Archive of SID

نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال دهم، شماره یک، پاییز ۱۳۹۹

ISSN 2251-7480

اثر اضافه کردن زئولیت و بیوچار به خاک بر جذب عناصر سنگین توسط سیب‌زمینی در خاک آلوده

وحیده اسماعیلی[۱]، جلیل اجلی[۲*]، علی فرامرزی[۳]، مهرداد عبدی[٤]، مرتضی قلی‌زاده[٥]

۱) دانشجوی دکتری گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، واحد میانه، دانشگاه آزاد اسلامی، میانه، ایران

۲) استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، واحد میانه، دانشگاه آزاد اسلامی، میانه، ایران

۳) استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، واحد میانه، دانشگاه آزاد اسلامی، میانه، ایران

٤) استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، واحد میانه، دانشگاه آزاد اسلامی، میانه، ایران

٥) استادیار گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

*نویسنده مسئول مکاتبات: jalil.ajali@m-iau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۰۵

چکیده:

فلزات سنگین از فعالیت‌های انسان وارد خاک و چرخه مواد غذائی شده و می‌توانند موجب مسمومیت گردند. در این تحقیق تاثیر افزودن بیوچار چوب صنوبر، بیوچار مخلوط و زئولیت بر کاهش جذب سرب، نیکل و کادمیوم توسط سیب‌زمینی بررسی شد. ازیک راکتور با ابعاد آزمایشگاهی جهت تهیه بیوچار توسط فرآیند گازسازی (دمای ۸۵۰ درجه سانتیگراد) استفاده شد. به این منظور آزمایشی به‌صورت کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه‌ای در منطقه‌ی باسمنج تبریز اجرا شد. درصدهای مواد افزودنی ۲، ۳ و ۵ انتخاب گردید. صفات میزان سرب، نیکل و کادمیوم در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بودند. بیشترین و کمترین میزان جذب سرب مربوط به تیمار شاهد (۶/۸۹ میلی‌گرم بر گرم) و فاکتور بیوچار چوب (۳/۸۵ میلی‌گرم بر گرم) بود. فاکتور بیوچار چوب (۲/۷۵ میلی‌گرم بر گرم) نسبت به فاکتور بیوچار مخلوط (۳/۳۱ میلی‌گرم بر گرم) و زئولیت (۴/۵ میلی‌گرم بر گرم) کمترین نیکل را جذب داشت. بیشترین نیکل مربوط به تیمار شاهد (۶/۷۵ میلی‌گرم بر گرم) و کمترین نیکل مربوط به تیمارهای سطح دوم (۳٪) و سوم (۵٪) بیوچار چوب (۲/۸ و ۲/۰۵ میلی‌گرم بر گرم) و سطح سوم (۵٪) فاکتور بیوچار مخلوط (۲/۹۳ میلی‌گرم بر گرم) بود. بیشترین مقدار کادمیوم مربوط به تیمار شاهد (۱/۹۶ میلی‌گرم بر گرم) بود. فاکتور بیوچار چوب (۱/۱۸ میلی‌گرم بر گرم) نسبت به دو فاکتور بیوچار مخلوط (۱/۵۸ میلی‌گرم بر گرم) و زئولیت (۱/۵۲ میلی‌گرم بر گرم) کمترین میزان کادمیوم را داشت. با در نظر گرفتن کلیه شرایط، بیوچار چوب صنوبر بیشترین کاهش مقدار جذب قلزات (تا ۷۰ درصد) را نشان داد.

کلید واژه‌ها: سرب؛ نیکل؛ کادمیوم؛ جذب؛ خاک آلوده

مقدمه

سلامت محصولات کشاورزی در دهه‌های اخیر به‌دلیل مصرف بی‌رویه انواع علف‌کش‌ها، سموم، آفت‌کش‌ها، هورمون‌ها مورد تهدید قرار گرفته است که منجر به تشدید مرگ و میر و کاهش متوسط عمر جمعیت انسانی دنیا با بروز انواع بیماری‌ها و آلودگی‌های زیست محیطی گردیده است. در کشور ایران کشت سبزیجات و میوه‌جات از مهم‌ترین منابع درآمد و همچنین زنجیره غذایی می‌باشد. برخی از این گیاهان مانند سیب‌زمینی از جمله مهم‌ترین آن‌ها در زنجیره غذایی مردم کشور

www.SID.ir

Archive of SID

می‌باشد (کیانی و عبداللهی، ۱۳۹۵).

فلزات سنگین که از آلوده‌کننده های گیاهان می‌باشند معمولاً از خاک به آن‌ها منتقل می‌شوند (Geneva, 2017). سالانه هزاران تن از این عناصر در مقیاس جهانی از پساب‌های صنعتی وارد سیستم خاک می‌شوند (Lopez *et al.*, 2019) که از یک سو منجر به کاهش کیفیت محصولات کشاورزی و از سوی دیگر تهدیدی جدی برای سلامت انسان است (Fu *et al.*, 200; تقی پور، ۱۳۹۲). لذا مقادیر آنها در گیاهان با روش‌های مختلف بایستی کاهش داده شود (Nematollahsani *et al.*, 2013). در بین فلزات سنگین، برخی از آن‌ها، همچون روی، مس، و کبالت در مقادیر مناسب برای بیشتر سیستم‌های بیولوژیکی از جمله انسان ضروری هستند (Imsirovic *et al.*, 2019). در حالی‌که برخی دیگر از آن‌ها از قبیل کادمیوم، سرب و آرسنیک برای گیاهان، حیوانات و انسان بسیار سمی هستند (Kabata-Pendias, 2011). در تحقیقات انجام گرفته در داخل کشور (کردستان، لرستان، تهران، اصفهان، مشهد و زنجان) میزان این فلزات (سرب، نیکل، آرسنیک، کادمیوم، روی و جیوه) در خاک و گیاهان بالاتر از حد مجاز گزارش شده است (امین و همکاران، ۱۳۹۵; افشاری و همکاران، ۱۳۹۳; تحسینی و گویلیان، ۱۳۹۵; طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۵; ضرابی و همکاران، ۱۳۹۵; علیدادی و همکاران، ۱۳۹۳; نوفرستی و همکاران، ۱۳۹۲).

روش‌های متفاوتی جهت کنترل میزان انتقال فلزات مضر از خاک به گیاهان ارائه شده است. از جمله آن‌ها می‌توان به استفاده ار زئولیت و بیوچار اشاره کرد (جعفری و همکاران، ۱۳۹٦; محب زاده و همکاران، ۱۳۹۷). زئولیت یک کانی آلومینوسیلیکات قلیایی متخلخل است که دارای بار منفی و ظرفیت تبادل کاتیونی بالایی است (Indianara *et al.*, 2009). امروزه استفاده از زئولیت به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خاک به‌خصوص در تثبیت فلزات سنگین رو به گسترش است (Indianara *et al.*, 2009). بیوچار یک ماده متخلخل، غنی از کربن و ریزدانه است (Yang & Sheng, 2012) که از گرمادهی بقایای آلی مانند ضایعات گیاهی، کودهای دامی و سایر ضایعات در دماهای ۲۰۰ تا ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد در یک محیط بدون اکسیژن یا با میزان اکسیژن محدود به‌دست می‌آید (Amonette & Joseph, 2009). برای تولید بیوچار از دستگاه‌های گرماکافت کننده استفاده می‌شود (Amonette & Joseph, 2009).

اسماعیل پور فرد و همکاران (۱۳۹۲) اثر کانی‌های جاذب (بنتونیت، زئولیت و سپیولیت) بر انتقال عناصر سنگین (سرب، روی و کادمیم) به بافت‌های گیاه آفتابگردان را مطالعه کردند. نتایج نشان داد که جذب فلزات از خاک غیرآلوده نسبت به سایر خاک‌ها خیلی کمتر بوده و خاک آلوده به عناصر سنگین مخلوط با کانی سپیولیت، باعث افزایش جذب کادمیم و روی به ترتیب به میزان۰/۳۷ و ۷/۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم توسط گیاه گردید. نوفرستی و همکاران (۱۳۹۲) آرسنیک موجود در گیاهان سیب‌زمینی و هویج را در دشت قروه مطالعه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مقدار آرسنیک در سیب‌زمینی مقدار بالایی دارد. مولایی و همکاران (۱۳۹٤) تأثیر برخی اصلاح‌کننده‌های آلی بر ویژگی‌های رویشی و غلظت کادمیوم، روی و سرب در ذرت در یک خاک آلوده به عناصر سنگین بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که با کاربرد ورمی کمپوست و پوست پسته غلظت کادمیوم، سرب و روی در ریشه و اندام هوایی گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. طباطبایی و همکاران (۱۳۹۵) آلودگی فلزات سنگین سرب و کادمیوم در برخی محصولات کشاورزی را بررسی و گزارش کردند. نزدیکی اراضی کشاورزی و مناطق کاشت محصولات کشاورزی به کارخانجاتی چون ذوب‌آهن، سیمان و معدن سرب و ... و همچنین فرونشست سرب و کادمیوم از هوا بر روی گیاهان و استفاده از کودهای شیمیایی از دلایل اصلی تجمع این دو فلز سنگین در محصولات کشاورزی بود.

www.SID.ir

Archive of SID

Castaldi و همکاران (2005) گزارش کردند که کاربرد زئولیت به‌عنوان یک اصلاح‌کننده در یک خاک آلوده سبب کاهش شکل قابل استفاده روی در خاک به‌طور معنی‌داری شد.

مطالعه خادم و همکاران (۱۳۹٦) در مورد اثرات کاربرد بیوچار بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک نشان داد که بیوچار یکی از بهترین روش‌های مدیریت و اصلاح خاک محسوب شده و می‌تواند برای افزایش پایدار ماده آلی خاک و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده قرار گیرد. جعفری و همکاران (۱۳۹٦) تأثیر کمپوست زباله شهری و بیوچار بر توانایی گیاه پالایی گونه Bromus tomentellus Boiss. در شرایط گلخانه‌ای را بررسی کردند. تحقیق آن‌ها نشان داد بهترین تیمار برای بهبود توان گیاه پالایی در جذب و استخراج فلزات کادمیوم، سرب و روی، بیوچار ۱ درصد می‌باشد. بوستانی و نجفی (۱۳۹۷) تأثیر کاربرد بیوچار و زئولیت طبیعی بر سینتیک آزادسازی و شکل‌های شیمیایی روی در یک خاک آهکی آلوده به روی را مورد مطالعه قرار دادند. تحقیق آن‌ها نشان داد کاربرد بیوچار و سطوح زئولیت سبب توزیع مجدد روی در خاک شد به‌طوری که روی از شکل‌هایی با قابلیت دسترسی و تحرک بیش‌تر به شکل‌هایی با پایداری بیش‌تر و تحرک کم‌تر تبدیل شد و به‌طور معنی‌داری فاکتور پویایی در خاک کاهش یافت. محب‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) تأثیر بیوچارهای مختلف و مواد اولیه آن‌ها بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک و عناصر غذایی با گذشت زمان در یک خاک آهکی را مطالعه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که جذب سرب توسط درخت زیتون و عرعر به طور مؤثری انجام گرفت که میزان جذب درخت زیتون بیشتر از درخت عرعر بود. Zhang و همکاران (۲۰۱۲) بیوچار باعث کاهش آلودگی علف گردید. Zheng و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که کاربرد بیوچار حاصل از کاه برنج در یک خاک آلوده، سبب کاهش معنی‌دار غلظت فلزات روی، کادمیم و سرب شد. Puga و همکاران (۲۰۱۵) مشاهده کردند که کاربرد بیوچار بقایای نیشکر در خاک آلوده سبب کاهش غلظت کادمیم، سرب و روی به‌ترتیب در گیاه شد. Ahmad و همکاران (۲۰۱۸) مشاهده کردند که بیوچار تولیدی از شاخ و برگ درخت خرما باعث کاهش قابل توجهی در جذب فلزات سنگین مس، آهن، منگنز، سرب و روی توسط ذرت از خاک شد. Dominguez و همکاران (۲۰۱۹) اثر افزایش بیوچار کمپوست زباله شهری را به خاک جهت کنترل میزان جذب فلزات سنگین به سیب‌زمینی بررسی کردند. نتایج حاصل نشان از کاهش مقدار آنها بود. Nzediegwu و همکاران (۲۰۱۹) اثر بیوچار تولیدی از پوست موز را در کنترل انتقال فلزات سنگین به سیب زمینی امتحان کردند. نتایج آنها نشان داد که درصد میزان جذب فلزات سنگین کادمیوم، کروم، مس، آهن، سرب و روی توسط سیب زمینی از خاک بعد از استفاده از بیوچار کاهش یافت.

با توجه به اینکه روش گازسازی می‌تواند بیوچار را بیشترین تخلخل ممکن تولید کند، بیوچار تولیدی می‌تواند نقش موثری در جلوگیری از نفوذ فلزات سنگین به گیاهان غده‌ای مانند سیب‌زمینی داشته باشد. همچنین در شرایط یکسان کاشت، مقایسه بین اثر زئولیت و بیوچار در کاهش میزان جذب فلزات سنگین می‌تواند کابرد بیوچار را در کشاورزی پررنگ‌تر کند. چرا که نه تنها بیوچار باعث سلامت مواد غذائی از این طریق می‌شود بلکه تولید بیوچار می‌تواند باعث کاهش آلودگی‌های محیط زیست نیز شود. از لحاظ اقتصادی نیز تولید بیوچار هزینه زیادی نداشته و قیمت نهائی تولید آن کم می‌باشد. در تحقیقات صورت گرفته، به ندرت از بیوچار حاصل از فرآیند گازسازی چوب صنوبر که به وفور در منطقه موجود است استفاده شده است. همچنین تولید بیوچار از مخلوط چند نوع زباله شهری نیز می‌تواند نوآوری دیگری باشد که زباله با هزینه کم می‌تواند به محصول مفید بیوچار تبدیل شود. در این تحقیق ابتدا بیوچار از ضایعات درخت

www.SID.ir

Archive of SID

صنوبر و همچنین از زباله شهری که شامل بیوچار تولیدی از مخلوط ضایعات درخت صنوبر، علف هرز لاستیک، پلاستیک و کارتن است، به‌صورت جداگانه تولید شد. در تولید بیوچار مخلوط ضایعات درخت صنوبر، علف‌هرز، لاستیک، پلاستیک و کارتن نسبت‌های یکسان در نظر گرفته شد. سپس تاثیر افزودن بیوچارهای تولیدی و همچنین زئولیت به صورت جداگانه بر کاهش میزان جذب میزان فلزات سنگین سرب، کادمیوم و نیکل توسط گیاه سیب زمینی از خاک کشاورزی آلوده به فلزات مذکور بررسی گردید. نتایج نشان داد که با استفاده از بیوچار تولیدی از درخت صنوبر تا ۷۰ درصد می‌توان میزان فلزات سنگین را در سیب‌زمینی کاهش داد. همچنین بیوچار مخلوط و زئولیت نیز نقش موثری در کاهش میزان جذب این فلزات داشتند. گروه‌های عاملی در ساختار بیوچار صنوبر نقش موثری در جلوگیری از جذب فلزات مذکور توسط سیب‌زمینی داشتند.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

مواد اولیه شامل ضایعات چوب صنوبر، علف‌هرز، لاستیک اتومبیل‌های سبک مانند خودروهای سواری، پلاستیک و کارتن از زباله شهری موجود در شهرستان تبریز تهیه شد. اندازه ذرات ضایعات استفاده شده برای تولید بیوچار ۲ الی ۳ میلی‌متر انتخاب شد. از کلروفرم و متانول گرید آزمایشگاهی تولیدی شرکت مرک آلمان استفاده گردید. زئولیت طبیعی از شرکت کیمیا پارس شایانکار با ابعاد ۳-۲ میلی‌متر خریداری گردید. نیترات سرب، نیترات کادمیوم و نیترات نیکل از شرکت مرک آلمان خریداری شد. سیب‌زمینی‌های استفاده شده از نوع غده رقم آگریا و با اندازه و تعداد جوانه‌های یکسان (٤-۳ سانتی‌متر قطر و ۳ جوانه در هر غده) انتخاب شد. همچنین جهت جوانه‌دار کردن غده‌ها از تاریکی در انبار استفاده شد. کلیه مراحل کاشت در شرایط گلخانه ای در منطقه باسمنج تبریز در سال ۱۳۹۸ انجام شد. با توجه به امکان بالای آلودگی خاک‌های کشاورزی در مجاورت کارخانجات، خاک استفاده شده از زمین‌های کشاورزی منطقه صوفیان تبریز که نزدیک به کارخانه سیمان صوفیان بود تهیه گردید. قبل از استفاده، ذرات درشت خاک توسط الک ۲ میلی‌متری جدا گردید. کلیه مراحل تولید بیوچار و آنالیز نمونه‌ها در دانشگاه تبریز انجام شد. نتایج آنالیز خاک در قسمت‌های بعدی آورده شده است.

سیستم استفاده شده در فرآیند گازسازی

برای تولید بیوچار، یک پایلوت آزمایشگاهی گاز سازی با ظرفیت حداکثر یک کیلوگرم در هر آزمایش ساخته شد. جزئیات آن در منبع دیگری آورده شده است (Salavati *et al.*, 2019; Esmaeili *et al.*, 2020). در شکل ۱، شماتیک شکل دستگاه مورد استفاده برای تولید بیوچار آورده شده است. به صورت کلی، دستگاه گاز ساز شامل چهار قسمت خشک کردن، پیرولیز، اکسیداسیون/ احتراق و کاهش/گاز سازی بود. در قسمت خشک کردن، خوراک در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد خشک می‌گردید. پس از آن خوراک وارد محفظه پیرولیز با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد گردید. در مرحله بعد، محصولات حاصل از این قسمت وارد بخش اکسیداسیون شد. در این بخش، اکثریت محصولات حاصل از پیرولیز به وسیله اکسیژن موجود در جریان هوا که به صورت کم به ابن محفظه توسط کمپرسور تزریق می‌گردید، تبدیل به دی اکسید کربن گردید. دمای این مرحله ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد بود. سپس دی‌اکسید کربن تولیدی به همراه گازهای دیگر و بخارات اکسید نشده به محفظه گاز سازی منتقل گردید که در دمای ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد کار می کرد. در قسمت گازسازی، میزان عمده دی‌اکسید کربن به گازهای قابل اشتعال تبدیل گردید. سیستم به صورت نیمه پیوسته بود به‌طوریکه کل خوراک در ابتدا وارد پایلوت گردیده، اما

www.SID.ir

Archive of SID

محصولات شامل بخارات و گازها از سیستم در طی واکنش خارج گردید. جامد باقی‌مانده در راکتور بعد از انجام واکنش شامل بیوچار و خاکستر بود که توسط الک کردن از یکدیگر جدا گردیدند.

شکل ۱. شماتیک دستگاه گازسازی استفاده شده برای تولید بیوچار

نحوه کاشت سیب‌زمینی در گلخانه و استفاده از بیوچار و زئولیت

در مرحله دوم کاشت سیب زمینی در حضور و بدون حضور بیوچار و زئولیت انجام گرفت. به این منظور، آزمایشی به‌صورت کاملاً تصادفی با سه تکرار در گلخانه‌ای (دمای ۲۲-۱۸ درجه سلسیوس - رطوبت نسبی ۷۵-۶۵ درصد و طول دوره روشنائی ۱۶ ساعت و ۸ ساعت تاریکی) در منطقه‌ی باسمنج تبریز اجرا شد. درصدهای افزایش بیوچار و زئولیت در محدوده انتخاب شده در تحقیقات انجام گرفته قبلی (جعفری و همکاران، ۱۳۹۶; سعادت و همکاران، ۱۳۹۱) ، انتخاب شدند. فاکتورهای آزمایش عبارتند از:

- زئولیت در سه سطح (۲, ۳ و ۵ درصد وزنی خاک)
- بیوچار حاصل از ضایعات درخت صنوبر در سه سطح (۲, ۳ و ۵ درصد وزنی خاک)
- بیوچار حاصل از مخلوط چوب صنوبر،علف‌هرز، لاستیک، پلاستیک و کارتن) در سه سطح (۲، ۳ و ۵ درصد وزنی خاک)

در مجموع ۹ تیمار با سه تکرار و یک گلدان شاهد (خاک بدون افزودن بیوچار و زئولیت) با سه تکرار که جمعا ۳۰ واحد آزمایشی را تشکیل داد. تیمارها و نمادهای مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است.

ابتدا خاک آلوده از اطراف کارخانه سیمان صوفیان تبریز جمع‌آوری شده و سپس میزان فلزات موجود (سرب-کادمیوم و نیکل) در آن توسط دستگاه جذب اتمی قابل اندازه‌گیری باشد مشخص شد که به‌دلیل آلودگی کم خاک، میزان فلزات سرب-کادمیوم و نیکل در آن با استفاده از مخلوط کردن خاک با نمک‌های نیتراته آنها افزایش یافت تا در صورت جذب در سیب زمینی، قابل اندازه‌گیری در آن باشد (میزان آلودگی خاک به فلزات سنگین، مقدار مجاز آن و میزان آنها پس از آلوده کردن خاک در قسمت‌های بعدی آورده شده است). سپس در گلدان‌های مجزای پلاستیکی (۱۰ کیلوگرمی) به میزان ۲ ۳ و ۵ درصد وزنی به‌طور مجزا زئولیت بیوچار درخت صنوبر و بیوچار تولیدی از مخلوط شامل درخت علف هرز پلاستیک لاستیک و کارتن با خاک گلدان‌ها مخلوط شد. در مجموع از تعداد نه عدد نمونه و با درلحاظ کردن سه تکرار و سه شاهد تعداد ۳۰ نمونه جهت آنالیز تهیه شد.

سپس سیب‌زمینی به‌عنوان گیاه مرجع در گلدان‌ها کاشت شد. تا زمان رشد کامل گیاه سیب‌زمینی کلیه گلدان‌ها با آب مقطر آبیاری شده (به‌مقدار معین و مساوی) و در نهایت میزان فلزات قابل اندازه‌گیری توسط دستگاه جذب اتمی مانند سرب، کادمیوم و نیکل در قسمت خوراکی سیب‌زمینی اندازه‌گیری شد. لازم به یادآوری است که استفاده از آب مقطر به دلیل جلوگیری از ورود آلودگی ممکن توسط آب به محیط کشت می‌باشد. پس از برداشت صفات تعداد و وزن غده در بوته

www.SID.ir

Archive of SID

و ارتفاع بوته نیز اندازه‌گیری شد. جهت آنالیز بیوچار و سیب زمینی از دستگاه‌های با مشخصات زیر استفاده گردید.

جدول ۱. تیمارهای مورد مطالعه در آزمایش و نمادهای مورد استفاده در مقایسه میانگین تیمارها

شماره	تیمارهای مورد آزمایش	نمادها
۱	زئولیت ۲ درصد وزنی خاک	Ze2%
۲	زئولیت ۳ درصد وزنی خاک	Ze3%
۳	زئولیت ۵ درصد وزنی خاک	Ze5%
٤	بیوچار درخت صنوبر ۲ درصد وزنی خاک	Ch2%
۵	بیوچار درخت صنوبر ۳ درصد وزنی خاک	Ch3%
٦	بیوچار درخت صنوبر ۵ درصد وزنی خاک	Ch5%
۷	بیوچار حاصل از مخلوط چوب صنوبر،علف‌هرز، لاستیک، پلاستیک و کارتن) ۲ درصد وزنی خاک	Mix2%
۸	بیوچار حاصل از مخلوط چوب صنوبر، علف‌هرز، لاستیک، پلاستیک و کارتن) ۳ درصد وزنی خاک	Mix3%
۹	بیوچار حاصل از مخلوط چوب صنوبر، علف‌هرز، لاستیک، پلاستیک و کارتن) ۵ درصد وزنی خاک	Mix5%
۱۰	شاهد	Ctrl

دستگاه‌های آنالیز

FTIR. از دستگاه Nicolet iS50 برای شناسایی طیف FTIR هر نمونه استفاده شده است. در ابتدا، نمونه‌ها در دمای ۳۵ °C و در یک اجاق خلأ به مدت ٤ ساعت حرارت‌دهی می‌شود. گستره اسکن طیف در بازه cm^{-1} ٤۵۰–۲۵۰ بود (Salavati *et al.*, 2019; Esmaeili *et al.*, 2020).

XRD. از دستگاه Ultima IV X-ray برای بررسی و مطالعه ساختار کریستالی نمونه‌های بیوچار استفاده شد. این دستگاه به یک گرافیت monochromatised Cu target مجهز بود (Kα–radiation source, λ = 1.5406 Å) و نرخ اسکن ۱۰°C/min و در بازه دمایی ۱۰–۹۰°C انجام می‌شد (Salavati *et al.*, 2019; Esmaeili *et al.*, 2020).

و نهایتا. جهت اندازه گیری میزان فلزات سنگین در سیب‌زمینی و خاک از دستگاه جذب اتمی ساخت شرکت Analytik Jena با مدل NovaAA ٤۰۰ استفاده شد.

نتایج و بحث

آنالیز نتایج از دیدگاه شیمیائی

- بازده محصولات

بیوچار حاصل از فرآیند گازسازی جمع‌آوری میزان بازده بیوچار تولیدی در فرآیند گازسازی چوب صنوبر و مخلوط چوب صنوبر، علف هرز، لاستیک، پلاستیک و کارتن اندازه گیری شد. نتایج محاسبه نشان داد که به‌ترتیب بازده بیوچار چوب و مخلوط ۸/۰ و ۷/۵ درصد می‌باشد که تقریبا مشابه هم می‌باشند. این نتایج مشابه با نتایج گزارش شده (۷/۹۲–۷/۳٦) در تحقیق انجام شده توسط He و همکاران (۲۰۰۹) می‌باشد.

- آنالیز

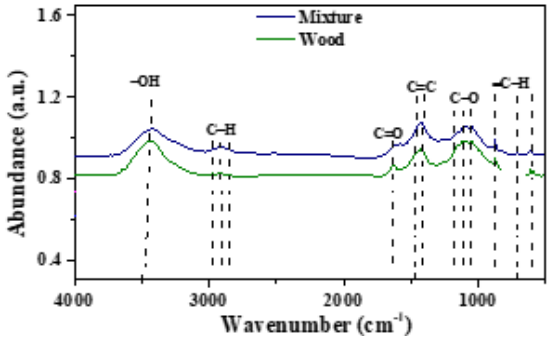
شکل ۲ نشان‌دهنده‌ی آنالیز XRD برای بیوچار حاصل از فرآیند گازسازی ضایعات چوب صنوبر و بیوچار مخلوط می‌باشد. پیک در محدوده ۱۰ تا ۳۰ درجه به ورقه‌های آروماتیکی کربن اشاره دارد (Salavati *et al.*, 2019; Esmaeili *et al.*, 2020).

مقایسه‌ی شدت این پیک برای نمونه‌های بیوچار حاکی از آن است که بیوچار تولیدی از فرآیند گازسازی مخلوط شامل ورقه‌های کربن حاوی آروماتیک زیاد است

www.SID.ir

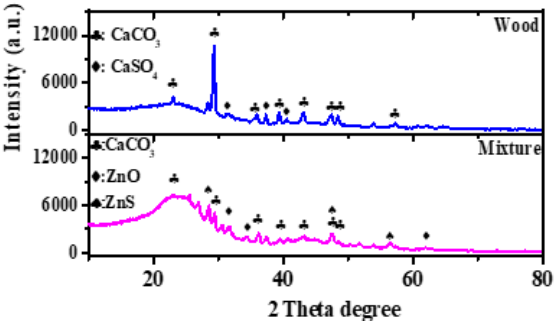
Archive of SID

که بصورت منظم کنار همدیگر قرار دارند. همچنین کربنات کلسیم و سولفات کلسیم در بیوچار چوب و همچنین کربنات کلسیم، اکسید روی و سولفید روی در بیوچار مخلوط مشاهده گردید، بطوریکه در مقایسه مقدار کربنات کلسیم در بیوچار چوب زیادتر بود. این ترکیبات از مواد افزودنی به خوراک در طی فرآیند تولیدشان در داخل آنها بجا مانده‌اند.



شکل ۲. آنالیز XRD نمونه‌های بیوچار تولید شده (رنگ آبی و بنفش نشان‌دهنده به ترتیب بیوچار چوب صنوبر و مخلوط زباله‌ها می‌باشند)

شکل ۳، طیف FT-IR نمونه‌های بیوچار تولید شده را نشان می‌دهد. طیف دو نمونه بیوچار ویژگی‌های مشابهی را نشان می‌دهند، اما تفاوت جزئی در شدت باندهای مختلف وجود دارد که نشان از متفاوت بودن میزان گروه‌های عامل شیمیایی در نمونه‌های بیوچار را دارد.



شکل ۳. طیف FT-IR نمونه‌های بیوچار تولید شده (رنگ سبز و آبی نشان‌دهنده به‌ترتیب بیوچار چوب صنوبر و مخلوط زباله‌ها می‌باشند)

پیک گسترده مشاهده شده در $3400\ cm^{-1}$ عمدتاً به کشش ^{-}OH اختصاص دارد (Salavati *et al.*, 2019; Esmaeili *et al.*, 2020). این پیک نشانگر گروه عاملی مربوط به الکل‌هاست و شدت زیاد آن در بیوچار چوب صنوبر بیشتر است. پیک حاصل از گروه عاملی C-H در $2950\ cm^{-1}$ عمدتاً ظاهر شد. این پیوند مربوط به گروه‌های عاملی C-H آروماتیک و حالت متقارن و نامتقارن گروه‌های عاملی آلیفاتیک است. این پیک در بیوچار مخلوط دارای شدت بیشتری بود. حضور این پیک اغلب مربوط به حضور آروماتیک‌ها در بیوچار است. پیوندهای موجود در $1600\ cm^{-1}$ عمدتاً مربوط به گروه عاملی C=O است (Salavati *et al.*, 2019; Esmaeili *et al.*, 2020). شدت این پیک برای بیوچار چوب صنوبر زیاد است. پیک‌های موجود در $1450\ cm^{-1}$، پیوند C=C را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده حضور آلکن‌ها می‌باشد. شدت آن‌ها در بیوچار چوب صنوبر بیشتر می‌باشد. در مجموع مقایسه شدت کلیه گروه‌های عاملی نشان‌دهنده میزان بیشتر آنها در بیوچار چوب سنوبر بود که می‌توان ناشی از مقدار بالای لیگنین در ساختار چوب باشد (Salavati *et al.*, 2019; Esmaeili *et al.*, 2020).

آنالیز سیب زمینی‌های تولیدی

ابتدا میزان آلودگی خاک مورد استفاده به فلزات سنگین توسط دستگاه جذب اتمی اندازه گیری گردید که نتایج آن در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲. میزان غلظت فلزات سنگین در خاک استفاده شده در کشت سیب زمینی قبل و بعد از آلودگی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

نمونه	سرب	نیکل	کادمیوم
خاک قبل از آلوده کردن	۳۹/۶۵	۱۶۳/۷۰	۱/۴۷
خاک بعد از آلوده کردن	۱۷۳۰	۵۳۲	۹۱۵
میزان مجاز در خاک	۸۵	۳۵	۰/۸
میزان مجاز در سبزیجات	۲	۱۰	۰/۰۲

از آنجایی که میزان آلودگی خاک به فلزات سرب، نیکل و کادمیوم کم بوده و احتمال انتقال کم آن می‌توانست باعث مشکلاتی در اندازه گیری میزان آنها در

www.SID.ir

Archive of SID

سیب‌زمینی شود، مقدار آنها توسط آلوده کردن خاک به نیترات فلزات مذکور صورت گرفت. پس از کاشت سیب‌زمینی‌ها در گلدان‌های ۱۰ کیلوگرمی، حدود ٤ ماه برای رشد کامل آنها زمان‌دهی شده و سپس کشت شدند.

میزان رشد سیب‌زمینی در شرایط مختلف

پس از برداشت سیب‌زمینی، میزان رشد آنها بررسی گردید. بدین منظور، تعداد غده‌ها و وزن آنها اندازه‌گیری شد که میانگین نتایج تکرارها در جداول ۳ تا ۵ آمده است. همانگونه که نتایج نشان می‌دهد در مجموع بیوچار چوب صنوبر بیشترین تاثیر را در کاهش میزان جذب فلزات سرب، نیکل و کادمیوم بر حسب گرم بر کیلوگرم سیب‌زمینی‌های کشت شده در شرایط متفاوت داشته است. خصوصا در مقایسه با بیوچار مخلوط، کاهش محسوسی در میزان جذب فلزات ثبت گردید. این موضوع می‌تواند به ساختار بیوچار چوب و بیوچار حاصل از مخلوط ضایعات ربط داده شود (خادم و همکاران، ۱۳۹٦). همان‌گونه که در شکل ۲ نشان داده شده است، بیوچار حاصل از مخلوط ضایعات دارای ساختار منظم‌تری در مقایسه با بیوچار چوب می‌باشد. عدم منظم بودن ساختار بیوچار چوب می‌تواند باعث گرفتار شدن مولکول‌های فلزات سنگین در آنها باشد (بوستانی و همکاران، ۱۳۹٦). این بدین معناست که بیوچار در صورت پخش منظم و یکسان در خاک، همانند توری عمل کرده و عمده فلزات سنگین در شبکه آنها گیر کرده و نمی‌توانند به سمت گیاه حرکت کنند. همواره در ساخت فیلترها و غشاها نیز شبکه نا منظم باعث افزایش قدرت فرآیند جداسازی می‌گردد.

جدول ۳. میانگین تعداد و وزن غده‌های سیب‌زمینی در حضور و بدون حضور بیوچار صنوبر

مواد افزودنی	٪۰	٪۲	٪۳	٪۵
		افزودن بیوچارچوب صنوبر		
تعداد غده	۸	۹	۸	۵
*وزن کل غده	۹۳/٦	۹۰	۱۰۱/۳	۷۰/٦
**سرب	٦/۸۹	۵/۰۳	۳/۳۹	۳/۱۳
**نیکل	٦/۷۵	۳/٤۰	۲/۸۰	۲/۰۵
**کادمیوم	۱/۹٦	۱/۳۷	۱/۱۱	۱/۰۸
***کل سرب	٦٤۵/٤۳	٤۵٦/۰۷	۳٤٤/۰٦	۲۲۱/۰٦
***کل نیکل	٦۳۲/۵۳	۳۰٦/۸٤	۲۸٤/۳٤	۱٤۳/۲۲
***کل کادمیوم	۱۸٤/۱۹	۱۲۳/٤۵	۱۱۲/٤٦	۷٦/۲٦

* واحد ها بر حسب گرم هستند.

** واحد ها بر حسب گرم بر کیلوگرم هستند.

* واحد ها بر حسب میلی‌گرم هستند.

جدول ٤. میانگین تعداد و وزن غده های سیب‌زمینی در حضور و بدون حضور بیوچار مخلوط

مواد افزودنی	٪۰	٪۲	٪۳	٪۵
		افزودن بیوچار مخلوط-تکرار اول		
تعداد غده	۸	۷	٦	۵
وزن کل غده	۹۳/٦٦	۹۸/۳۳	۹۰/۳۳	۹۳
سرب	٦/۸۹	۵/۱۹	٤/۵۸	۳/۸۷
نیکل	٦/۷۵	۳/۵۵	۳/٤٦	۲/۹۳
کادمیوم	۱/۹٦	۱/۵٤	۱/۷۱	۱/٤۸
کل سرب	٦٤۵/٤۳	۵۱۰/۹۸	٤۱٤/٤۲	۳٦۳/٤۹
کل نیکل	٦۳۲/۵۳	۳٤۷/٦۹	۳۱۳/۲۸	۲۷٦/۷۵
کل کادمیوم	۱۸٤/۱۹	۱۵۱/۹٤	۱۵٤/٤۳	۱۳۸/۰۳

* واحد ها بر حسب گرم هستند.

** واحد ها بر حسب گرم بر کیلوگرم هستند.

* واحد ها بر حسب میلی‌گرم هستند.

جدول ۵. میانگین تعداد و وزن غده های سیب‌زمینی در حضور و بدون حضور زئولیت

مواد افزودنی	٪۰	٪۲	٪۳	٪۵
		افزودن زئولیت-تکرار اول		
تعداد غده	۸	۷	۷	۷
وزن کل غده	۹۳/٦٦	٦۸	٦۳/۳۳	٦۰/٦٦
سرب	٦/۸۹	٤/۷۲	٤/۲۹	۱۱/٦۵
نیکل	٦/۷۵	۵/٤۵	٤/۳۰	۳/۷۳
کادمیوم	۱/۹٦	۱/۷۲	۱/۲۰	۱/۳۲
کل سرب	٦٤۵/٤۳	۳۲۱/۳۰	۲۷۱/۹٦	۲۷۷/۹۳
کل نیکل	٦۳۲/۵۳	۳۷۰/۷٤	۲۷۲/۵۱	۲۲۷/۰۷
کل کادمیوم	۱۸٤/۱۹	۱۱۷/۲٤	۹۷/۰۸	۸۰/۳٤

* واحد ها بر حسب گرم هستند.

www.SID.ir

Archive of SID

** واحد ها بر حسب م گرم بر کیلوگرم هستند.

* واحد ها بر حسب میلی‌گرم هستند.

از طرف دیگر با در نظر گرفتن شکل ۳، می‌توان دریافت که شدت گروه‌های عاملی اکسیژن دار که می‌تواند به اسیدها، الکل‌ها... مربوط باشد در ساختار بیوچار چوب زیاد می‌باشد. گروه‌های عاملی اکسیژن دار معمولا تمایل زیاد برای واکنش دادن با فلزات از خود نشان می‌دهند که این می تواند دلیل دیگری بر زیادتر بودن قدرت بیوچار چوب در کاهش میزان جذب فلزات سنگین سرب، نیکل و کادمیوم توسط سیب‌زمینی باشد. از طرف دیگر، همان‌گونه که نتایج جداول ۳ و ٤ نشان می‌دهد، افزایش درصد بیوچار باعث کاهش میزان جذب فلزات سنگین بر حسب میلی‌گرم فلز سنگین در گرم سیب زمینی شده است. نتایج مشابهی در تحقیقات بوستانی و همکاران (۱۳۹۷) و خادم و همکاران (۱۳۹٦) گزارش شد. این رویداد نیز می‌تواند با توجه به افزایش خاصیت فیلترکردن و گروه‌های عاملی در صورت افزایش درصد بیوچار در خاک استفاده شده برای کشت توجیه شود. لازم به یادآوری است که در برخی شرایط مانند استفاده از ۲ درصد بیوچار مخلوط در کشت اول، برخی از داده‌ها مانند غلظت نیکل و کادمیوم با افزایش میزان بیوچار از ۲ به ۳ درصد کاهش نداشته بلکه بصورت اندکی افزایش داشتند (نیکل: از ۳/۵۱ به ۳/۷٦ و کادمیوم از ۱/۵۲ به ۱/٦۳ میلی‌گرم به گرم سیب زمینی). این می‌تواند ناشی از خطاهای جزئی فردی در کاشت و یا آنالیز باشد که نتایج حاصل از تکرار این شرایط در کاشت دوم و سوم تائید کننده امکان وجود خطا بود. در مرحله بعد محاسبات، با در نظر گرفتن تعداد و وزن سیب زمینی‌های کشت شده در هر ٦ وضعیت، میزان کل فلزات سنگین بر حسب میلی‌گرم در کل سیب‌زمینی موجود در هر شرایط خاص محاسبه گردید. نتایج وزن کردن سیب زمینی‌ها نشان داد که در هر سه تکرار وزن سیب‌زمینی ها در حضور بیوچار چوب صنوبر در بازه ٦۸ تا ۱۰۳ گرم تغییر کرد در حالی‌که در حضور بیوچار مخلوط این وزن تغییراتی در محدوده ۸۳ تا ۱۰۱ داشت که نشان از افزایش کمی در صورت تغییر بیوچار چوب صنوبر به بیوچار مخلوط دارد. این شاید می‌تواند به‌دلیل میزان کم گروه‌های عاملی در ساختار بیوچار مخلوط باشد که باعث افزایش عملکرد بیوچار مخلوط به عنوان کود شیمیایی شده است. از طرف دیگر، نتایج حاصل از استفاده از زئولیت به میزان مشابه بیوچار (۲، ۳ و ۵ درصد وزنی) نشان داد که در مجموع عملکرد بیوچار بهتر و در برخی شرایط عملکرد مشابهی با زئولیت دارد (جدول ۵). همچنین اندازه گیری میزان وزن کل سیب زمینی‌های حاصل در حضور زئولیت و مقایسه آن با نتایج استفاده شده از بیوچار نشان می دهد که میزان رشد سیب زمینی ها در حضور زئولیت کاهش چشمگیری داشته است (۵۹ تا ٦۷ گرم). نتایج مشابهی در تحقیق اسماعیل پور فرد و همکاران (۱۳۹۲) و بوستانی و همکاران (۱۳۹۷) مشاهده گردید. مقایسه این بازه با بازه حاصل وزن سیب زمینی‌های حاصل از اضافه کردن بیوچار چوب صنوبر (٦۸ تا ۱۰۳ گرم) و بیوچار مخلوط (۸۳ تا ۱۰۱ گرم) می‌تواند ناشی از خاصیت کود بودن بیوچار که سرشار از منابع کربن است باشد. همچنین نتایج نشان داد که در مورد زئولیت با افزایش میزان درصد اختلاط آن از ۲ به ۵ درصد، میزان رشد آنها (وزن کل سیب‌زمینی ها) کم شد که این می‌تواند ناشی از ممانعت زئولیت در رسیدن منابع به گیاه و دلایل دیگر باشد. در مرحله آخر، میزان رشد سیب زمینی و میزان فلزات سرب، نیکل و کادمیوم موجود در آنها در ۳ تکرار در شرایط مشابه انجام شد. نتایج جداول ۳ تا ۵. نشان داد که میزان رشد سیب‌زمینی در بازه ۹۱ تا تا ۹۵ گرم تغییر کرد. از طرفی میزان فلزات جذب شده به طور محسوسی در مقایسه با شرایط استفاده از بیوچار و زئولیت بالا بود. این شرایط به طور واضح تائیدکننده اثر مثبت بیوچار چوب صنوبر، بیوچار مخلوط و زئولیت در کاهش میزان جذب فلزات سرب، نیکل و کادمیوم توسط گیاه سیب زمینی

www.SID.ir

Archive of SID

است. نتایج مقایسه داده‌های حاصل از سه تکرار در شرایط مشابه تائیدکننده تکرارپذیری قابل قبول روش‌های استفاده شده می باشد. همچنین مقایسه داده‌های موجود در جداول ۲ تا ۵ نشان‌دهنده این است که در شرایط کنونی خاک که آلوده به فلزات سنگین شده است، میزان فلزات سنگین سرب و کادمیوم در کلیه حالات بیشتر از میزان مجاز آنها در سیزیجات و گیاهان می باشد، در صورتی‌که مقدار نیکل در محدوده مجاز است. این می‌تواند به‌دلیل غلظت پایین‌تر نیکل در مقایسه با سرب و کادمیوم در خاک آلوده مورد استفاده باشد.

آنالیز نتایج از دیدگاه آماری

مفروضات تجزیه واریانس قبل از انجام تجزیه‌های آماری، فرض‌های اساسی تجزیه واریانس شامل توزیع نرمال خطاهای آزمایشی، مستقل بودن خطاهای آزماشی و یکنواختی واریانس‌های درون تیماری انجام شد.

برای برقراری اولین فرض انجام تجزیه واریانس ابتدا باید داده‌ها یا خطاهای آزمایش، دارای توزیع نرمال باشند. با توجه به نتایج حاصل از تست نرمال بودن توزیع خطاهای آزمایش در جدول ٦ مشاهده شد که داده‌های تمامی صفات مورد بررسی بر اساس دو شاخص مهم شاپیرو–ویلکس[1] و کولموگوروف– اسمیرنوف[2] دارای توزیع نرمال خطاهای آزمایشی ($p>0.05$) بودند.

پخش تصادفی تیمارها به هنگام کاشت یا راندومیزاسیون تیمارها و اندازه‌گیری صفات توسط یک فرد، باعث مستقل بودن خطاهای آزمایشی از همدیگر می‌شود. برای برقراری این فرض تجزیه واریانس، با توجه به نمودار Residual plot تمامی صفات می‌توان به این نتیجه رسید که خطاهای آزمایشی از یک روند خاصی تبعیت نکرده است، پس بنابراین فرض دوم تجزیه واریانس نیز برقرار بوده است.

برای بررسی یکنواختی واریانس‌های درون تیمارها از آزمون تست لوون استفاده شده است. با توجه به نتایج حاصل از این تست در جدول ۷ می‌توان گفت که تمامی صفت‌ها در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بوده‌اند. بدین مفهوم که خطاهای درون تیماری، در سطح احتمال ۱ درصد دارای اختلاف آماری معنی‌داری باهم نمی‌باشند. ولی چون انحراف داده‌ها زیاد نیست، می‌توان از آن چشم پوشی کرد. پس با بررسی و برقراری مفروضات تجزیه واریانس، می توان تجزیه داده‌ها را با روش‌های پارامتری انجام داد.

جدول ٦. تست نرمال بودن باقی مانده خطاهای آزمایشی صفات مورد ارزیابی

	کولموگوروف– اسمیرنوف			شاپیرو– ویلکس		
صفات	مقدار آماره	درجه آزادی	سطح معنی داری	مقدار آماره	درجه آزادی	سطح معنی داری
تعداد غده	۰/۱۵	۳۰	۰/۰۷	۰/۹۵	۳۰	۰/۱۵
وزن کل غده	۰/۱۳	۳۰	۰/۲	۰/۹۳	۳۰	۰/۰٦
سرب	۰/۱۳	۳۰	۰/۱۸	۰/۹۸	۳۰	۰/۸۲
نیکل	۰/۰۹	۳۰	۰/۲	۰/۹۷	۳۰	۰/٦٤
کادمیوم	۰/۱۳	۳۰	۰/۲	۰/۹۵	۳۰	۰/۱٤
کل سرب غده	۰/۱	۳۰	۰/۲	۰/۹۸	۳۰	۰/۸۷
کل نیکل غده	۰/۱	۳۰	۰/۲	۰/۹۸	۳۰	۰/۷۸
کل کادمیوم غده	۰/۱۵	۳۰	۰/۱	۰/۹۵	۳۰	۰/۲

[1] Shapiro-Wilk
[2] Kolmogorov

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۷. تست لوون (Levene's Test) برای بررسی یکنواختی واریانس‌های درون تیماری

صفات	اف تست(F)	درجه آزادی صورت	درجه آزادی مخرج	سطح معنی‌داری
تعداد غده	۲/٤۰٤	۹	۲۰	۰/۰٤۹۱
وزن کل غده	۲/٦٤٥	۹	۲۰	۰/۰۳۳٦
سرب	۲/٥٦۳	۹	۲۰	۰/۰۳۸۲
نیکل	۲/٦٦۳	۹	۲۰	۰/۰۳۲۷
کادمیوم	۲/٥۳۱	۹	۲۰	۰/۰٤۰۲
کل سرب غده	۲/۸۱۱	۹	۲۰	۰/۰۲٦۰
کل نیکل غده	۲/٤٥۰	۹	۲۰	۰/۰٤٦۰
کل کادمیوم غده	۲/۹۸٥	۹	۲۰	۰/۰۲۰۰

تجزیه واریانس چند متغیره

جهت رد فرض صفر، تثبیت خطای نوع اول و در نتیجه اثبات اختلاف بین تیمارها، تجزیه واریانس چندمتغیره انجام گرفت (جدول ۸). با توجه به اینکه هر چهار آزمون مختلف(Pillai's Trace، Wilks' Lambda، Hotelling's Trace و Roy's Largest Root) در این تجزیه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوند ($p<0.01$)، بنابراین با اطمینان وجود اختلاف بین تیمارهای مختلف، حداقل از نظر یک صفت بیان گردید.

جدول ۸. تجزیه واریانس چندمتغیره تیمار برای صفات مورد ارزیابی

مقدار آماره	آزمون‌های مورد بررسی
٤/٥۱٥**	Pillai's Trace
۰**	Wilks' Lambda
۱۲۲/۷۳٤**	Hotelling's Trace
۸٤/٥٦۳**	Roy's Largest Root

** معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪

تجزیه واریانس و مقایسات

نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی در یک رقم سیب زمینی با سه تکرار بر پایه طرح کاملا تصادفی در جدول ۹ نشان داده شده است. بر اساس این جدول نتایج نشان دادند که صفات وزن غده، سرب، نیکل، کادمیوم، کل سرب، کل نیکل و کل کادمیوم در سطح احتمال ۱ درصد ($p<0.01$) و همچنین صفت تعداد غده در سطح احتمال ۵ درصد ($0.01<p<0.05$) معنی‌دار بوده است و این نشان می‌دهد در صفات مورد مطالعه حداقل بین دو تیمار اختلاف آماری معنی‌داری وجود داشت. بر همین اساس برای اینکه بتوان اختلاف معنی‌دار و غیر معنی‌دار بین سطوح مختلف فاکتورها، اختلاف گروهی بین تیمارها، را مشخص کرد، از مقایسات اورتوگنال یا مقایسات مستقل استفاده شده است. تمامی مقایسات مستقل تصادفی برای این تحقیق انجام شد ولی فقط مقایساتی انتخاب شدند که اولا اورتوگنال بودند و دوما به اندازه تیمار منهای یک بود.

تعداد غده

با توجه به معنی‌دار شدن اثر تیمار برای صفت تعداد غده در سطح احتمال ۵ درصد، حاکی از این است که حداقل بین دو تیمار اختلاف معنی‌داری وجود دارد. نتایج حاصل از مقایسات مستقل (جدول ۹) نشان می‌دهند که بین فاکتور بیوچار چوب صنوبر (۷/۲۲ عدد غده) و بیوچار مخلوط (۵/۸۸ عدد غده) اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد وجود دارد، که بیوچار چوب صنوبر دارای تعداد غده بیشتری نسبت به فاکتور بیوچار مخلوط بود. فاکتور بیوچار چوب صنوبر (۷/۲۲ عدد غده) با فاکتور زئولیت و فاکتور بیوچار مخلوط با زئولیت اختلاف معنی‌داری ندارند. همچنین بین سطوح مختلف فاکتور بیوچار چوب صنوبر (۲٪، ۳٪ و ۵٪ وزنی) اختلاف

www.SID.ir

Archive of SID

معنی‌داری وجود دارد. در واقع تعداد غده سیب‌زمینی تنها در سطوح مختلف فاکتور بیوچار چوب صنوبر تغییر کرده است.

با انجام مقایسه میانگین با استفاده از روش دانکن (شکل ٤) در سطح احتمال ٥ درصد می‌توان به این نتیجه رسید که سطح اول (۲٪ وزنی) و دوم (۳٪ وزنی) فاکتور بیوچار چوب صنوبر (۹ و ۷/٦٦ عدد غده) با هم اختلاف معنی‌داری ندارند ولی با سطح سوم (۵٪ وزنی) فاکتور بیوچار چوب صنوبر (۵ عدد غده) اختلاف معنی‌دار دارند، یعنی تعداد غده‌های سیب زمینی در سطح سوم (۵٪ وزنی) کمتر از دو سطح دیگر فاکتور بیوچار چوب صنوبر بوده است. همچنین با توجه به شکل ٤ تیمار شاهد (۸ عدد غده) اختلاف معنی‌داری با سطح سوم فاکتور بیوچار چوب صنوبر (۵ عدد غده) و سطح سوم فاکتور بیوچار مخلوط (٤/٦٦ عدد غده) داشت. بین سطوح مصرفی فاکتورهای بیوچار مخلوط و زئولیت نیز اختلاف معنی‌داری از نظر تعداد غده مشاهده نشد. نتیجه حاصل از ضریب تغییرات نشان می‌دهد که این صفت از دقت ارزیابی نسبتا خوبی برخوردار بوده است.

جدول ۹. تجزیه واریانس کاملا تصادفی و مقایسات اورتوگنال (مقایسات مستقل) صفات مورد ارزیابی در تیمارهای مورد مطالعه سیب زمینی

		مجموع مربعات							
منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد غده (عدد)	وزن غده (گرم)	سرب (میلی‌گرم بر گرم)	نیکل (میلی‌گرم بر گرم)	کادمیوم (میلی‌گرم بر گرم)	کل سرب غده (میلی‌گرم)	کل نیکل غده (میلی‌گرم)	کل کادمیوم غده (میلی‌گرم)
تیمار	۹	۵/۱۷*	۷۱٦/۸**	۳/٤۹٤**	۵/٦۱۳**	۰/۲۳**	۵۱٤٤۷/۵٦**	٤۸۸۲۱/۳۳۷**	۳٤۹٦,۷۰۲**
مقایسه شاهد با یقیه	۱	۵/۳٤۸ns	۳۸٤/۰۱۵**	۱۹/۱۳٦**	۲۸/۲٤٦**	۰/۷۷۳**	۲۳٦٦۲۲/٤**	۳۳۱۲٤۰/۲**	۱۲۲۱۵/٦۳**
مقایسه بیوچار با مخلوط و زئولیت	۱	۵/۳۵۲ns	٤۲۲/۲٤۱**	۱/۹۸٤**	۷/۹۵۸**	۰/۸۰۹**	۱۳٤۰/۰۱۹ns	۱۸۷۷۸/٦۹**	۲۱٦۳/٤٦۷**
مقایسه مخلوط با زئولیت	۱	۲/۷۲۲ns	٤۰۲۰/۰۵٦**	۰/۲۸۱ns	٦/۲۷۸**	۰/۰۱۲ns	۱۰۱۷۰۰/۵**	۲۰٦۹/۳۸۹ns	۱۱۰۹۰/۵۷**
مقایسه سطح ۱ با ۲ و ۳ بیوچار	۱	۱٤/۲۲۲**	۳۲ns	٦/۲۵٤**	۱/۹۱٤*	۰/۱۵۱*	۵۸۱٤۰/۵**	۱۷۲۳٦/۰٦*	۱٦۱۱/۲۲۷*
مقایسه سطح ۲ با ۳ بیوچار	۱	۱۰/٦٦۷*	۱٤۱۰/٦٦۷**	۰/۱۰٤ns	۰/۸۵۹ns	۰/۰۰۱ns	۲۲٦۹۳/۵**	۲۹۸۲۱/۵**	۱۹۵٤/۸۱۵**
مقایسه سطح ۱ با ۲ و ۳ مخلوط	۱	۵/۵۵٦ns	۸۸/۸۸۹*	۱/۸۵٦**	۰/۲٤۷ns	۰/۰۰۷ns	۲۹٦۸٦/۷۲**	۵۷۹٦/۰۵٦ns	٦٤/۲۲۲ns
مقایسه سطح ۲ با ۳ مخلوط	۱	۲/٦٦۷ns	۱۰/٦٦۷ns	۰/۷٦۳*	۰/٤۲۱ns	۰/۰۸۲ns	۳۸۰۰/۱٦۷ns	۲۲۸۱/۵ns	۳۸٤ns
مقایسه سطح ۱ با ۲ و ۳ زئولیت	۱	۰**	۷۲*	۰/۸۱۵*	٤/۱۱۸**	۰/۱۷۲*	۷۸۹٦/۰۵٦*	۲۹۰٤۰/۵**	۱۵۸۲/۹٦۹*
مقایسه سطح ۲ با ۳ زئولیت	۱	۰**	۱۰/٦٦۷ns	۰/۲۵۲ns	۰/٤۷٦ns	۰/۰٦٤ns	۱۱٤۸/۱٦۷ns	۳۱۲۸/۱٦۷ns	٤۰۳/٤٤ns
خطا	۲۰	۱/۷٦۷	۱۱/۳۳۳	۰/۱٦۸	۰/۲۹۹	۰/۰۲٦	۱۵۳۸/۲٦۸	۲۱۰۹/۷۰۲	۲۲۹/۵۳
ضریب تغییرات (درصد)		۱۹/۷٤	٤/۰٦	۹/۱	۱٤/۲۳	۱۰/۷۹	۱۰/۳۷	۱٤/۵۱	۱۲/۲٤

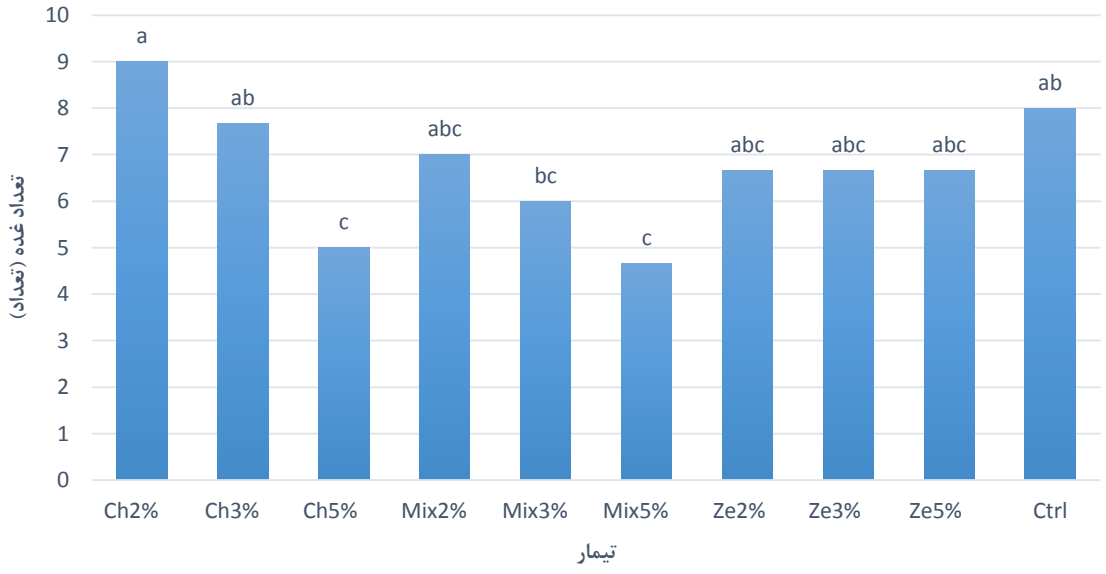
ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱۰. میانگین تیمارها و فاکتورهای صفات مورد ارزیابی سیب زمینی

میانگین‌ها	تعداد غده (عدد)	وزن غده (گرم)	سرب (میلی گرم بر گرم)	نیکل (میلی گرم بر گرم)	کادمیوم (میلی گرم بر گرم)	کل سرب غده (میلی گرم)	کل نیکل غده (میلی گرم)	کل کادمیوم غده (میلی گرم)
بیوچار چوب ۲٪	۹a	۹۰c	۵/۰۳cd	۳/٤۰٦۷bc	۱/۳۷ab	٤۵۳/۰۷ef	۳۰٦/۸٤bcd	۱۲۳/٤۵bc
بیوچار چوب ۳٪	۷/٦٦ab	۱۰۱/۳a	۳/٤a	۲/۸۰٦۷ab	۱/۱۱a	۳٤٤/۰٦c	۲۸٤/۳۱bc	۱۱۲/٤٦bc
بیوچار چوب ۵٪	۵c	۷۰/٦٦d	۳/۱۳a	۲/۰۵a	۱/۰۸a	۲۲۱/۰۷a	۱٤۳/۲۳a	۷٦/۲٦a
بیوچار مخلوط ۲٪	۷abc	۹۸/۳۳ab	۵/۱۹d	۳/۵۵bc	۱/۵٤bc	۵۱۰/۹۸f	۳٤۷/۷cd	۱۵۱/۹٤d
بیوچار مخلوط ۳٪	٦bc	۹۰/۳۳c	٤/۵۸bcd	۳/٤٦bc	۱/۷۱cd	٤۱٤/٤۲de	۳۱۳/۲۸bcd	۱۵٤/٤٤d
بیوچار مخلوط ۵٪	٤/٦٦c	۹۳bc	۳/۸۷ab	۲/۹۳ab	۱/٤۸bc	۳٦۳/۵cd	۲۷۳/۹۳bc	۱۳۸/۰٤cd
زئولیت ۲٪	٦/٦٦abc	٦۸de	٤/۷۲cd	۵/٤۵d	۱/۷۲cd	۳۲۱/۳۱bc	۳۷۰/۷٤d	۱۱۷/۲٤bc
زئولیت ۳٪	٦/٦٦abc	٦۳/۳۳ef	٤/۲۹bc	٤/۳c	۱/۵۳bc	۲۷۱/۹٦ab	۲۷۲/۵۱bc	۹۷/۰۸ab
زئولیت ۵٪	٦/٦٦abc	٦۰/٦٦f	۳/۸۸ab	۳/۷۳bc	۱/۳۲ab	۲٤٤/٦a	۲۲۷/۰۸b	۸۰/۳٤b
شاهد (نرمال)	۸ab	۹۳/٦٦bc	٦/۸۹e	٦/۷۵e	۱/۹٦d	٦٤۵/٤٤g	٦۳۲/۵٤e	۱۸٤/۱۹e
بیوچار چوب	۷/۲۲	۸۷/۳۳	۳/۸۵	۲/۷۵	۱/۱۸	۳۳۹/٤	۲٤٤/۷۹	۱۰٤/۰٦
بیوچار مخلوط	۵/۸۸	۹۳/۸۸	٤/۵۵	۳/۳۱	۱/۵۸	٤۲۹/٦۳	۳۱۱/٦۳	۱٤۸/۱٤
زئولیت	٦/٦٦	٦٤	٤/۳	٤/۵	۱/۵۲	۲۷۹/۲۹	۲۹۰/۱۱	۹۸/۲۲
همه تیمارها جز شاهد	٦/۵۳	۸۱/۷٤	٤/۲۳	۳/۵۲	۱/٤۳	۳٤۹/٤	۲۸۲/۱۸	۱۱٦/۸
مخلوط – زئولیت	٦/۲۷	۷۸/۹٤	٤/٤۲	۳/۹	۱/۵۵	۳۵٤/٤٦	۳۰۰/۸۷	۱۲۳/۱۷



شکل ٤. مقایسه میانگین دانکن در تیمارهای مورد ارزیابی برای صفت تعداد غده

حروف غیر مشترک بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

نکته قابل توجه این است که با افزایش سطوح مصرفی بیوچار چوب صنوبر، تعداد غده به‌طور محسوسی کاهش پیدا کرد در حالی‌که در خصوص مصرف زئولیت و بیوچار مخلوط در هر سه سطح کاربردی (۲٪، ۳٪ و ۵٪ وزنی) اختلاف قابل توجهی در تعداد غده مشاهده نشد. مدنی و همکاران (۱۳۸۹) در آزمایشی با بررسی سه سطح مختلف زئولیت (صفر، ۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) بر روی سیب‌زمینی به این نتیجه رسیدند که سطوح مختلف زئولیت باعث افزایش صفات وزن خشک ساقه و برگ، عملکرد و شاخص سطح برگ می‌شود ولی تاثیر معنی‌داری بر روی تعداد غده نداشت.

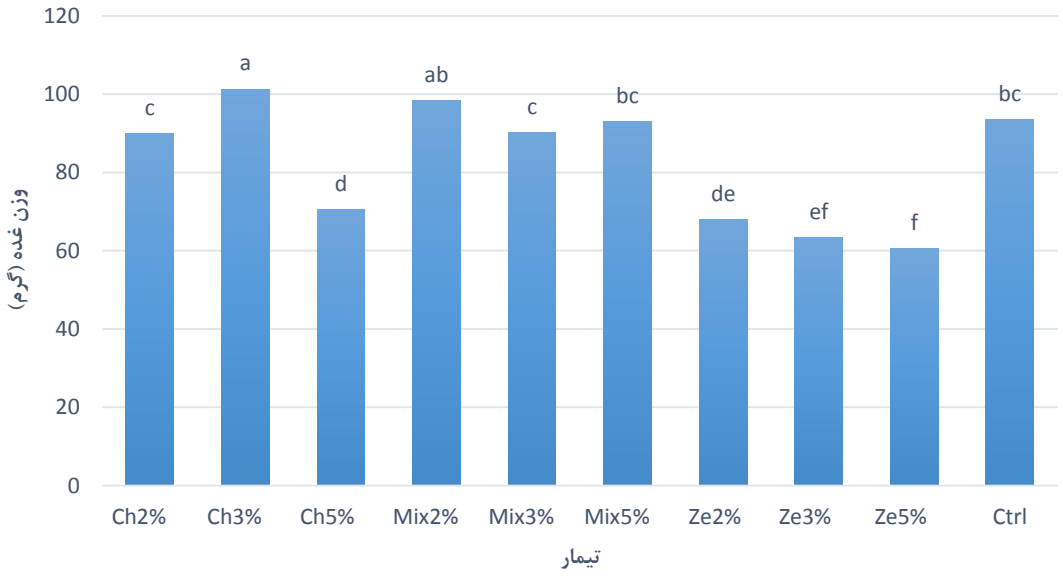
وزن غده

از نظر صفت وزن غده نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۹) نشان می‌دهد حداقل بین دو تیمار اختلاف آماری معنی‌داری وجود دارد. با انجام مقایسات اوتوگنال (جدول ۹) این نتیجه حاصل شد که وزن غده تیمار شاهد (۹۳/٦٦ گرم) با سایر تیمارها (۸۱/۷٤ گرم) متفاوت بوده است و همچنین در مقایسه فاکتور بیوچار چوب صنوبر (۸۷/۳۳ گرم) با متوسط دو فاکتوربیو چار مخلوط و زئولیت (۷۸/۹٤ گرم) می توان فهمید فاکتور بیوچار چوب صنوبر دارای وزن غده بیشتری بود. شایان ذکر هست که فاکتور بیوچار مخلوط (۹۳/۸۸ گرم) وزن غده بیشتری نسبت به فاکتور بیوچار چوب صنوبر (۸۷/۳۳ گرم) داشت. مقایسه فاکتور بیوچار مخلوط (۹۳/۸۸ گرم) با زئولیت (٦٤ گرم) نیز معنی‌دار بود و نشان می‌دهد بیوچار مخلوط وزن غده بیشتری دارد. مقایسه سطح دوم با سوم بیوچار چوب صنوبر، سطح اول با متوسط دوم و سوم بیوچار مخلوط و در نهایت سطح اول با متوسط سطح دوم و سوم زئولیت دارای اختلاف معنی‌داری نیز می‌باشند.

با توجه به نمودار مقایسه میانگین شکل ۵ مشاهده شد که تیمارهای سطح دوم (۳٪ وزنی) بیوچار چوب صنوبر (۱۰۱/۳۳ گرم) و سطح اول (۲٪ وزنی) بیوچار مخلوط (۹۸/۳ گرم) بیشترین وزن غده را داشتند و کمترین وزن غده مربوط به تیمار سطح سوم و دوم زئولیت (٦۰/٦ و ٦۳/۳ گرم) بوده است. نتایج نشان می‌دهند سطوح مختلف مصرفی زئولیت باعث کاهش وزن غده‌های سیب‌زمینی نسبت به تمیار شاهد شده‌اند. قلی زاده و همکاران (۱۳۸۵) با بررسی ٤ سطح زئولیت طبیعی بر روی گیاه دارویی بادرشبو اذعان داشتند که زئولیت بر روی وزن خشک و ارتفاع بوته تاثیر معنی‌داری نداشت ولی بر روی صفات سطح برگ، میزان کلروفیل، تعداد روز تا گلدهی، طول ریشه و درصد اسانس تاثیر معنی‌داری داشت. همچنین با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که با مصرف بیوچار چوب صنوبر (۳٪ وزنی) و بیوچار مخلوط (۲٪ وزنی) وزن غده افزایش معنی‌داری داشته است. محققان با بررسی رشد گیاه سویا تحت تاثیر سه سطح بیوچار (صفر، ۵ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار) بر پایه طرح کاملا تصادفی در سه تکرار به این نتیجه رسیدند که بیوچار باعث افزایش ارتفاع و عملکرد سویا می‌شود (لکزیان، ۱۳۹٤). در تحقیقی دیگر محمدی و همکاران (۱۳۸۹) به منظور بررسی تاثیر زئولیت بر عملکرد و ویژگی‌های رویشی چغندرقند آزمایشی به صورت بلوک-های کامل تصادفی انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که زئولیت در مقایسه با تیمار شاهد برای صفات شاخص سطح برگ، وزن خشک اندام‌های هوایی و عملکرد زیست‌توده، وزن تر غده و اندام‌های هوایی اختلاف معنی‌داری داشت. با توجه به مقدار ضریب تغییرات (٤/۰٦ درصد) مشاهده می‌شود که دقت ارزیابی وزن ریشه بالا بوده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵. مقایسه میانگین دانکن در تیمارهای مورد ارزیابی برای صفت وزن غده

حروف غیر مشترک بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

میزان سرب

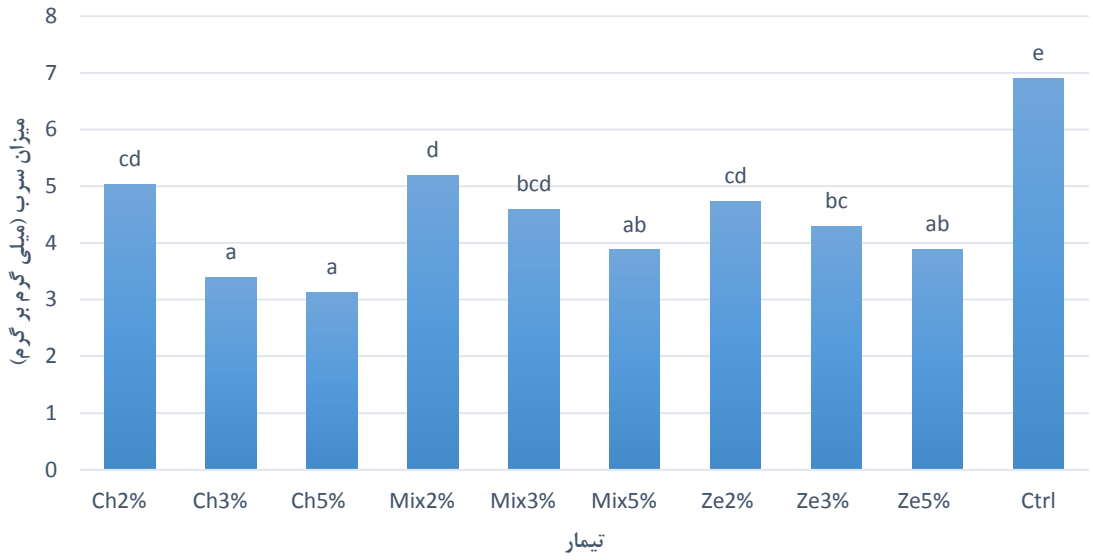
در مورد صفت میزان سرب موجود در هر گرم سیب-زمینی، نتایج تجزیه واریانس (جدول ۹) نشان می‌دهد که اثر تیمار در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار است. با توجه به نتایج حاصل از مقایسات مستقل (جدول ۹) تیمار شاهد (۸۹/٦ میلی‌گرم بر گرم غده) با بقیه تیمارها (٤/۲۳ میلی‌گرم بر گرم غده) اختلاف معنی‌داری دارد. در مقایسه فاکتور بیوچار چوب صنوبر (۳/۸۵ میلی‌گرم بر گرم غده) با متوسط دو فاکتور بیوچار مخلوط و زئولیت (٤/٤۲ میلی‌گرم بر گرم عده)، فاکتور بیوچار چوب صنوبر دارای میزان سرب کمتر بوده است. فاکتور بیوچار چوب صنوبر (۳/۸۵ میلی‌گرم بر گرم غده) میزان سرب کمتری نسبت به فاکتور بیوچار مخلوط (٤/۵۵ میلی‌گرم بر گرم غده) و همچنین فاکتور زئولیت (٤/۳ میلی‌گرم بر گرم غده) داشت. همچنین فاکتور بیوچار مخلوط (٤/۵۵ میلی‌گرم بر گرم غده) و فاکتور زئولیت (٤/۳ میلی‌گرم بر گرم غده) اختلاف معنی‌داری در جذب میزان سرب نداشتند. مقایسه سطح دوم (٤/۵۸ میلی‌گرم بر گرم غده) با سوم (۳/۸۷ میلی‌گرم بر گرم غده) بیوچار مخلوط و مقایسه سطح اول با متوسط سطح دوم و سوم فاکتورهای بیوچار چوب صنوبر، بیوچار مخلوط و زئولیت اختلاف معنی‌داری وجود داشت.

با توجه به نتیجه مقایسه میانگین شکل ٦ می توان فهمید که بیشترین میزان سرب موجود در هر گرم سیب-زمینی مربوط به تیمار شاهد (٦/۸۹ میلی‌گرم بر گرم غده) بوده است. نتیجه مشابه با این پژوهش می توان به تحقیق ناظمی و همکاران (۱۳۸۹) بر روی سبزیجات پرورشی شهرستان شاهرود اشاره کرد که مقدار فلزات سنگین (سرب، کادمیم، کروم، آرسنیک و روی) در سبزیجات را اندازه‌گیری کردند و به این نتیجه رسیدند میزان سرب و کادمیم بیشتر از محدوده استاندارد ارائه شده توسط WHO برای گیاهان بود. همچنین سطح دوم (۳/۳۹ میلی-گرم بر گرم غده) و سوم (۳/۱۳ میلی‌گرم بر گرم غده) بیوچار چوب صنوبر، سطح سوم فاکتورهای بیوچار مخلوط (۳/۸۷ میلی‌گرم بر گرم غده) و زئولیت (۳/۸۸ میلی‌گرم بر گرم غده) کمترین میزان سرب را داشتند.

www.SID.ir

Archive of SID

میزان سرب موجود در هر گرم از سیب‌زمینی در فاکتورهای آزمایشی (بیوچار چوب صنوبر، بیوچار مخلوط و زئولیت) با وجود اینکه نسبت به تیمار شاهد کاهش پیدا کرده بودند ولی در هر سه سطح از فاکتورها بیشتر از مقدار مجاز بود. در تائید یافته‌های این تحقیق سفیدگر شاهکلایی و همکاران (۱۳۹۶) به منظور بررسی اصلاح کننده‌های آلی (بیوچار) و اصلاح کننده‌های معدنی (پومیس، لیکا و زئولیت) در سه سطح صفر، ۱ و ۵ درصد وزنی بر تثبیت سرب در خاک آلوده آزمایشی بر روی گیاه ذرت در گلخانه انجام دادند. این محققان اذعان داشتند بیشترین کاهش غلظت سرب در اندام هوایی و ریشه گیاه ذرت به ترتیب در خاک تیمار شده با اصلاح کننده‌ای آلی (بیوچار ۴۲۰ و بیوچار ٦٤٠) و سطح سوم (۵٪ وزنی) زئولیت بوده است. و همچنین اذعان داشتند که این اصلاح کننده‌ها بیشترین کاهش جذب سرب را نشان دادند. با توجه به نتایج حاصله، می توان نتیجه گرفت با افزایش سطوح مصرفی هر سه فاکتور میزان سرب جذب شده کاهش پیدا کرده بود. ارزیابی این صفت با توجه به میزان ضریب تغییرات (۹/۱ درصد) دارای دقت قابل قبولی بوده است.



شکل ٦. مقایسه میانگین دانکن در تیمارهای مورد ارزیابی برای صفت میزان سرب

حروف غیر مشترک بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

میزان نیکل

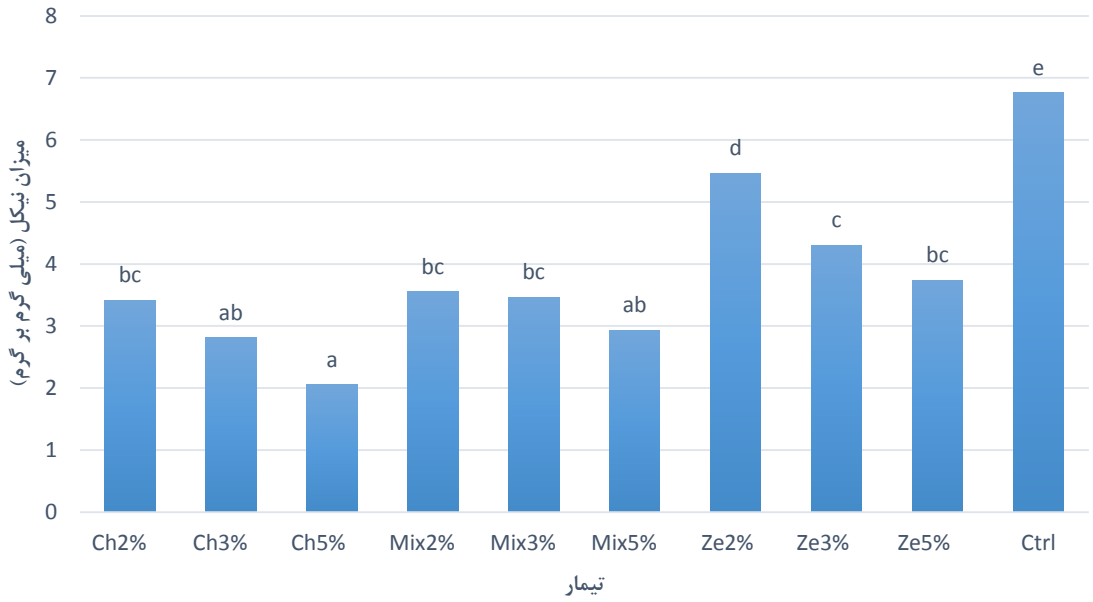
از نظر صفت میزان نیکل در هر گرم از سیب‌زمینی با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۹) اثر تیمار در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بوده است. بدین ترتیب بر اساس نتایج مقایسات مستقل تیمار شاهد (٦/٧۵ میلی‌گرم بر گرم غده) با بقیه تیمارها (۳/۵۲ میلی‌گرم بر گرم غده)، اختلاف معنی‌داری داشت و نشان می‌دهد تیمار شاهد بیشترین مقدار نیکل در هر گرم از سیب‌زمینی را داشت. فاکتور بیوچار چوب صنوبر (۲/۷۵ میلی‌گرم بر گرم غده) با متوسط دو فاکتور بیوچار مخلوط و زئولیت (۳/۹ میلی‌گرم بر گرم غده) اختلاف معنی‌داری وجود داشت. همچنین بین فاکتور بیوچار چوب صنوبر (۲/۷۸ میلی‌گرم بر گرم غده) با فاکتور بیوچار مخلوط (۳/۳۱ میلی‌گرم بر گرم غده) اختلاف وجود دارد به طوری که فاکتور بیوچار چوب صنوبر دارای میزان نیکل کمتری بوده است. در مقایسه فاکتور بیوچار چوب مخلوط (۱/۳۱ میلی‌گرم بر گرم غده) با زئولیت (٤/۵ میلی‌گرم بر گرم غده) نیز اختلاف معنی‌داری وجود دارد. با توجه به

www.SID.ir

Archive of SID

مقایسه اورتوگنال (جدول ۹) سطح اول با متوسط سطح دوم و سوم فاکتور زئولیت و بیوچار چوب صنوبر دارای اختلاف معنی‌داری بودند. محققان با بررسی غلظت عناصر سنگین (نیکل، سرب، کادمیم، روی و منگنز) بر روی ۱٤ گونه گیاهی در جنوب شرقی تهران به این نتیجه رسیدند که گیاه پیاز بیشترین مقدار انباشتگی فلزات سنگین از جمله نیکل و سرب را داشته است (کاظم‌زاده خویی و همکاران، ۱۳۹۱). در راستای این تحقیق رحیمی و همکاران (۱۳۹۷) با بررسی اثر بیوچار در سه سطح (صفر، ۲ و ٤ درصد وزنی) بر روی گیاه ذرت اذعان داشتند که مصرف بیوچار به‌طور معنی‌داری باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی ذرت، درجه سبزی و سطح برگ شده است. و همچنین مصرف بیوچار باعث کاهش غلظت ۳۳ درصدی نیکل شد.

با نظر به نتایج حاصل از مقایسه میانگین شکل ۷ می توان نتیجه گرفت که سطح دوم (۳٪ وزنی) و سوم (۵٪ وزنی) بیوچارچوب صنوبر (۲/۸ و ۲/۰۵ میلی‌گرم بر گرم غده) همراه با سطح سوم (۵٪ وزنی) بیوچارچوب مخلوط (۲/۹۳ میلی گرم بر گرم غده) کمترین میزان نیکل را داشتند. و همچنین تیمار شاهد (٦/۷۵ میلی‌گرم بر گرم غده) با اختلاف بیشترین میزان نیکل را در هر گرم از سیب‌زمینی داشت. از آن‌جایی که فاکتور زئولیت بیشترین میزان نیکل را در مقایسه با فاکتورهای بیوچارچوب صنوبر و بیوچارچوب مخلوط داشت، اما با افزایش درصد وزنی از ۲ به ۵ درصد، میزان نیکل موجود در هر گرم سیب‌زمینی در فاکتور زئولیت به طور معنی داری کاهش پیدا کرده بود. برای تائید این یافته غلامحسینی و همکاران (۱۳۸۸) با آزمایشی بر روی گیاه کلزای پائیزه با بررسی سطوح مختلف زئولیت و نیتروژن به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اذعان داشتند که اثر زئولیت و نیتروژن بر صفات عملکرد ماده خشک، وزن خشک برگ و ساقه و شاخص سطح برگ معنی‌دار بودند. از طرفی دیگر فلاحتی و ادهمی (۱۳۹۳) با بررسی سطوح مختلف زئولیت در خاک‌های آهکی اذعان داشتند که زئولیت بر تثبیت نیکل در خاک تاثیر معنی داری نداشت. با توجه به میزان ضریب تغییرات این صفت (١٤/٢٣ درصد) دقت ارزیابی خوب و قابل قبولی را دارا می باشد.



شکل ۷. مقایسه میانگین دانکن در تیمارهای مورد ارزیابی برای صفت میزان نیکل

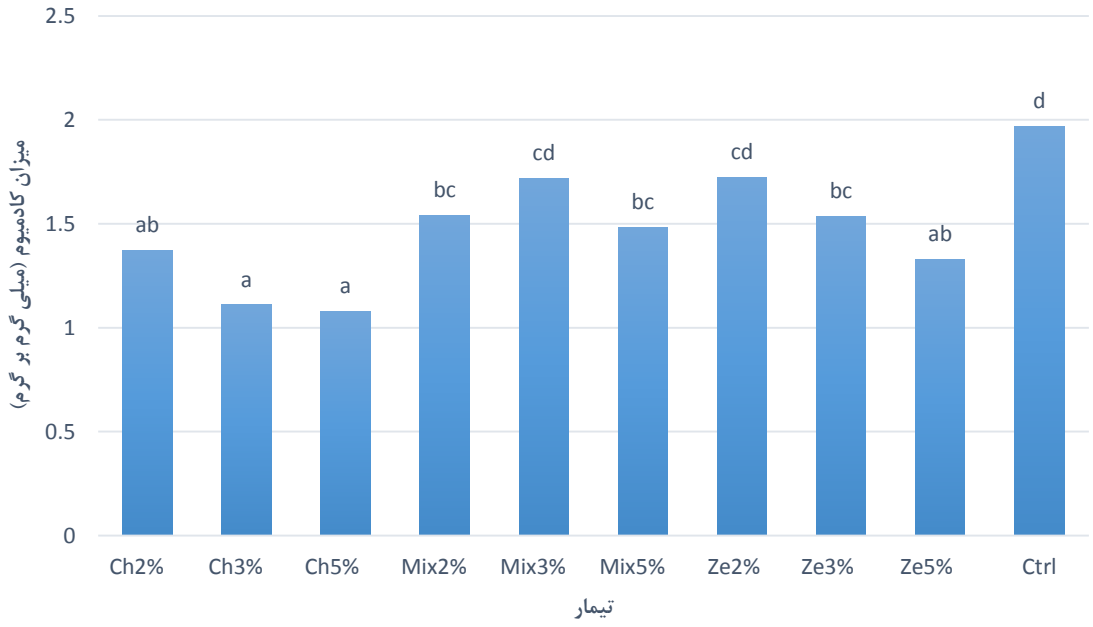
حروف غیر مشترک بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

میزان کادمیوم

با توجه به نتیجه حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۹) که نشان می‌دهد اثر تیمار برای صفت میزان کادمیوم در هر گرم از غده از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد بوده است. همچنین نتایج مقایسات مستقل گویای این هستند؛ تیمار شاهد (۱/۹۶ میلی‌گرم بر گرم غده) با سایر تیمارها (۱/۴۳ میلی-گرم بر گرم غده) اختلاف معنی‌داری دارد. همچنین فاکتور بیوچار چوب صنوبر (۱/۱۸ میلی‌گرم بر گرم غده) در مقایسه با متوسط دو فاکتور بیوچار مخلوط و فاکتور زئولیت (۱/۵۵ میلی‌گرم بر گرم غده) دارای اختلاف بوده و نشان می‌دهد که فاکتور بیوچار چوب صنوبر دارای میزان کمتر کادمیوم می‌باشد. و فاکتور بیوچار مخلوط (۱/۵۸ میلی‌گرم بر گرم غده) در مقایسه با فاکتور زئولیت (۱/۵۲ میلی‌گرم بر گرم غده) دارای اختلاف معنی‌داری نبوده است. در نهایت مقایسه سطح اول با سطح دوم و سوم فاکتورهای بیوچار چوب صنوبر و زئولیت دارای اختلاف معنی‌داری هستند. حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۹٤) با تحقیق در مورد جذب سرب و کادمیوم توسط ٤ سطح مختلف بیوچار (صفر، ۵، ۱۰ و ۱۵ گرم در کیلوگرم خاک) در چهار سطح مختلف آلودگی (صفر، ۱۵، ۲۰ و ۲۵) شامل لجن فاضلاب کارخانه، بر روی گیاه آفتابگردان بر پایه طرح کاملا تصادفی به این نتیجه رسیدند که سطوح لجن فاضلاب کارخانه موجب افزایش معنی‌دار غلظت سرب و کادمیوم در اندام هوایی و ریشه آفتابگردان شد. نتایج همچنین نشان داد کاربرد بیوچار باعث کاهش معنی‌دار غلظت سرب و کادمیوم در اندام هوایی و ریشه آفتابگردان گردید.



شکل ۸ مقایسه میانگین دانکن در تیمارهای مورد ارزیابی برای صفت میزان کادمیوم

حروف غیر مشترک بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین (شکل ۸) تیمارها به روش دانکن در سطح احتمال ۵ درصد این نتایج حاصل می‌شود که سطح های اول (۲٪ وزنی)، دوم (۳٪ وزنی) و سوم (۵٪ وزنی) فاکتور بیوچار چوب صنوبر (۱/۳۷، ۱/۱۱ و ۱/۰۸ میلی‌گرم بر گرم غده) همراه با سطح سوم (۵٪ وزنی) فاکتور زئولیت (۱/۳۲ میلی‌گرم

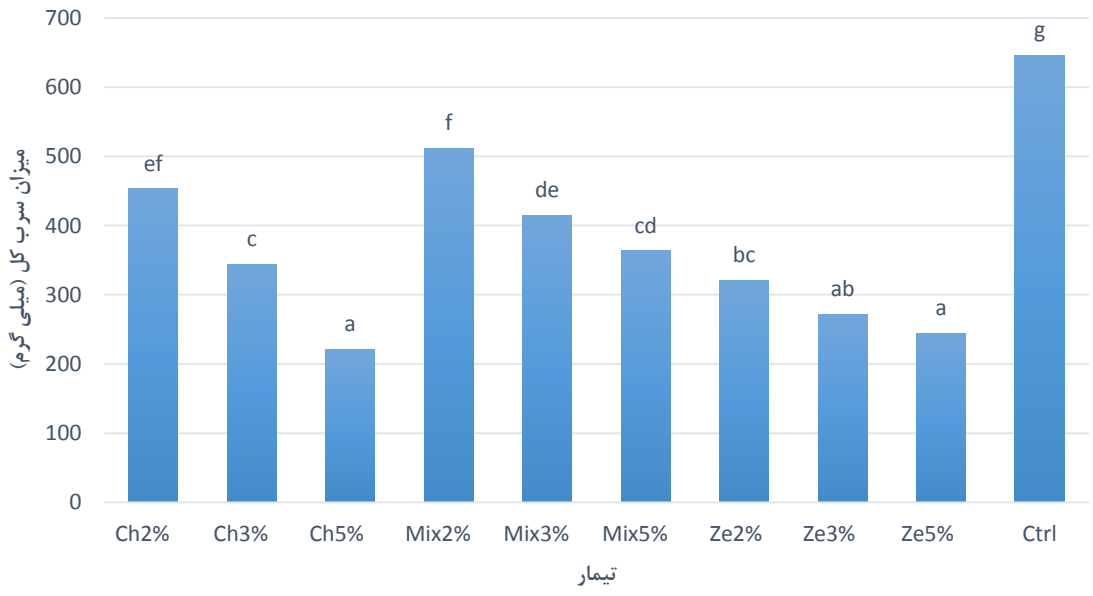
www.SID.ir

Archive of SID

بر گرم غده) دارای کمترین میزان کادمیوم در هر گرم غده سیب‌زمینی بودند. همچنین تیمار شاهد (۱,۹۶ میلی‌گرم بر گرم غده) همراه با سطح دوم (۳٪ وزنی) بیوچار مخلوط (۱/۷۱ میلی‌گرم بر گرم غده) و سطح اول (۲٪ وزنی) زئولیت (۱/۷۲ میلی‌گرم بر گرم غده) دارای بیشترین مقدار کادمیوم بودند. محققان با بررسی ۳ سطح لجن فاضلاب در ٤ سطح زئولیت طبیعی بر پایه طرح کاملا تصادفی با ٤ تکرار بر روی گیاه ذرت اذعان داشتند که لجن فاضلاب موجب افزایش غلظت سرب و کادمیوم در ریشه ذرت گردید. همچنین نتایج نشان دادند که کاربرد زئولیت موجب کاهش معنی‌دار غلظت سرب و کادمیوم در اندام هوایی و ریشه ذرت و افزایش معنی‌دار pH خاک گردید (سعادت و بارانی، ۱۳۹۱). شاهمرادی و همکاران (۱۳۹٦) با بررسی سطوح مختلف زئولیت (۱، ٦ و ۱۲ درصد وزنی) و بنتونیت (۱، ٦ و ۱۲ درصد وزنی) در جذب میزان فلزات سنگین روی، سرب و کادمیوم توسط گیاه آفتابگردان بر پایه طرح کاملا تصادفی در گلخانه به این نتیجه رسیدند که زئولیت ۱۲ درصد وزنی بهترین جاذب برای تثبیت کادمیوم بوده است. ضریب تغییرات این صفت (۱۰/۳۷ درصد) مقدار دقت ارزیابی قابل قبولی خوبی را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده کم بودن خطا به هنگام اندازه‌گیری می‌باشد.

میزان سرب کل در غده

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۹) اثر تیمار برای صفت میزان سرب در کل غده سیب‌زمینی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بوده و یعنی حداقل بین دو تیمار اختلاف معنی‌داری وجود دارد. جهت بررسی گروهی تیمارها (فاکتورهای آزمایش) با استفاده از نتایج مقایسات اورتوگنال (جدول ۹) می‌توان نتیجه گرفت که تیمار شاهد (٦٤٥/٤٤ میلی‌گرم) با بقیه تیمارها (۳٤۹/٤ میلی‌گرم) دارای اختلاف معنی‌داری بود. فاکتور بیوچار چوب صنوبر (۳۳۹/٤ میلی‌گرم) با فاکتورهای بیوچار مخلوط (٤۲۹/٦۳ میلی‌گرم) و فاکتور زئولیت (۲۷۹/۲۹ میلی‌گرم) دارای اختلاف معنی‌داری بود، و دارای میزان سرب کل کمتری نسبت به فاکتور بیوچار مخلوط و میزان سرب کل بیشتری نسبت به فاکتور زئولیت داشت.



شکل ۹. مقایسه میانگین دانکن در تیمارهای مورد ارزیابی برای صفت میزان سرب کلی

حروف غیر مشترک بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

www.SID.ir

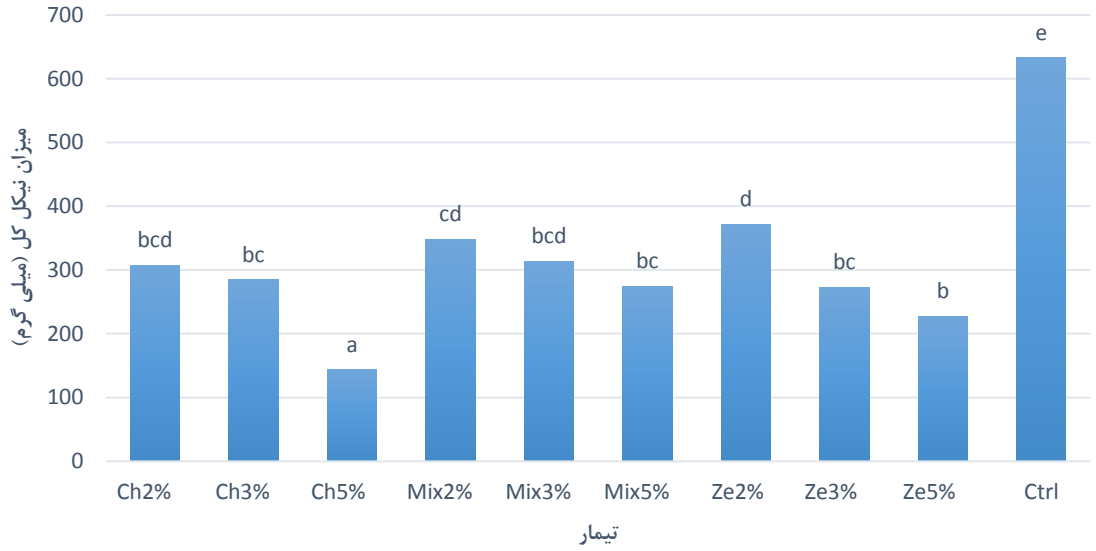
Archive of SID

فاکتور بیوچار مخلوط (۴۲۹/۶۳ میلی‌گرم) با فاکتور زئولیت (۲۷۹/۲۹ میلی‌گرم) اختلاف معنی‌داری دارد. همچنین سطوح مختلف بیوچار چوب صنوبر با همدیگر و در نهایت سطح اول با سطح دوم و سوم فاکتورهای بیوچار مخلوط و زئولیت اختلاف معنی‌داری داشتند.

با توجه به نتایج مقایسه میانگین (شکل ۹)، تیمار شاهد (۶۴۵/۴۴ میلی‌گرم) با توجه به وزن غده، بیشترین مقدار سرب را دارا بود. همچنین تیمارهای سطح سوم بیوچار چوب صنوبر و سطح دوم و سوم زئولیت دارای کمترین میزان سرب را با توجه به وزن غده داشتند. نتایج در هر سه فاکتور آزمایش (بیوچار چوب صنوبر، بیوچار مخلوط و زئولیت) نشان می‌دهند که با افزایش میزان سطوح مصرفی جاذب‌ها میزان سرب کل در غده به‌طور معنی‌داری کاهش یافته‌اند. با توجه به ضریب تغییرات این صفت (۱۰/۳۷) دارای دقت ارزیابی خوبی بوده است.

میزان نیکل کل در غده

در مورد صفت میزان نیکل کل در غده سیب‌زمینی با توجه به معنی‌دار شدن اثر تیمار در جدول تجزیه واریانس (جدول ۹) می‌توان مقایسات مستقل را بررسی کرد. نتایج نشان می‌دهند در مقایسه تیمار شاهد (۶۳۲/۵۴ میلی-گرم) با سایر تیمارها (۲۸۲/۱۸ میلی‌گرم) اختلاف معنی‌داری وجود داشت، به‌طوری‌که تیمار شاهد بیشترین مقدار نیکل کل را در غده داشت. فاکتور بیوچار چوب صنوبر (۲۴۴/۷۹ میلی‌گرم) با متوسط دو فاکتور بیوچار مخلوط و زئولیت (۳۰۰/۸۷ میلی‌گرم) اختلاف داشت و همچنین فاکتور بیوچار چوب صنوبر (۲۴۴/۷۹ میلی‌گرم) با فاکتور بیوچار مخلوط (۳۱۱/۶۳ میلی‌گرم) دارای اختلاف معنی داری بود. ولی فاکتور بیوچار چوب صنوبر (۲۴۴/۷۹ میلی گرم) با فاکتور زئولیت (۲۲۷/۰۸ میلی‌گرم) دارای اختلاف معنی‌داری نبود.



شکل ۱۰. مقایسه میانگین دانکن در تیمارهای مورد ارزیابی برای صفت میزان نیکل کلی

حروف غیر مشترک بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

سطوح مختلف بیوچار چوب صنوبر و سطح اول فاکتور زئولیت با متوسط سطح دوم و سوم دارای اختلاف آماری معنی‌داری هستند.

با توجه به نتایج مقایسه میانگین (شکل ۱۰) می‌توان نتیجه گرفت که کمترین میزان جذب نیکل با توجه به وزن غده های سیب‌زمینی مربوط می‌شود به تیمار سطح

www.SID.ir

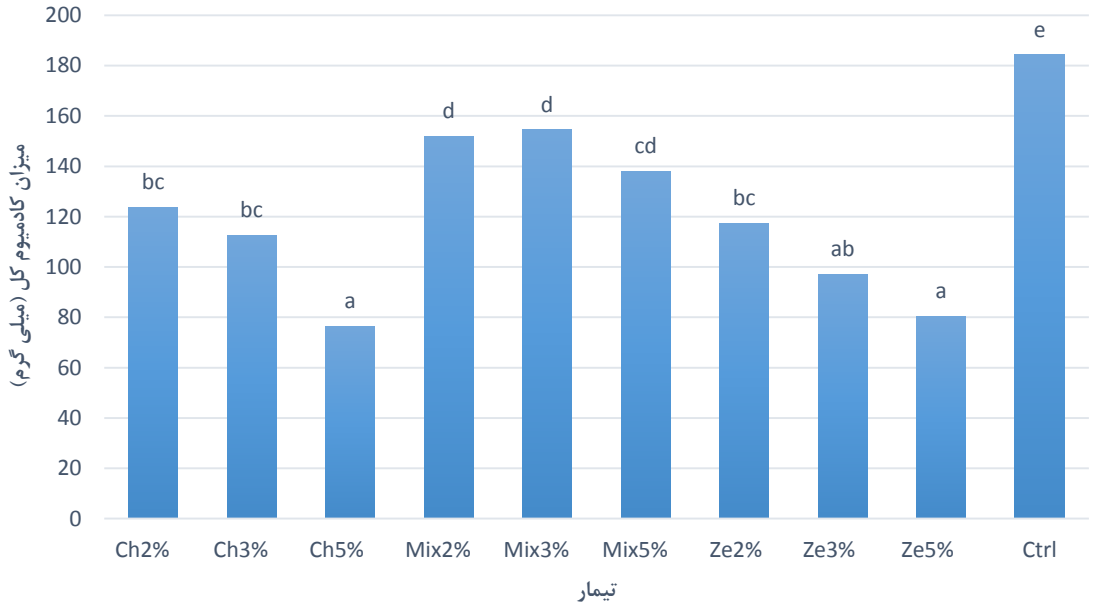
Archive of SID

سوم (۵٪ وزنی) بیوچار چوب صنوبر و همچنین بیشترین میزان جذب نیکل متعلق به تمیار شاهد (۶۳۲/۵۴ میلی-گرم) یا نرمال بوده است. با بررسی این نتایج می‌توان استنباط کرد که با افزایش سطوح مصرفی فاکتورهای آزمایشی میزان نیکل کل موجود در غده‌های سیب‌زمینی کاهش یافته است. با توجه به ضریب تغییرات این صفت می توان نتیجه گرفت با دقت قابل قبولی مورد ارزیابی و اندازه گیری قرار گرفته است.

میزان کادمیوم کل در غده

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۹) و معنی داری اثر تیمار از نظر صفت میزان کادمیوم کل در غده های سیب‌زمینی می توان با مقایسات مستقل به اختلاف های گروهی تیمارها (فاکتورهای آزمایشی) پی برد. تیمار شاهد (۱۸۴/۱۹ میلی‌گرم) با سایر تیمارها (۱۱۶/۸ میلی-گرم) اختلاف معنی‌داری دارد. مقایسه فاکتور بیوچار چوب صنوبر (۱۰۴/۰۶ میلی‌گرم) با فاکتور بیوچار مخلوط (۱۴۸/۱۴ میلی‌گرم) نشان می‌دهد که بیوچار چوب صنوبر میزان کادمیوم کل بیشتری نسبت به بیوچار مخلوط داشت و این اختلاف معنی‌داری بود. فاکتور بیوچارچوب مخلوط (۱۴۸/۱۴ میلی‌گرم) با فاکتور زئولیت (۹۸/۲۲ میلی‌گرم) اختلاف معنی‌داری نیز داشت.

با توجه به نتایج مقایسه میانگین (شکل ۱۱) می‌توان این نتیجه را گرفت که تیمار شاهد (۱۸۴/۱۹ میلی‌گرم) بیشترین مقدار کادمیوم نسبت به وزن غده سیب‌زمینی را داشت.



شکل ۱۱. مقایسه میانگین دانکن در تیمارهای مورد ارزیابی برای صفت میزان کادمیوم کلی

حروف غیر مشترک بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

همچنین کمترین مقدار جذب کادمیوم متعلق به تیمارهای سطح سوم (۵٪ وزنی) بیوچار چوب صنوبر (۷۶/۲۶ میلی‌گرم) و سطح دوم (۳٪ وزنی) و سوم (۵٪) زئولیت (۹۷/۰۸ و ۸۰/۳۴ میلی‌گرم) بود. این صفت هم مانند صفت میزان سرب و نیکل کل با افزایش میزان مصرفی فاکتورهای آزمایشی (بیوچار چوب صنوبر، بیوچار مخلوط و زئولیت) مقدار کادمیوم کل در غده‌های سیب‌زمینی به‌طور محسوسی کاهش پیدا کرده بودند.

www.SID.ir

Archive of SID

ضریب تغییرات این صفت (۱۲/۲۵) گویای این می باشد که ارزیابی با دقت خوبی انجام شده است.

نتیجه گیری

تأثیر میزان افزودن بیوچار حاصل از فرآیند گازسازی چوب صنوبر و بیوچار مخلوط چوب صنوبر، علف هرز، کارتن، تایر اتومبیل و پلاستیک بر خاک آلوده به فلزات سرب، نیکل و کادمیوم در جهت کنترل میزان جذب آنها توسط گیاهان مورد مطالعه قرار گرفت. به این منظور سیب‌زمینی به عنوان گیاه مرجع در نظر گرفته شد. همچنین جهت تولید بیوچار، یک پایلوت آزمایشگاهی که در دمای ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد کار می‌کرد استفاده شد. از زئولیت طبیعی نیز به عنوان کنترل‌کننده رایج جذب فلزات سنگین در گیاهان استفاده شد. از دیدگاه شیمیائی نتایج نشان داد که بیوچار چوب صنوبر کنترل بیشتری بر جذب فلزات سرب، نیکل و کادمیوم داشت. این در حالیست که بیوچار مخلوط کنترل کمتری در میزان جذب فلزات مذکور داشت. این می‌تواند به‌دلیل ساختار نامنظم بیوچار چوب و میزان بالای گروه‌های عاملی اکسیژن دار در ساختار بیوچار چوب باشد. این خاصیت باعث گیرافتادن فیزیکی و شیمیائی فلزات سرب، نیکل و کادمیوم در ساختار بیوچار چوب صنوبر بود. اما میزان رشد سیب زمینی در صورت استفاده از بیوچار مخلوط بیشتر بود. از طرف دیگر زئولیت نیز تاثیر زیاد مشابه بیوچار از خود در کاهش میزان جذب فلزات به سیب‌زمینی نشان داد. اما میزان رشد غده‌های سیب‌زمینی در صورت استفاده از زئولیت کمتر بود که با افزایش میزان درصد آن میزان رشد غده‌ها نیز کمتر شد. همچنین در هر سه حالت افزودن بیوچار چوب، بیوچار مخلوط و زئولیت میزان جذب فلز در غده سیب‌زمینی کاهش یافت. آنالیز آماری نیز جهت بررسی نتایج انجام گرفت. نتایج تجزیه واریانس چندمتغیره نشان داد که بین تیمارهای مورد ارزیابی سیب-زمینی بر اساس چهار آزمون Pillai's Trace، Wilks' Lambda، Hotelling's Trace و Roy's Largest Root (اثر پیلای، لاندای ویلکس، اثر هتلینگ و بزرگترین ریشه روی) حداقل از نظر یک صفت اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد وجود دارد. نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس کاملا تصادفی برای اثر تیمار در مورد تمامی صفات بجز تعداد غده نشان داد که در سطح احتمال ۱ درصد همگی معنی‌دار بودند. صفت تعداد غده در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. نتایج حاصل از مقایسات مستقل و مقایسه میانگین برای صفت تعداد غده نشان داد که تنها بین سطوح مختلف بیوچارچوب صنوبر (۲٪، ۳٪ و ۵٪ وزنی) اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد وجود دارد. و بقیه فاکتورها تاثیری بر تعداد غده نداشتند. در مورد صفت وزن غده بیشترین وزن غده مربوط به تیمارهای سطح اول (۲٪ وزنی) بیوچارچوب مخلوط (۹۸/۳۳ میلی‌گرم بر گرم غده) و سطح دوم (۳٪ وزنی) بیوچارچوب صنوبر (۱۰۱/۳۳ میلی‌گرم بر گرم غده) بود. همچنین کمترین وزن غده مربوط به تیمارهای سطح دوم (۳٪ وزنی) و سوم (۵٪ وزنی) فاکتور زئولیت (۶۳,۳۳ و ۶۰,۶۶ میلی‌گرم بر گرم غده) می‌باشد. تیمار شاهد (۶/۸۹ میلی‌گرم بر گرم غده) و فاکتور بیوچارچوب صنوبر (۳/۸۵ میلی‌گرم بر گرم غده) بیشترین و کمترین میزان جذب سرب را داشتند. به طوری که سطح دوم (۳٪ وزنی) و سوم (۵٪ وزنی) بیوچارچوب صنوبر (۳/۳۹ و ۳/۱۳ میلی‌گرم بر گرم غده) همراه با سطح سوم (۵٪ وزنی) فاکتورهای بیوچارچوب مخلوط و زئولیت (۳/۸۷ و ۳/۸۸ میلی‌گرم بر گرم غده) کمترین میزان سرب را در هر گرم از سیب زمینی داشتند. فاکتور بیوچارچوب صنوبر (۲/۷۵ میلی‌گرم بر گرم غده) در تیمارهای سطح دوم (۳٪ وزنی)، سوم (۵٪ وزنی) بیوچارچوب صنوبر (۲/۸ و ۲/۰۵ میلی‌گرم بر گرم غده) و سطح سوم (۵٪ وزنی) فاکتور بیوچارچوب مخلوط (۲/۹۳ میلی گرم بر گرم غده) دارای کمترین میزان نیکل بودند. بیشترین مقدار جذب نیکل مربوط به تیمار شاهد (۶/۷۵ میلی‌گرم بر گرم غده) بود.

www.SID.ir

Archive of SID

در مورد میزان کادمیوم، بیشترین جذب مربوط به تیمار شاهد (۱/۹۶ میلی‌گرم بر گرم غده) بود. درحالیکه، فاکتور بیوچارچوب صنوبر (۱/۱۸ میلی‌گرم بر گرم غده) نسبت به دو فاکتور بیوچار مخلوط و زئولیت در شرایط یکسان داشت. همچنین کلیه سطوح بیوچارچوب صنوبر و سطح سوم (۵٪ وزنی) فاکتور زئولیت کمترین میزان کادمیوم را نشان دادند.

منابع مورد استفاده

اسماعیل پور فرد□ ن.□ گیوی□ ج. و هوشمند□ س. ۱۳۹۲. اثر کانی‌های زئولیت، بنتونیت و سپیولیت بر جذب عناصر سنگین توسط گیاه آفتابگردان. علوم و فنون کشتهای گلخانهای، ۲۰(٦):۵۵-٦۳.

افشاری□ ع.□ خادمی□ ح. و ایوبی□ ش. ۱۳۹۳. ارزیابی خطرپذیری آلودگی عناصر سنگین در خاک‌ها و برخی محصولات کشاورزی در اطراف شهر و مناطق صنعتی زنجان. نشریه آب و خاک، ۲۹(۱):۱۵۱-۱٦۳.

امین□ م.□ خوزانی□ ه.□ دستجردی□ م. و یادقارفرد□ ه. ارزیاتی مقدار فلزات سنگین آرسنیک، کادمیوم و سرب در کاشت سیب‌زمینی در زمین‌های کشاورزی جنوب‌شرقی اصفهان در سال ۱۳۹۵. مجله تحقیق نظام سلامت، ۱۳(٤): ٤۷۸-٤۸٤.

بوستانی□ ح.□ و نجفی قیری□ م. ۱۳۹۷. تأثیر کاربرد بیوچار و زئولیت طبیعی بر سینتیک آزادسازی و شکل‌های شیمیایی روی در یک خاک آهکی آلوده به روی. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، ۸ (۱): ٦۹-۸۸.

تحسینی□ ه. و گویلیان□ ه. ۱۳۹۵. ارزیابی ریسک فلزات سنگین (کادمیوم□ سرب□ روی و مس) ناشی از مصرف محصولات زراعی توزیع شده در شهر سنندج. مجله علوم پزشکی زانکو، ۱(۱): ٦۲-۷۲.

تقی‌پور□ ح. و مسافری، م. ۲۰۱۳. فلزات سنگین در سبزیجات جمع‌آوری شده از سایت‌های صنعتی. مجله سلامت، ۳(۲): ۸۵-۱۹۳.

جعفری□ م.□ معمری□ م.□ جهان‌تاب□ ا. و ضرغام□ ن. ۱۳۹٦. تأثیر کمپوست زباله شهری و بیوچار بر توانایی گیاه‌پالایی گونه. Bromus tomentellus Boiss در شرایط گلخانه‌ای. نشریهٔ علمی پژوهشی مرتع، ۱۱(۲): ۱۹٤-۲۰٦.

حجازی‌زاده، ا.، غلامعلی‌زاده آهنگر، ا. و قربانی، م. ۱۳۹٤. تاثیر بیوچار بر جذب سرب و کادمیوم لجن فاضلاب کارخانه‌های کاغذ توسط آفتابگردان. نشریه دانش آب و خاک، ۲٦(۲): ۲۵۹-۲۷۱.

خادم□ خ.□ رئیسی□ ف. و بشارتی□ ح. ۱۳۹٦. مروری بر اثرات کاربرد بیوچار بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک. نشریه علمی ترویجی مدیریت اراضی، ۱(۵): ۱-۱۸.

رحیمی، ط.، معزی، ع. و حجتی، س. ۱۳۹۷. اثر مقادیر بیوچار و نیکل بر غلظت نیکل و برخی عناصر کم مصرف در ذرت. نشریه پژوهش‌های خاک، ۳۲(٤): ۵۲۷-۵۳۷.

سعادت□ ک. و بارانی مطلق□ م. ۱۳۹۱. تأثیر زئولیت کلینوپتیلولیت طبیعی ایران بر جذب سرب و کادمیوم لجن فاضلاب کاربردی توسط ذرت (Zea mays. L.). نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک، ۲۰(٤):۱۲۳-۱٤۳.

سفیدگر شاهکلایی، ی.، بارانی مطلق، م.، خرمالی، ف. و دردی پور، ا. ۱۳۹٦. تثبیت سرب در یک خاک آهکی با استفاده از اصلاح کننده‌های آلی و معدنی. نشریه آب و خاک، ۳۲(۱): ۱۲۷-۱٤۲.

www.SID.ir

Archive of SID

شاهمرادی، س.، افیونی، م.، حاج عباسی، م.ع.، خوشگفتارمنش، ا.ح. و شیروانی، م. ۱۳۹٦. تاثیر جاذب‌های معدنی بر دسترسی زیستی روی، کادمیم و سرب در خاک‌های آلوده اطراف معدن زرشوران در استان آذربایجان غربی. علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، دوره ۲۱(۲): ۱٦۵-۱۷۳.

ضرابی□ س.□ حاتمی‌کیا□ م.□ درستی□ ن.□ ضرابی□ م. و مرتضوی□ ث. بررسی میزات تجمع فلزات سنگین (سرب□ کادمیوم□ مس□ نیکل و جیوه) در برخی از سبزی‌های کشت شده در شهرستان‌های خرم‌آباد و الشتر استان لرستان در سال ۱۳۹۵. فصلنامه علمی پژوهشی علوم پزشکی لرستان، ۲۰ (۲): ۱-۱۱.

طباطبایی□ ا.□ ا.□ انصاری□ ش.□ اسکندری□ ص. و طباطبایی□ ا.□ ا.۱۳۹۵. بررسی آلودگی فلزات سنگین سرب و کادمیوم در برخی محصولات کشاورزی. مطالعات علوم محیط زیست، ۱(۳): ٦۹-۷۷.

علیدادی□ ح.□ مقیسه□ ز. و دهقان□ ع. ۱۳۹۳. غلظت فلزات سنگین (سرب و کادمیوم) در سبزیجات مصرفی شهر مشهد در سال ۱۳۹۰. مجله دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، ٦(۱):۸۹-۹۷.

غلامحسینی، م.، آقاغلیخانی، م. و ملکوتی، م.ج. ۱۳۸۸. تاسیر سطوح مختلف نیتروژن و زئولیت بر عملکرد کمی و کیفی علوفه کلزای پائیزه. علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۱۲(٤۵): ۵۳۷-۵٤۸.

فلاحتی، س. و ادهمی، ا. ۱۳۹۳. تاثیر ورمی کمپوست و دو گونه زئولیت (فیروزکوه و سمنان) بر سینتیک تثبیت نیکل در دو نوع خاک آهکی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال نوزدهم، ۷۱: ۲۵۳-۲٦۳.

قلی زاده، آ.، اصفهانی، م.، عزیزی، م. و اینانلو، م. ۱۳۸۵. بررسی اثرات زئولیت و تنشی خشکی بر رشد و نمود و میزان اسانس گیاه دارویی بادرشبی(Dracocephalum moldavica) . دو فصلنامه علوم و صنایع کشاورزی، ۲۰(۲): ۱۱۳-۱۲۱.

کاظم‌زاده خویی، ج.، سادات نوری، ا.، پورنگ، ن.، علیزاده، م.، قریشی، ح. و پاداش، ا. ۱۳۹۱. بررسی و اندازه گیری فلزات سنگین نیکل، سرب، مس، منگنز، روی، کادمیوم و وانادیوم در سبزی‌های خوراکی جنوب پالایشگاه تهران. پژوهش‌های محیط زیست، ۳(٦): ٦۵-۷٤.

کیانی□ ا. و عبداللهی□ س. بررسی وضعیت محصول سیب‌زمینی در ایران و جهان و راهکارهای افزایش صادرات کشور (با تاکید بر استان اردبیل). وزارت امور اقتصادی و دارائی.

لکزیان، ا. ۱۳۹٤. تاثیر بیوچار بر خصوصیات رشدی گیاه سویا و خصوصیات شیمیایی خاک. اولین همایش بین المللی و چهارمین همایش ملی پژوهش‌ای محیط زیست و کشاورزی ایران. همدان.

محب‌زاده□ ف.□ جعفری□ م.□ متشرع‌زاده□ ب. و صفاری امان□ م. ۱۳۹۷. بررسی تأثیر و کمپوست زباله شهری بر گیاه پالایی خاک آلوده به سرب. سومین کنفرانس ملی حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱-۱۳.

محمدی، ا.، ملکی، غ.ر. و زند، ا. ۱۳۸۹. بررسی اثرات کاربرد زئولیت و پتاسیم بر رشد رویشی و عملکرد چغندرقند. نشریه یافته‌های نوین کشاورزی، دوره ۵(۲): ۱۲۵-۱۳۲.

مدنی، ح.، مقیمی، آ. و ساجدی، ن.ع. ۱۳۸۹. تاثیر مقادیر مختلف زئولیت و دور آبیاری بر عملکرد و برخی صفات سیب زمینی. یافته‌های نوین کشاورزی، ٤(۳): ۲۸۵-۲۹۳.

ناظمی، س.، عسگری، ع.ر. و راعی، م. ۱۳۸۹. بررسی مقدار فلزات سنگین در سبزیجات پرورشی حومه شهر شاهرود. سلامت و محیط زسیت، دوره ۳(۲): ۱۹۵-۲۰۲.

نوفرستی□ ع.□ شریعتی□ س. و نیک‌پور□ ط. ۱۳۹۲. اندازه‌گیری آرسنیک موجود در گیاهان سیب‌زمینی و هویج در دشت قروه به‌روش جذب اتمی. علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱٦(۱):٦۱-۷٤.

www.SID.ir

Archive of SID

Ahmad M., Usman, A.R.A., Al-Faraj, A.S., Ahmad, M., Sallam, A. and Al-Wabel, M.I. 2018. Phosphorus-loaded biochar changes soil heavy metals availability and uptake potential of maize (Zea mays L.) plants. Chemosphere, 194: 327-339.

Amonette, J. and Joseph, S. 2009. Characteristics of biochar: Microchemical properties. Biochar for environmental management, London, pp 33-52.

Bridgwater, A. 2012. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. Biomass and Bioenergy, 38: 68-94.

Castaldi, P., Santona, L. and Melis, P. 2005. Heavy metal immobilization by chemical amendments in a polluted soil and influence on white lupin growth. Chemosphere, 60: 365-371.

Dominguez, M., Nunez, R.P., Pineiro, J., Barral, M.T. 2019. Physicochemical and biochemical properties of an acid soil under potato culture amended with municipal solid waste compost. International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture, 1: 1-8.

Esmaeili, V., Ajalli, J., Faramarzi, A., Abdi, M. and Gholizadeh, M. 2019. Gasification of wastes: The impact of the feedstock type and co-gasification on the formation of volatiles and char. International Journal of Energy Research, In Press.

Fu, J., Zhou, Q., Liu, J., Liu, W., Wang, T. and Zhang, Q. 2008. High levels of heavy metals in rice (Oryza sativaL.) from a typical E-waste recycling area in southeast China and its potential risk to human health. Chemosphere, 71(7): 1269-1275.

Geneva, 2017. World health organization (WHO). Guidelines for Drinking Water Quality. 4rd edition.

Imsirovic, E., Salkic, B., Keran, H., Salkic, E. and Salkic, A. 2019. Examination of the impact of contaminated soil on the concentration of heavy metals in vegetables. International Journal of Development Research, 9: 25612-25619.

He, M., Hu, Z., Xiao, B., Li, J., Guo, X., Luo, S., Yang, F., Feng, Y., Yang, G. and Liu, S. 2009. Hydrogen-rich gas from catalytic steam gasification of municipal solid waste (MSW): Influence of catalyst and temperature on yield and product composition. International Journal of Hydrogen Energy, 34: 195-203.

Indianara, C.O., Maria, A.S.D.B., Edson, A.S., Joao, H.D., Pedro, A.A. and Osxaldo, C.M.L. 2009. A comparative study for the ion exchange of Fe (III) and Zn(II) on zeolite NaY. Journal of Hazardous Materials, 161: 1404-1412.

Kabata-Pendias, A. 2011. Trace elements in soils and plants. 4th edition. Boca Raton, Florida. CRC Press.

Laird, D.A., Fleming, P.D., Karlen, D.L., Wang, B. and Horton, R. 2010. Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. Geoderma, 158: 436-442.

Lopez, R., Hallat, J., Castro, A., Miras, A. and Burgos, P. 2019. Heavy metal pollution in soils and urban-grown organic vegetables in the province of Sevilla, Spain. Biological Agriculture & Horticulture, 1: 1-20.

Molaei, S., Shirani, H., Hamidpour, M., Shekofteh, H. and Besalatpour, A.A. 2016. Effect of vermicompost, pistachio kernel and shrimp shell on some growth parameters and availability of Cd, Pb and Zn in corn in a polluted soil. JWSS, 19(74): 113-124

Nematollahsani, R., Hasanpoor, A. and Abootalebi, A. 2013. Conrtamination of azot and heavy metals under soilless (plumbago, copper, cadmium) in herbs culture. Website of Agriculture and Gardening.

Nzediegwu, C., Prasher, S., Elsayed, E., Dhiman, J., Mawof, A. and Patel, R. 2019. Effect of biochar on heavy metal accumulation in potatoes from wastewater irrigation. Journal of Environmental Management, 232: 153-164.

Osmani, M., Bani, A. and Hozha, B. 2015. Heavy metals and Ni phytoextractionin in the metallurgical area soils in Elbasan. Albanian Journal of Agricultural Sciences, 14: 414-419.

Puga, A.P., Abreu, C.A., Melo, L.C.A. and Beesley, L. 2015. Biochar application to a contaminated soil reduces the availability and plant uptake of zinc, lead and cadmium. Journal of Environmental Management, 159: 86-93.

Salavati, S., Zhang, C.T., Zhang, S., Liu, Q., Gholizadeh, M., Hu, X. 2019. Cross-interaction during co-gasification of wood, weed, plastic, tire and carton. Journal of Environmental Management, 250:1-15.

Yang, H. and Sheng, K. 2012. Characterization of biochar properties affected by different pyrolysis temperatures using visible near infrared spectroscopy. International Scholarly Research Network Spectroscopy.

Zhang, A., Liu, Y., Pan, G., Hussain, Q., Li, L., Zheng, J. and Zhang, X. 2012. Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil from central China plain. Plant and Soil, 351: 263-275.

Zheng, R., Chen, Z., Cai, C., Wang, X., Huang, Y., Xiao, B. and Sun, G. 2013. Effect of biochars from rice husk, bran and straw on heavy metal uptake by pot-grown wheat seedling in a historically contaminated soil. BioResources, 8 (4): 5965-5982.

www.SID.ir

Archive of SID

ISSN 2251-7480

Effect of Adding Zeolite and Biochar to Soil on Heavy Metals Adsorption by Potato in a Contaminated Soil

Vahideh Esmaeili[1], Jalil Ajalli[2*], Ali Faramarzi[3], Mehrdad Abdi[4] and Mortaza Gholizadeh[5]

1) PhD Candidate, Department of Agronomy and Plant Breeding, Miyaneh Branch, Islamic Azad University, Miyaneh, Iran
2) Assist. Prof., Department of Agronomy and Plant Breeding, Miyaneh Branch, Islamic Azad University, Miyaneh, Iran
3) Assist. Prof., Department of Agronomy and Plant Breeding, Miyaneh Branch, Islamic Azad University, Miyaneh, Iran
4) Assist. Prof., Department of Agronomy and Plant Breeding, Miyaneh Branch, Islamic Azad University, Miyaneh, Iran
5) Assist. Prof., Faculty of Chemical and Petroleum Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran
*Corresponding author email: jalil.ajali@m-iau.ac.ir

Received: 27-04-2020 Accepted: 26-07-2020

Abstract

Heavy metals enter from human being activities into soil and food cycle and can lead to poisoning. In this research, the influence of adding poplar wood biochar, mixture biochar and zeolite on the decrease of Pb, Ni and Cd adsorption by potato was investigated. To produce biochar, a lab scale gasification reactor (850°C) was used. A random trial including 3 repetitions was conducted in a greenhouse located in Basminj, Tabriz. Additives percentages were 2, 3 and 5 wt%. The amount of Ni, Pb and Cd traits were significant at 1% probability level. The highest and lowest Pb adsorption were belonged to treatment with no additives (6.89 mg per g) and poplar biochar factor (3.85 mg per g). Compared to mixture biochar (3.31 mg per g) and zeolite (4.5 mg per g), poplar wood biochar factor (2.75 mg per g) had the lowest Ni adsorption. The second (3%) and third (5%) levels treatments of poplar biochar (2.8 and 2.05 mg per g) accompanied with the third level (5%) mixture biochar factor (2.93 mg per g) had the lowest Ni and the treatment with no additives (6.75 mg per g) had the maximum Ni. The highest Cd amount was belonged to the treatment with no additives (1.96 mg per g). Furthermore, poplar biochar factor (1.18 mg per g) included the lowest Cd amount compared to the mixture biochar (1.58 mg per g) and zeolite (1.52 mg per g). Considering all, the poplar wood biochar showed the highest decline of metal adsorption.

Keywords: Lead, Nickel, Cadmium, Adsorption, Contaminated soil.

www.SID.ir