. and Covelo E.F. 2015. Chemical fractionation of Cu, Ni, Pb and Zn in a mine soil amended with compost and biochar and vegetated with *Brassica juncea* L. Journal of Geochemical Exploration, 158: 74-81.

Sposito G., Lund L.J. and chang A.C. 1982. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. Soil Science Society of America Journal, 46: 260-265.

Tapeiro H., Townsend D.M. and Tew K.D. 2003. Trace elements in human physiology and pathology: copper. Biomedicine and Pharmacotherapy, 57: 386-398.

Tembo B.D., Sichilongo K. and Cernak J. 2006. Distribution of copper, lead, cadmium and zinc concentrations in soils around Kabwe town in Zambia. Chemosphere, 63: 497–501

Tessier A., Campbell P.G. and Bisson M. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. Analytical chemistry, 51: 844-851.

Xian X. 1989. Effect of chemical forms of cadmium, zinc, and lead in polluted soils on their uptake by cabbage plants. Plant and Soil, 113: 257-264.

Yang X., Lu K., McGrouther K., Che L., Hu G., Wang Q., Liu X., Shen L., Huang H., Ye Z. and Wang H. 2015. Bioavailability of Cd and Zn in soils treated with biochars derived from tobacco stalk and dead pigs. Journal of Soils and Sediments, 1: 1-12.

Yang X.B., Ying G.G., Peng P.A., Wang L., Zhao J.L., Zhang L.J., Yuan P. and He H.P. 2010. Influence of biochars on plant uptake and dissipation of two pesticides in an agricultural soil. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58: 7915-7921.

Zheng R.L., Cai C., Liang J.H., Huang Q., Chen Z., Huang Y.Z., Arp H.P.H. and Sun G.X. 2012. The effects of biochars from rice residue on the formation of iron plaque and the accumulation of Cd, Zn, Pb, As in rice *(Oryza sativa L.)* seedlings. Chemosphere, 89(7): 856-862.

The effect of biochar generated at different pyrolysis temperatures on fractionation and accessibility of Zn in a naturally contaminated soil

P. Kabiri[1], H.R. Motaghian[2], A.R. Hosseinpur[3]

1, 2 and 3- M.Sc. Assisstant Prof., and Professor of Soil Science Dept., Faculty of Agriculture, Shahr-e-Kord University, Shahr-e-Kord

Abstract

The aim of this study was to evaluate the effect of biochar produced at different pyrolysis temperatures on fractionation and accessibility of Zn in a naturally contaminated soil. Biochars prepared from Walnut leaves at three different temperatures (200, 400 and 600°C) were applied to the soil at 0.5% application rate in an incubation pot experiment. The DTPA-TEA–extractable Zn content decreased by 3, 8 and 30%, respectively with increasing temperature (200, 400 and 600°C) as compared to the control soil after 45 days of incubation. Sequential extraction of Zn showed that application of biochar produced at 600°C temperature, significantly decreased the exchangeable form, the carbonate bound, Fe/Mn oxide bound, organic bound, and residual fractions to 58.4, 1213, 5531, 1382 and 16423 mg/kg, which is reduced by 30, 27, 16, 39 and 29%, respectively as compared to the control, So the biochar generated at higher temperatur was more effective to decrease Zn accessibility based on the chemical fractionation from this research.

Keywords: Walnut leaf, Zn- DTPA-TEA, fractionation, contaminated soil