

نقش خاک پوش سطحی زغال زیستی حاصل از پسماند کارخانه های لبنی بر نفوذ و رواناب در کرت های کوچک آزمایشگاهی

محمدحسین قویمی پناه^۱، سید حمیدرضا صادقی^{۲*}، حبیب الله یونسی^۳

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی، مازندران، نور

۲. استاد، گروه مهندسی آبخیزداری دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی، مازندران، نور

۳. استاد، گروه محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی، مازندران، نور

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۹/۱ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۵/۱۱/۲۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۱۲/۱)

چکیده

استفاده سودمند از پسماندها در شکل‌ها و اهداف مختلف و از جمله مدیریت رواناب، راه‌کاری مناسب و زمینه‌ساز دستیابی به توسعه پایدار می‌باشد. در این راستا تبدیل پسماندهای صنعتی به زغال زیستی و کاربرد آن به صورت خاک پوش با هدف بهبود شرایط خاک برای افزایش نفوذ آب می‌تواند راه‌کاری زیستی-اقتصادی باشد. بر همین اساس، پژوهش حاضر با دو هدف تهیه زغال زیستی از پسماندهای کارخانه کاله به عنوان خاک پوش سطحی و ارزیابی کاربرد سه سطح ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ گرم بر مترمربع در کرت‌های کوچک فرسایشی پر شده با خاک مرتعی حساس به فرسایش منطقه مرزن‌آباد مازندران بر بهبود نفوذپذیری خاک و مؤلفه‌های رواناب استفاده شد. به همین منظور، شبیه‌سازی باران با دو شدت ۵۰ و ۹۰ میلی‌متر بر ساعت در آزمایشگاه شبیه‌ساز باران و فرسایش دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس پس از ۳۵ روز از کاربرد زغال زیستی انجام شد. سپس مقادیر و تغییرات رواناب سطحی با اندازه‌گیری رواناب خروجی و نفوذ آب در خاک از طریق بیان حجم بارش و رواناب خروجی از کرت‌ها محاسبه شد. بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش میزان نفوذ آب در سطح کرت‌های تیمار شده با ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ گرم بر مترمربع از زغال زیستی به ترتیب ۲۳، ۳۱ و ۳۲ درصد در شدت ۵۰ میلی‌متر بر ساعت و ۲۱، ۲۳ و ۲۴ درصد در شدت ۹۰ میلی‌متر بر ساعت، نسبت به تیمار شاهد افزایش (p < ۰/۰۱) و حجم رواناب نیز در شدت بارندگی ۵۰ میلی‌متر بر ساعت به ترتیب ۵۶، ۶۲ و ۶۷ درصد و در شدت بارندگی ۹۰ میلی‌متر بر ساعت به ترتیب ۵۹، ۶۴ و ۶۵ درصد، نسبت به تیمار شاهد کاهش (p < ۰/۰۱) داشته است. نتایج به دست آمده حاکی از کاهش زمان شروع رواناب در هر یک از تیمارهای زغال زیستی بود. پژوهش حاضر، کاربرد زغال‌های زیستی پسماندهای صنایع غذایی در بهبود مؤلفه‌های هیدرولوژیکی خاک‌های تخریب‌پذیر را تأیید نمود.

واژه‌های کلیدی: اصلاح زیستی خاک، حفاظت خاک و آب، مدیریت پسماند، نفوذپذیری خاک

مقدمه

اصلی‌ترین منابع آبی در کشورهای با اقلیم خشک، اثرات سوء درون و برون منطقه‌ای از قبیل سیل، رسوب‌زایی، افزایش خسارات جانی و مالی و کاهش بهره‌وری کشاورزی و اقتصادی و در نهایت مشکلات اجتماعی نمایان خواهد بود. بر همین اساس اتخاذ اقدامات مدیریتی و فنی در راستای بهبود ویژگی‌های مؤثر خاک در مدیریت رواناب سطحی و افزایش نفوذ آب در خاک به‌ویژه در شرایط بارندگی‌های شدید و ترجیحاً با استفاده از تولیدات فرآوری شده حاصل از پسماندها اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. از این‌رو در دهه‌های اخیر راه‌کارهایی با هدف حمایت و اصلاح ویژگی‌های خاک سطحی دامنه‌ها از طریق اصلاح‌گرها و افزودنی‌های زیستی و غیرزیستی در افزایش نفوذ آب در خاک ارائه و اجرا شده است. در این راستا کاربرد پلی‌مرهای زیستی و

تأمین نیازهای جمعیت رو به افزایش جهانی ناگزیر فشار بر منابع طبیعی را در پی داشته که در این بین بهره‌برداری غیراصولی از منابع زمینی باعث تخریب اراضی (Sadeghi et al., 2015)، کاهش منابع آب سطحی و زیرزمینی (Kheirfam and Vafakhah, 2015) و حتی ورود حجم زیادی از پسماندها و آلاینده‌ها به محیط‌زیست شده است. از طرفی به سبب تخریب کمی و کیفی خاک سطوح دامنه‌ها ناشی از بهره‌برداری مازاد و غیراصولی، قابلیت خاک برای حفظ و نفوذ آب نیز کاهش پیدا کرده است. لذا علاوه بر کاهش منابع آب زیرزمینی به عنوان

* نویسنده مسئول : Sadeghi@modares.ac.ir

افزودنی‌های زیستی در حذف آلودگی‌ها (Agrafioti *et al.*, 2013) و نیز بهبود برخی مؤلفه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک (Hseu *et al.*, 2014) مورد توجه قرار گرفته است. زغال‌های زیستی به سبب سازگاری بالای آن‌ها با محیط زیست و ماندگاری طولانی مدت اثرات مفید ناشی از آن در خاک (Cheng *et al.*, 2008)، نسبت به سایر افزودنی‌های متداول دارای اهمیت و برتری ویژه می‌باشد.

در این راستا، Paz-ferreiro *et al.* (2011) عملکرد پسماندهای شهری و زغال زیستی حاصل از آن بر زیست‌توده میکروبی، آنزیم‌های مفید و نیتروژن خاک را بررسی کردند. نتایج پژوهش نشان داد که افزایش مقادیر زغال زیستی باعث بهبود مؤلفه‌های مربوطه شد، در حالی که افزایش سطح استفاده از پسماندهای شهری زیست‌توده میکروبی، آنزیم‌های مفید و نیتروژن خاک را کاهش داد. از طرفی Yuan *et al.* (2015) کاهش محسوس آلاینده‌های زغال زیستی از جمله فلزات سنگین حاصل از پسماندهای صنعتی و شهری را گزارش کرده و دمای ۳۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد را مناسب‌ترین دما در تولید زغال زیستی تأیید کردند. همچنین ویناس (پسماند آلی صنایع نیشکر و الکل‌سازی) و زغال زیستی تولید شده از پسماندهای نیشکر بر مهار هدررفت خاک و رواناب در شرایط آزمایشگاهی و در مقیاس کرت توسط Sadeghi *et al.* (2016 a,b) بررسی شد. نتایج ایشان حاکی از تأثیر معنی‌دار ویناس و زغال زیستی مذکور در بهبود مؤلفه‌های هدررفت خاک و رواناب بود. همچنین Yuan *et al.* (2016) اظهار کردند که زغال زیستی تهیه شده از پسماندهای تصفیه‌خانه‌های شهری و صنعتی علاوه بر جلوگیری از آب‌شویی مواد مغذی خاک، مواد مغذی زیادی نسبت به پسماندها داشته و باعث افزایش کیفیت خاک نیز شد. Hejazizadeh *et al.* (2016) به بررسی نقش زغال زیستی لجن فاضلاب کارخانه‌ی کاغذ در کاهش جذب فلزات سنگین توسط گیاهان پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که کاربرد مواد خام موجب افزایش معنی‌دار غلظت سرب و کادمیوم در اندام هوایی و ریشه‌ی گیاه شد. در حالی که کاربرد زغال زیستی تهیه شده از همین مواد خام کاهش معنی‌دار غلظت فلزات مذکور در گیاه را در پی داشت.

بررسی پیشینه پژوهشی حاکی از آن است که استفاده از افزودنی‌ها با اهداف حفاظت کیفی و کمی خاک و ذخیره رواناب به عنوان راه‌کاری اقتصادی، کاربردی و کارا مورد توجه و تأیید قرار گرفته است. لکن کاربرد سطحی خاک‌پوش‌های تهیه شده از تهیه زغال زیستی حاصل از پسماندهای محیط زیست با هدف حفظ آب و مدیریت رواناب گزارش نشده است. در همین راستا،

غیرزیستی (Sadeghi *et al.*, 2015b)، پسماندهای محصولات زراعی (Sadeghi *et al.*, 2015a) و غذایی (Sheets *et al.*, 2015)، پسماندهای صنایع تبدیلی کشاورزی (Sadeghi *et al.*, 2016a,c) و حتی ریزجانداران مفید خاک‌زی (Sadeghi *et al.*, 2016b) در شرایط آزمایشگاهی و بعضاً صحرایی با هدف بهبود مؤلفه‌های رواناب و نفوذپذیری خاک مورد بررسی و تأیید قرار گرفته است.

از طرفی با گسترش کاربرد فن‌آوری‌های نوین در علوم طبیعی، راه‌کارهای متعدد برای بهبود ویژگی‌های ماهیتی و ظاهری خاک در راستای افزایش نفوذپذیری و کاهش رواناب از سطوح دامنه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این راستا کاربرد زغال زیستی^۱ تهیه شده از چوب درختان با هدف کاهش فرسایش و هدر رفت خاک توسط Jien and Wang (2013) و همچنین اخیراً زغال زیستی تهیه شده از پسماندهای کارخانه‌های نیشکر توسط Sadeghi *et al.* (2016a) با هدف کاهش هدررفت خاک و آب مطرح و مورد تأیید قرار گرفته است. زغال زیستی مواد آلی مقاوم به تجزیه و با ماندگاری بالا بوده که به عنوان یک محصول جانبی طی فرآیند آتشکافت^۲ زیست‌توده‌ی طبیعی در شرایط بدون اکسیژن تولید شده و می‌توان به عنوان یک مخزن شیمیایی زیستی پایدار کربن در خاک از آن استفاده کرد (Namgay *et al.*; Cheng *et al.*, 2008; Novack *et al.*, 2010; al., 2010). همچنین از سوی دیگر افزایش فعالیت‌های صنعتی با هدف تأمین رفاه و منابع غذایی بشر باعث افزایش روزافزون پسماندهای صنعتی و طبعاً دفع این پسماندها باعث تجمع آن‌ها در محیط زیست شده و به عنوان یکی از چالش‌های اساسی محیط زیست طبیعی و انسانی در دهه‌های اخیر مطرح شده است (Costa *et al.*, 2010). در همین راستا، اقدامات متعددی با هدف کاهش، حذف و تبدیل پسماندها انجام گرفته است که برخی از محدودیت‌ها از قبیل صرف زمان و هزینه‌های زیاد، ضرورت کاربرد فن‌آوری‌های پیچیده و همچنین قابلیت دسترسی محدود برای کشورهای مختلف از کارایی و بازدهی آن‌ها کاسته است (Qing *et al.*, 2015). با این حال، اخیراً در راستای کاهش اثرات سوء محیط زیستی واحدهای صنعتی، تبدیل پسماندهای آن‌ها به زغال زیستی به عنوان راه‌کاری اقتصادی، کارا و زیستی مطرح شده است (Zornoza *et al.*, 2016). با فراگیر شدن تولید زغال زیستی از پسماندهای صنعتی کاربرد آن‌ها به عنوان اصلاح‌گرها و

میزان رطوبت، کربن آلی، خاکستر و نیتروژن کل ماده خام پسماند مذکور به ترتیب ۲۸، ۲۱/۸۵، ۲۸ و ۳/۸۹ درصد اندازه‌گیری شد.

تولید زغال زیستی از پسماند صنعتی و اعمال تیمار آزمایش
 پسماند تهیه شده از تصفیه‌خانه فاضلاب صنایع لبنی کارخانه کاله آمل به سبب ایجاد مشکلات محیط زیستی و قابلیت تولید زغال زیستی به آزمایشگاه شبیه‌ساز باران و فرسایش دانشگاه تربیت مدرس واقع در دانشکده منابع طبیعی منتقل و در هوای آزاد خشک شد. سپس در هر دوره‌ی تولید، مقدار دو کیلوگرم از پسماند هوا خشک شده در داخل کوره طراحی و ساخته شده توسط *Sadeghi et al.* (2016a) ریخته شده و به مدت سه ساعت تحت دمای ۳۰۰ تا ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد (Aliakbari *et al.*, 2017; Zornoza *et al.*, 2016; *Sadeghi et al.*, 2016a) و در عدم حضور اکسیژن به نسبت وزنی ۱۶ درصد به زغال زیستی تبدیل شد و در پایان میزان کربن و نیتروژن در زغال زیستی به ترتیب ۳۹/۷۵ و ۲/۷۲ درصد اندازه‌گیری شد. اگرچه نسبت کربن فعال در زغال‌های زیستی با توجه به منابع کربنی مختلف الزاماً یکسان نیست (Yuan *et al.*, 2015)، لکن نسبت هیدروژن به کربن در زغال زیستی تولید شده از همین مواد اولیه و با شیوه مشابه توسط *Aliakbari et al.* (2017)، ۰/۸ گزارش شده است. نمایی از ماده خام پسماند کارخانه صنایع غذایی و زغال زیستی تولید شده از آن در شکل (۱) ارائه شده است.

روش پژوهش

برای آماده‌سازی کرت‌های آزمایشی ابتدا بقایای گیاهی و سنگ و سنگ‌ریزه موجود در خاک انتقال داده شده هوا خشک حذف شدند و سپس خاک از الک چهار میلی‌متری عبور داده شد. خاک الک شده به صورت لایه‌بندی در داخل کرت‌هایی به ابعاد طول، عرض و ارتفاع ۰/۵ متر ریخته شد و به صورتی که سطح خاک با سطح سرریز کرت‌ها یکسان شود، قرار گرفت. برای شبیه‌سازی بهتر شرایط طبیعی، یک لایه پوک معدنی در زیر خاک مورد آزمایش ریخته شد و تا رسیدن به جرم مخصوص ظاهری نمونه دست‌نخورده مورد مطالعه (۱/۱۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب) غلطک زده شد. پس از این مرحله، به منظور تأمین شرایط رطوبت پیشین خاک و متناسب با شرایط طبیعی، حدود ۲۴ ساعت تحت شرایط اشباع از کف قرار گرفت. سپس به مدت ۲۴ ساعت رها شد تا به حالت نزدیک به رطوبت مزرعه برسد (Kukul and Sarkar, 2011; *Sadeghi et al.*, 2015a).

(Kheirfam *et al.*, 2017a, b).

پژوهش حاضر با هدف مدیریت رواناب و افزایش نفوذ آب در یک خاک تخریب یافته و حساس به فرسایش از طریق خاک‌پوش زغال زیستی تهیه شده از پسماندهای کارخانه‌ی صنایع غذایی کاله آمل در شرایط شبیه‌سازی باران و در مقیاس کرت‌های فرسایشی کوچک برنامه‌ریزی شد. بر اساس سوابق پژوهشی مشابه و فرآیندهای متصور بر شرایط، انتظار می‌رود با تأیید نقش زغال زیستی پسماندهای صنعتی در افزایش نفوذ آب در خاک، ضمن ارائه راه‌کاری کاملاً زیستی و اقتصادی در مدیریت منابع آب، بخشی از چالش‌های آلودگی‌های محیط زیستی کارخانه‌های صنعتی غذایی نیز کاهش یابد.

مواد و روش‌ها

خاک منطقه مورد مطالعه

خاک مورد نیاز از منطقه‌ی مرتعی مرزن آباد در ۲۵ کیلومتری جنوب شهرستان چالوس واقع در استان مازندران برداشت، آماده‌سازی و پژوهش مورد نظر روی آن انجام شد. منطقه مذکور در حواشی جاده‌ی مرزن آباد-کندلوس که در مختصات طول جغرافیایی ۲۶° ۵۱' و عرض جغرافیایی ۲۷° ۳۶' واقع شده است. وجود تشکیلات و خاک حساس، نفوذپذیری کم و تولید رواناب و در نتیجه تولید رسوب بالا از ویژگی‌های حاکم بر منطقه می‌باشد (Kheirfam *et al.*, 2016). خاک مورد مطالعه از عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری سطحی تهیه شد. هم‌چنین خاک منطقه مادری دارای بافت سیلتی-لومی-رسی، ساختار دانه‌ای متوسط با پایداری شکننده در حالت مرطوب، جرم مخصوص ظاهری ۱/۱۰ تا ۱/۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب، pH بین ۷/۴۲ تا ۷/۶۸، قابلیت هدایت الکتریکی از ۰/۱۷ تا ۰/۲۵ دسی‌زیمنس بر متر، ماده آلی ۱/۶۳ درصد، کربنات کلسیم ۲۸ درصد و نیتروژن کل ۰/۰۷ تا ۰/۱۴ درصد می‌باشد (Kheirfam *et al.*, 2017a, b).

پسماند مورد استفاده

پسماند مورد استفاده برای تهیه زغال زیستی از تصفیه‌خانه فاضلاب بزرگ‌ترین واحد تولید لبنی کشور در شرکت کاله آمل با حجم ورودی ۳۰۰۰ مترمکعب فاضلاب در روز با COD^۳ تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تهیه شد. پسماند تهیه شده به منظور آگاهی از ویژگی‌های شیمیایی آن به آزمایشگاه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس منتقل و آزمایش‌های لازم برای ارزیابی آن انجام شد. بر همین اساس

با سه تکرار به صورت هم‌زمان با سه تکرار از تیمار شاهد و طبعاً بدون افزودنی زغال زیستی اجرا شد. سپس با رعایت فاصله‌ی زمانی ۳۵ روز، به سبب احتمال فعال‌سازی فعالیت‌های میکروبی سطحی خاک و احتمال بهبود ویژگی‌های زیستی و شیمیایی خاک (Kheirfam *et al.*, 2017a, b) و نیز تشابه نسبی خاک تیمار شده با شرایط واقعی حاکم بر منطقه و از همه مهم‌تر امکان‌پذیری اجرای آن در عمل و با عنایت به تقویم بارشی و یا حتی پیش‌بینی‌های هواشناسی، شبیه‌سازی باران انجام شد. نمونه‌ای از کرت‌های آزمایش مورد استفاده در شرایط مختلف در شکل (۲) نمایش داده شده است.

زغال زیستی تهیه‌شده در هاون به شکل پودر در آمده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شد (Butnan *et al.*, 2015). سپس با استفاده از الک دستی کوچک به صورت پودری با رعایت یکنواختی در پراکنش و ضخامت سطحی، روی کرت‌ها در سه سطح ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ گرم بر مترمربع پاشیده شد. زغال زیستی تهیه شده به صورت دستی و در تطابق با کاربرد تیمارهای مزبور در شرایط طبیعی و با هدف حفظ آب در آبخیزهای مرتعی با وضعیت مشابه با منطقه مرتعی مورد مطالعه انجام پذیرفت. سطوح مورد استفاده متناسب با سطح بهینه پیشنهادی برای زغال زیستی ویناس (Sadeghi *et al.*, 2016a)



شکل ۱. تصویر ماده خام لجن فاضلاب صنعتی هواخشک قبل (الف) و بعد از تبدیل به زغال زیستی (ب)

تجزیه و تحلیل‌های آماری

به منظور انجام تجزیه و تحلیل آماری، ابتدا بانک اطلاعاتی داده‌های مقادیر تولید رواناب و نفوذ آب در خاک کرت‌ها در طول شبیه‌سازی باران و در پایان آن در محیط نرم‌افزار Excel2013 تشکیل شد. سپس نمودارهای مورد نیاز رسم و روابط بین متغیرها مورد بررسی قرار گرفت. به منظور آنالیز آماری داده‌ها از نرم‌افزار SPSS23 استفاده شد. به همین منظور قبل از انجام هرگونه تجزیه و تحلیل آماری، نرمال بودن داده‌ها با آزمون Shapiro-Wilk با توجه به تعداد کم داده‌ها در هر گروه از تیمارها (Wah and Razali, 2011) آزمایش شد. سپس با استفاده از آزمون Tukey به سبب ضرورت تشخیص بیش‌ترین اختلاف بین عملکرد تیمارهای مطالعاتی و طبعاً تأیید کارآیی موفق و کاربردی تیمارهای مورد مطالعه در افزایش نفوذ آب در خاک در مقیاس حوزه‌های آبخیز استفاده شد.

نتایج و بحث

این پژوهش با هدف بررسی اثر خاک‌پوش سطحی زغال زیستی تهیه شده از پسماند کارخانه‌های لبنی در بهبود رفتار رواناب

شبیه‌سازی روی تیمارهای خاک‌پوش سطحی زغال زیستی و شاهد به صورت شرایط کاملاً یکنواخت با طرح آزمایشی بلوک‌های تصادفی صورت گرفت. به این ترتیب تعداد ۲۴ کرت با توجه به چیدمان تیمارها (سه سطح و یک شاهد)، تکرارها (سه عدد) و دو شدت بارندگی ۵۰ و ۹۰ میلی‌متر بر ساعت و دوام به ترتیب ۹۰ و ۶۰ دقیقه و متناسب با شرایط اقلیمی منطقه (Sadeghi *et al.*, 2013) برای انجام آزمایش برنامه‌ریزی شد. لذا در هر سری از فرآیند شبیه‌سازی باران، کرت‌ها روی سطوح شیب‌دار و متناسب با شیب طبیعی و متوسط منطقه (حدوداً ۲۵ درصد) و در محوطه آزمایشگاه شبیه ساز باران و فرسایش دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس قرار داده شدند. در حین اجرای آزمایش، حجم رواناب سطحی و میزان نفوذ آب در خاک کرت‌ها پس از شروع شبیه سازی باران هر دو دقیقه یک بار (Sadeghi *et al.*, 2015a) و در انتهای آزمایش با استفاده از روش بیلان و طبعاً اختلاف بارش ورودی و رواناب خروجی از کرت‌ها اندازه‌گیری شد (Sadeghi *et al.*, 2015a).

شمال کشور فقیر و فاقد پوشش گیاهی بوده، نفوذپذیری کم و حساسیت بالا به فرسایش است (Kheirfam *et al.*, 2017a, b).

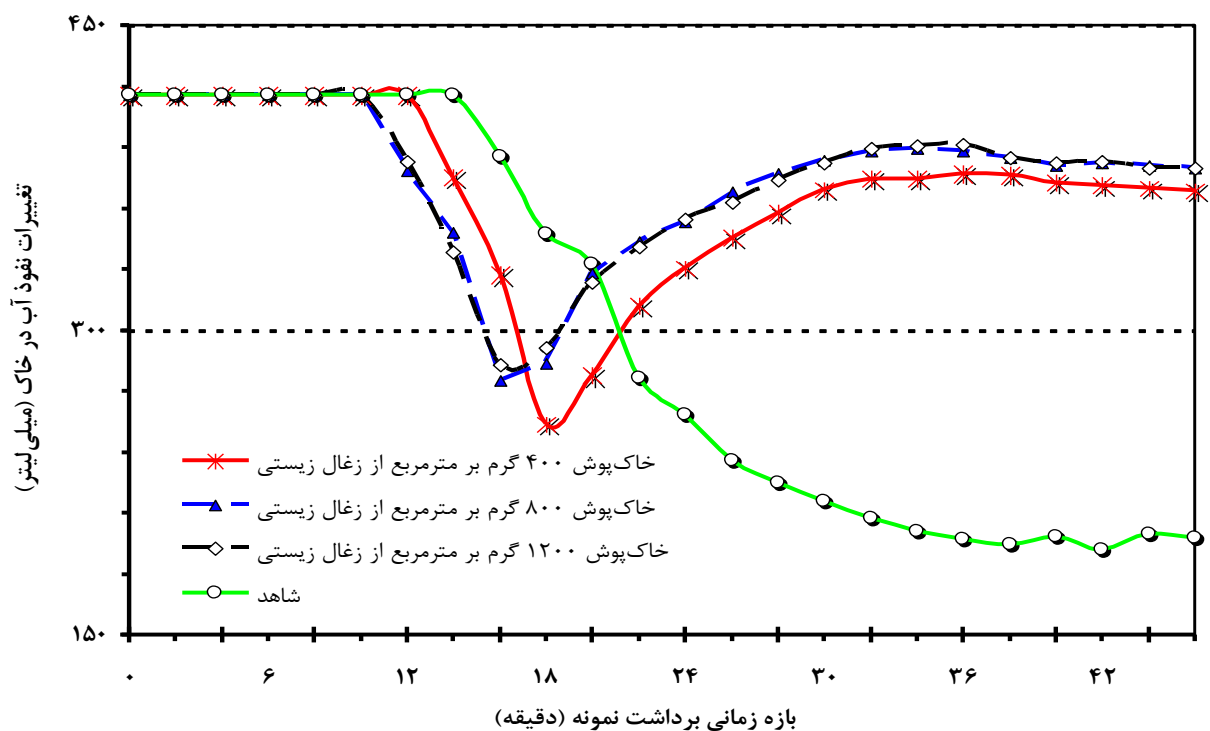
سطحی و افزایش نفوذ آب در یک خاک حساس به فرسایش انجام شد. خاک منطقه مورد مطالعه بر خلاف خاک اکثر مناطق



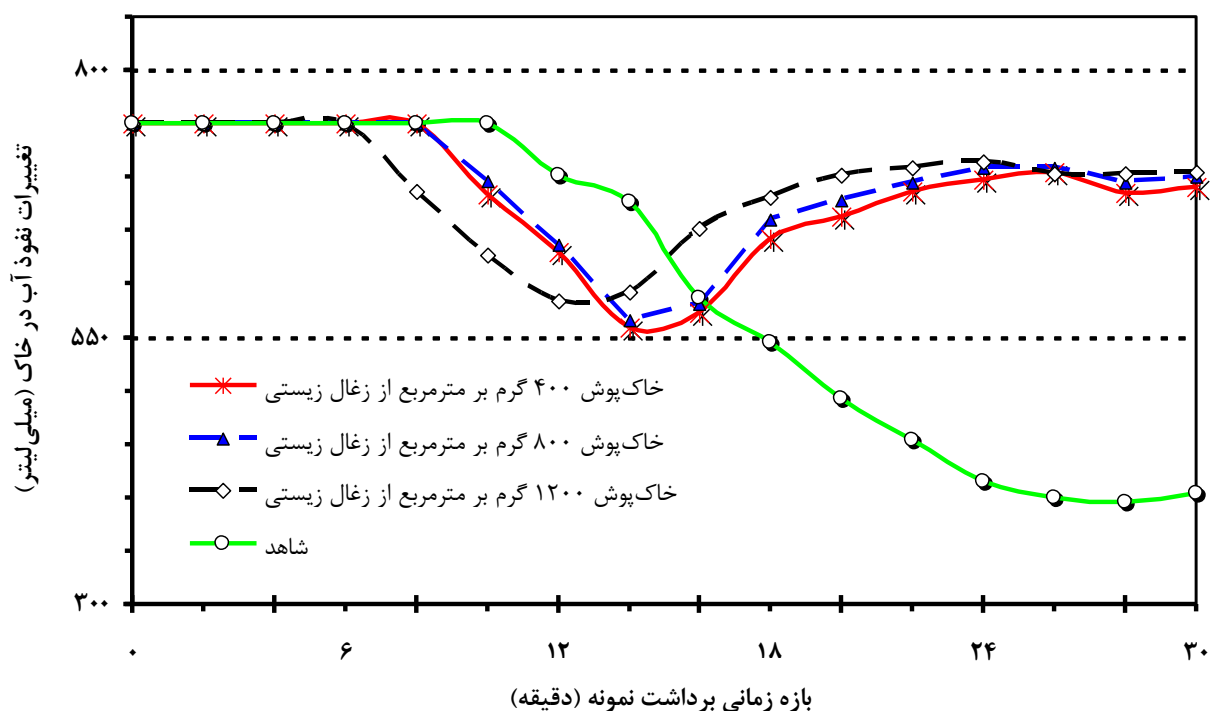
شکل ۲. تصویر کرت‌ها قبل (الف) و بعد (ب) از اعمال تیمار و بعد از انجام شبیه‌سازی باران (ج)

در شدت ۵۰ و ۹۰ میلی‌متر بر ساعت به ترتیب ۴۱۶ و ۷۵۰ میلی‌لیتر در دو دقیقه بود. نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از این بود که بیش‌ترین زمان شروع کاهش نفوذ در تیمار شاهد رخ داد که زمان شروع کاهش نفوذ در شدت ۵۰ میلی‌متر بر ساعت در تیمارهای شاهد، ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ گرم بر مترمربع از زغال زیستی استفاده شده به ترتیب، ۱۶، ۱۴ و ۱۲ دقیقه بعد از شروع بارش بود. همچنین در شدت ۹۰ میلی‌متر بر ساعت در تیمارهای مزبور به ترتیب، ۱۲، ۱۰، ۱۰ و ۸ دقیقه بعد از شروع بارش بود.

طی پژوهش حاضر، با اضافه کردن زغال‌های زیستی روی کرت‌ها به صورت خاک‌پوش سطحی و شبیه‌سازی باران روی آن‌ها، تغییرات میزان رواناب سطحی و نفوذ آب در خاک در بازه‌های زمانی دو دقیقه‌ای و مقادیر اندازه‌گیری شده در کل مدت شبیه‌سازی با شدت ۵۰ و ۹۰ میلی‌متر بر ساعت به ترتیب در شکل‌های (۱ و ۲) و جدول‌های (۱ و ۲) ارائه شده است. بر اساس شدت‌های بارندگی در نظر گرفته شده برای انجام آزمایش، با توجه به مساحت ۰/۲۵ مترمربعی هر کرت در هر بازه زمانی دو دقیقه‌ای، میزان کل بارش در سطح کرت مذکور



شکل ۳. تغییرات متوسط نفوذ آب در خاک در کرت‌های آزمایشی در شدت بارش ۵۰ میلی‌متر بر ساعت



شکل ۴. تغییرات متوسط نفوذ آب در خاک در کرت‌های آزمایشی در شدت بارش ۹۰ میلی‌متر بر ساعت

آمدن زمان کاهش نفوذ در کرت‌های تیمار شده با زغال زیستی در سه سطح مذکور نسبت به تیمار شاهد شد که این نتیجه با نتایج Briggs *et al* (2005) هم‌سو بود. اما همان‌طور که در شکل (۱ و ۲) نشان داده شده است اگر چه زمان کاهش شروع نفوذ در تیمارهای زغال زیستی زودتر اتفاق افتاد اما نمودار این

به‌نظر می‌رسد به دلیل وجود کربن زیاد در تیمارهای زغال زیستی باعث تشکیل زنجیره‌های هیدروکربنی در سطح خاک شده و خاصیت آب‌گریزی^۴ این زنجیره‌ها موجب پایین

4. Hydrophobicity

خاصیت آب‌گریزی خاک در کاهش مقدار نفوذ و افزایش رواناب در بسیاری از مطالعات پیشین (Sadeghi, 2007; Soleimankhani *et al.*, 2014; Gholami Gohareh *et al.*, 2012) نیز گزارش شده است.

جدول ۲. حجم رواناب و مقدار نفوذ آب در خاک در کرت‌های تیمار شده با زغال زیستی و شدت بارندگی ۹۰ میلی‌متر بر ساعت

مؤلفه‌های مورد بررسی*		شماره‌ی کرت‌ها و معیارهای آماری	تیمارها
حجم نفوذ آب در خاک (لیتر)	مؤلفه‌های مورد بررسی*		
۸/۸۱	۲/۴۳	۱	شاهد (بدون کاربرد زغال زیستی)
۸/۸۳	۲/۴۱	۲	
۸/۸۲	۲/۴۲	۳	
۸/۸۲	۲/۴۲	میانگین (لیتر)	۴۰۰ گرم بر مترمربع زغال زیستی
۰/۰۱	۰/۰۱۱	انحراف معیار (لیتر)	
۰/۱۲	۰/۴۵	ضریب تغییرات (درصد)	
۱۰/۲۸	۰/۹۶	۱	۸۰۰ گرم بر مترمربع زغال زیستی
۱۰/۲۷	۰/۹۷	۲	
۱۰/۳۰	۰/۹۴	۳	
۱۰/۲۸	۰/۹۶	میانگین (لیتر)	۱۲۰۰ گرم بر مترمربع زغال زیستی
۰/۰۱۴	۰/۰۱۴	انحراف معیار (لیتر)	
۰/۱۳	۱/۴۵	ضریب تغییرات (درصد)	
۱۰/۳۸	۰/۸۶	۱	۱۲۰۰ گرم بر مترمربع زغال زیستی
۱۰/۳۸	۰/۸۶	۲	
۱۰/۳۵	۰/۸۸	۳	
۱۰/۳۷	۰/۸۷	میانگین (لیتر)	۱۲۰۰ گرم بر مترمربع زغال زیستی
۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	انحراف معیار (لیتر)	
۰/۱۲	۱/۵۰	ضریب تغییرات (درصد)	
۱۰/۴۱	۰/۸۴	۱	۱۲۰۰ گرم بر مترمربع زغال زیستی
۱۰/۴۰	۰/۸۴	۲	
۱۰/۳۸	۰/۸۶	۳	
۱۰/۴۰	۰/۸۵	میانگین (لیتر)	۱۲۰۰ گرم بر مترمربع زغال زیستی
۰/۰۱۱	۰/۰۱۱	انحراف معیار (لیتر)	
۰/۱۰	۱/۳۱	ضریب تغییرات (درصد)	

* حجم تقریبی باران در کل بازه زمانی شبیه‌سازی، ۱۱/۲۵ لیتر بود.

گرم بر مترمربع با خاک‌پوش زغال زیستی استفاده شده با شدت بارندگی ۵۰ میلی‌متر بر ساعت به ترتیب ۳۸، ۳۴ و ۳۲ دقیقه و

کاهش نفوذ به صورت منحنی بوده و بلافاصله بعد از مرطوب شدن زغال زیستی مجدداً افزایش چشم‌گیر نفوذ رواناب در خاک کرت‌ها را نشان می‌دهد. این در حالی است که در تیمار شاهد بعد از شروع کاهش نفوذ این روند به صورت خطی تا پایان زمان شبیه‌سازی بارش رو به افزایش بوده است. نقش

جدول ۱. حجم رواناب و مقدار نفوذ آب در خاک در کرت‌های تیمار شده با زغال زیستی در شدت بارندگی ۵۰ میلی‌متر بر ساعت

مؤلفه‌های مورد بررسی*		شماره‌ی کرت‌ها و معیارهای آماری	تیمارها
حجم نفوذ آب در خاک (لیتر)	مؤلفه‌های مورد بررسی*		
۷/۰۴	۲/۵۳	۱	شاهد (بدون کاربرد زغال زیستی)
۶/۹۷	۲/۵۹	۲	
۶/۹۵	۲/۶۱	۳	
۶/۹۸	۲/۵۷	میانگین (لیتر)	۴۰۰ گرم بر مترمربع زغال زیستی
۰/۰۴	۰/۰۴	انحراف معیار (لیتر)	
۰/۶۳	۱/۷۰	ضریب تغییرات (درصد)	
۸/۵۸	۰/۹۸	۱	۸۰۰ گرم بر مترمربع زغال زیستی
۸/۵۳	۱/۰۳	۲	
۸/۴۵	۱/۱۱	۳	
۸/۵۲	۱/۰۴	میانگین (لیتر)	۸۰۰ گرم بر مترمربع زغال زیستی
۰/۰۶	۰/۰۶	انحراف معیار (لیتر)	
۰/۷۹	۶/۴۱	ضریب تغییرات (درصد)	
۸/۷۲	۰/۸۴	۱	۱۲۰۰ گرم بر مترمربع زغال زیستی
۸/۶۸	۰/۸۸	۲	
۸/۶۹	۰/۸۷	۳	
۸/۶۹	۰/۸۷	میانگین (لیتر)	۱۲۰۰ گرم بر مترمربع زغال زیستی
۰/۰۲	۰/۰۲	انحراف معیار (لیتر)	
۰/۲۲	۲/۲۸	ضریب تغییرات (درصد)	
۸/۷۳	۰/۸۴	۱	۱۲۰۰ گرم بر مترمربع زغال زیستی
۸/۶۹	۰/۸۸	۲	
۸/۶۹	۰/۸۷	۳	
۸/۷۰	۰/۸۶	میانگین (لیتر)	۱۲۰۰ گرم بر مترمربع زغال زیستی
۰/۰۲	۰/۰۲	انحراف معیار (لیتر)	
۰/۲۴	۲/۳۵	ضریب تغییرات (درصد)	

* حجم تقریبی باران در کل بازه زمانی شبیه‌سازی، ۹/۵۷ لیتر بود.

بررسی نتایج شکل (۱ و ۲) و جدول‌های (۱ و ۲) نشان داد که کاهش نفوذ در تیمارهای شاهد، ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰

لذا بر اساس نتایج به دست آمده، تمام تیمارها در سطح اطمینان ۹۹ درصد باعث افزایش نفوذ آب در خاک در هر دو شدت بارندگی مورد آزمایش شدند. نتایج این پژوهش نشان داد که تیمارهای مورد مطالعه تأثیر مثبتی بر تأخیر در شروع کاهش نفوذ آب در خاک نداشتند. از طرفی نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل نشان داد که سه سطح مصرفی از زغال زیستی مذکور به غیر از مؤلفه حجم نفوذ آب در خاک در شدت ۵۰ میلی متر بین سطوح مصرفی ۴۰۰ و ۱۲۰۰ گرم بر مترمربع از زغال زیستی هیچ کدام از مؤلفه های نفوذ و رواناب مورد آزمایش در دو شدت ۵۰ و ۹۰ میلی متر در سه سطح ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ گرم بر مترمربع از زغال زیستی نسبت به هم در سطح معنی داری ($p < 0.05$) اختلاف معنی داری با هم نداشتند.

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس یک طرفه تیمارهای سطوح مختلف زغال زیستی بر نفوذ آب در خاک در تیمارهای مطالعاتی با شدت ۹۰ میلی متر بر ساعت

مؤلفه ی مورد بررسی	منابع تغییرات آزادی	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی داری
مقدار نفوذ آب در خاک (لیتر)	بین گروهی	۳	۰/۴۳۶	۱/۲۰۸	۰/۰۰
	درون گروهی	۸	۰/۰۰۰		
	کل	۱۱			
زمان کاهش نفوذ آب در خاک (دقیقه)	بین گروهی	۳	۱۷/۰۵۶	۸/۵۲۸	۰/۰۷۲
	درون گروهی	۸	۲/۰۰		
	کل	۱۱			
حجم رواناب اندازه گیری شده (لیتر)	بین گروهی	۳	۱/۷۷۲	۱/۱۵۷	۰/۰۰
	درون گروهی	۸	۰/۰۰		
	کل	۱۱			

به دلیل دارا بودن سطح ویژه بالا باعث اتصال ذرات خاک به یکدیگر و ایجاد خلل و فرج درشت و افزایش آبگذری شده (Liang *et al.*, 2006) و همچنین به دلیل توانایی بالای آن در جذب مواد غذایی به عنوان زیستگاه مناسب برای رشد و فعالیت ریز موجودات خاکزی شود (Pietikäinen *et al.*, 2000); Kheirfam *et al.*, 2017a, b) که هر کدام می تواند تأثیر بسزایی در افزایش نفوذ آب و کاهش رواناب داشته باشد. همچنین می توان بیان کرد که افزایش ماده آلی به ویژه کربوهیدرات ها در خاک از طریق خاک پوش زغال زیستی (Beare Feller, 1997) and) و افزایش فضای متخلخل خاک به سبب حجم تخلخل بالا و جرم مخصوص ظاهری زغال مورد استفاده شرایط خاک برای افزایش نفوذ آب در خاک را افزایش داده است. هر چند در این راستا (Schjønning *et al.*, 2004) اتصال ذرات ریز خاک از

در شدت بارندگی ۹۰ میلی متر بر ساعت ۲۶، ۲۴ و ۲۲ دقیقه بعد از شروع بارندگی به میزان ثابت رسیدند. در انتهای زمان شبیه سازی، نیز حجم رواناب در تیمارهای ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ گرم بر مترمربع زغال زیستی استفاده شده در شدت بارندگی ۵۰ میلی متر بر ساعت به ترتیب ۵۶، ۶۲ و ۶۷ درصد و در شدت بارندگی ۹۰ میلی متر بر ساعت به ترتیب ۵۹، ۶۴ و ۶۵ درصد، به صورت معنی دار ($p < 0.01$) کاهش یافت. هم چنین بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش میزان نفوذ آب در سطح کرت های تیمار شده با ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ گرم بر مترمربع از زغال زیستی به ترتیب ۲۳، ۳۱ و ۳۲ درصد در شدت ۵۰ میلی متر بر ساعت و ۲۱، ۲۳ و ۲۴ درصد در شدت ۹۰ میلی متر، با سطح معنی داری ($p < 0.01$) نسبت به تیمار شاهد افزایش یافته است.

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس یک طرفه تیمارهای سطوح مختلف زغال زیستی بر نفوذ آب در خاک در تیمارهای مطالعاتی با شدت ۵۰ میلی متر بر ساعت

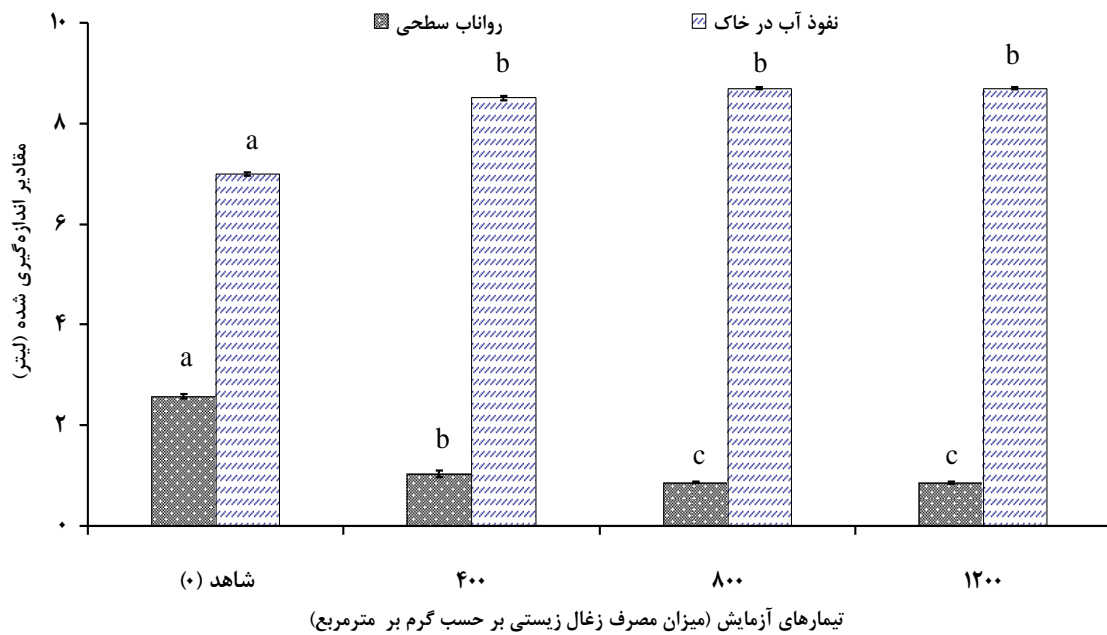
مؤلفه ی مورد بررسی	منابع تغییرات آزادی	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	سطح معنی داری
مقدار نفوذ آب در خاک (لیتر)	بین گروهی	۳	۲/۰۵۱	۲۲/۶۴۷	۰/۰۰
	درون گروهی	۸	۰/۰۰۲		
	کل	۱۱			
زمان کاهش نفوذ آب در خاک (دقیقه)	بین گروهی	۳	۱۱۵	۳/۴۵۰	۰/۰۷
	درون گروهی	۸	۳۳/۳۳		
	کل	۱۱			
حجم رواناب اندازه گیری شده (لیتر)	بین گروهی	۳	۲/۰۵۲	۱/۱۳۵	۰/۰۰
	درون گروهی	۸	۰/۰۰۲		
	کل	۱۱			

تجزیه و تحلیل نتایج حاکی از این بود که کرت های تیمار شده با خاک پوش سطحی زغال زیستی احتمالاً به دلیل فرآیند خاک دانه سازی باعث افزایش جریان آب به داخل خاک و افزایش نفوذ آب های سطحی در خاک مورد مطالعه شده است (Asai *et al.*, 2009; Major *et al.*, 2009; Major and Husk, 2010).

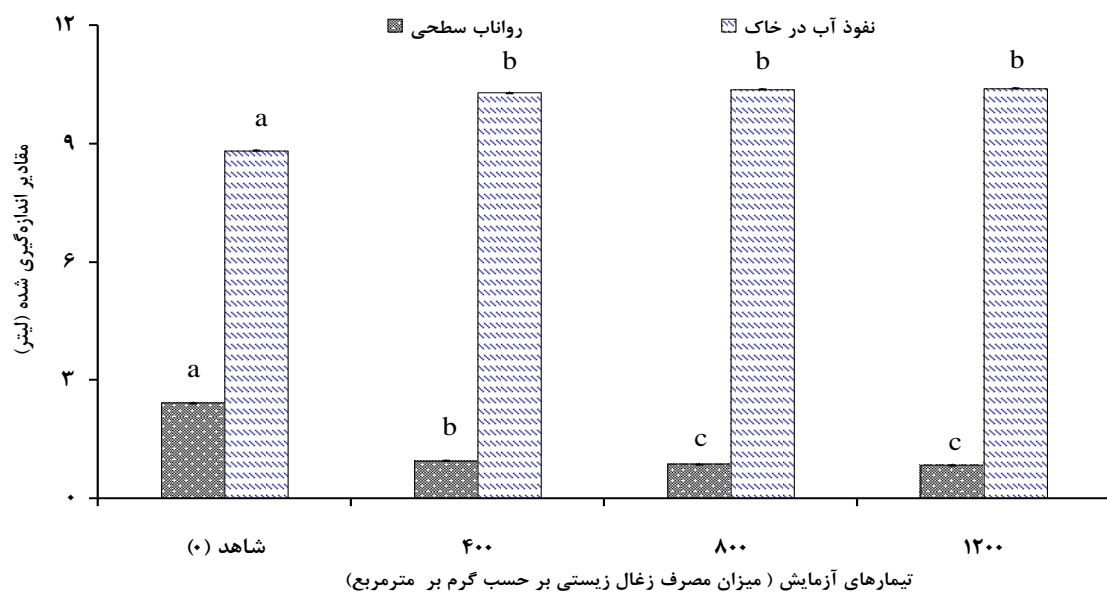
نتایج حاصل از پژوهش (شکل های ۵ و ۶) نشان داد که در هیچ کدام از مؤلفه های مورد بررسی تفاوت معنی داری بین تیمارهای ۸۰۰ و ۱۲۰۰ گرم بر مترمربع زغال زیستی وجود نداشت لذا بر همین اساس و با توجه به رویکردهای اقتصادی و کاهش هزینه های مربوطه می توان سطح ۸۰۰ گرم بر مترمربع از زغال زیستی را به عنوان مقدار بهینه مصرف در نظر گرفت که با هزینه کم تر، بیش ترین بازده از لحاظ افزایش مقدار نفوذ و کاهش تولید رواناب را به دست آورد. از طرفی زغال زیستی

ساختمان اسفنجی می‌شود. از سویی دیگر بر اثر تغییرات حاصل، ظرفیت نگهداری و هدایت هیدرولیکی خاک افزایش یافته است. اما به نظر می‌رسد زغال زیستی به علت خاصیت آب‌گریزی در حالت خشک باعث عدم تأثیر مثبت آن بر افزایش زمان شروع رواناب و طبعاً افزایش نفوذ اولیه شده باشد.

طریق کربن‌های فعال زغال زیستی و Abel *et al.* (2013) افزایش خاصیت نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی توسط زغال زیستی را تأیید کرده‌اند. از طرفی می‌توان نتیجه گرفت که زغال زیستی تهیه و استفاده شده در پژوهش حاضر به عنوان یک ماده مناسب اصلاح کننده عمل نموده و باعث تغییر خواص فیزیکی خاک مانند بهبود ساختمان و افزایش تخلخل خاک و پیدایش



شکل ۵. مقایسه‌ی مقادیر نفوذ آب باران شبیه‌سازی شده در خاک و حجم کل رواناب سطحی در شدت بارندگی ۵۰ میلی‌متر بر ساعت در کرت‌های مطالعاتی (میانگین نفوذ آب در خاک و رواناب سطحی به صورت جداگانه مقایسه شده‌اند)



شکل ۶. مقایسه‌ی مقادیر نفوذ آب باران شبیه‌سازی شده در خاک و حجم کل رواناب سطحی در شدت بارندگی ۹۰ میلی‌متر بر ساعت در کرت‌های مطالعاتی (میانگین نفوذ آب در خاک و رواناب سطحی به صورت جداگانه مقایسه شده‌اند)

نتیجه‌گیری

می‌توان از زغال زیستی تهیه شده از پسماندهای صنعتی به‌عنوان راه‌کاری ایمن، اقتصادی و محیط زیستی با هدف بهبود ساختمان خاک و افزایش تخلخل و طبعاً بالا بردن میزان نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی خاک برای برنامه‌های مدیریتی حفاظت آب و خاک استفاده کرد. در نهایت پیشنهاد می‌شود عملکرد کاربرد ترکیبی این ماده زیستی با دیگر مواد افزودنی خاک و در سایر مقیاس‌های مکانی و حتی زمانی و با اهداف مختلف و از جمله محیط زیستی ارزیابی گردد تا امکان ارائه جمع‌بندی‌های جامع تخصصی فراهم شود.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از جناب آقای دکتر حسین خیرفام به‌سبب کمک‌ها و زحمات ارزنده ایشان در راستای مراحل مختلف اجرای پژوهش حاضر تقدیر و تشکر نمایند.

REFERENCES

- Abel, S., Peters, A., Trinks, S., Schonsky, H., Facklam, M. and Wessolek, G. (2013). Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil. *Geoderma*. 202, 183-191.
- Agrafioti, E., Bouras, G., Kalderis, D. and Diamadopoulos, E. (2013). Biochar production by sewage sludge pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 101, 72-78.
- Aliakbari, Z., Younesi, H., Ghoreyshi, A. A., Bahramifar, N. and Heidari, A. (2017). Production and characterization of sewage-sludge based activated carbons under different post-activation conditions. *Waste and Biomass Valorization*, 1-13.
- Asai, H., Samson, B. K., Stephan, H. M., Songyikhangsuthor, K., Homma, K., Kiyono, Y. and Horie, T. (2009). Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: Soil physical properties. leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Research*. 111(1), 81-84.
- Briggs, C. M., Breiner, J., and Graham, R. C. (2005). Contributions of Pinus Ponderosa charcoal to soil chemical and physical properties. In The ASACSSA-SSSA International Annual Meetings. *Salt Lake City, USA*.
- Butnan, S., Deenik, J. L., Toomsan, B., Antal, M. J. and Vityakon, P. (2015). Biochar characteristics and application rates affecting corn growth and properties of soils contrasting in texture and mineralogy. *Geoderma*. 237, 105-116.
- Cheng, C. H., Lehmann, J., Thies, J. E. and Burton, S. D. (2008). Stability of black carbon in soils across a climatic gradient. *Journal of Geophysical Research: Biogeoscience*. 113(G2).
- Costa, I., Massard, G., and Agarwal, A. (2010). Waste management policies for industrial symbiosis development: case studies in European countries. *Journal of Cleaner Production*. 18(8), 815-822.
- Feller, C., Beare, M. H. (1997). Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*. 79(1), 69-116.
- Gholami Gohareh, R., Sadeghi, S. H. R., Mirnia, S. Kh. and Soleimankhani, Z. (2012). Effects of Fire mild influence, runoff and sediment Pasture in the area Kodir. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*. 5(17), 23-33. (In Farsi)
- Hejazizade, A., Gholamalizadeh Ahangar, A. and Ghorbani, M. (2016). Effect of Biochar on Lead and Cadmium Uptake from Applied Paper Factory Sewage Sludge by Sunflower (*Heliantus annus L.*). *Water and Soil Science*. 26 (2), 259-271. (In Farsi)
- Hseu, Z.Y., Jien, S. H., Chien, W. H. and Liou, R. C. (2014). Impacts of biochar on physical properties and erosion potential of a mudstone slope land soil. *The Scientific World Journal*. 2014. Article ID 602197, 10 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/602197>
- Husk, B. and Major, J. (2010). Commercial scale agricultural biochar field trial in Québec, Canada over two years: effects of biochar on soil fertility, biology and crop productivity and quality. *Dynamotive Energy Systems*. BlueLeaf Inc.39p.
- Jien S. H. and Wang, C. H. (2013). Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. *Catena*. 110, 225-233.
- Kheirfam, H. and Vafakhah, M. (2015). Evaluation of gamma test, cluster analysis, discriminant function analysis and Andrews Curves methods

- to separate homogeneous watersheds for regional analysis of suspended sediment. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*. 4(2), 65-85. (In Farsi)
- Kheirfam, H., Sadeghi, S. H. R., Homaeae, M. and Zarei Darki, B. (2017a). Quality improvement of an erosion-prone soil through microbial enrichment. *Soil and Tillage Research*. 165, 230-238.
- Kheirfam, H., Sadeghi, S. H. R., Zarei Darki, B. and Homaeae, M. (2017b). Controlling rainfall-induced soil loss from small experimental plots through inoculation of bacteria and cyanobacteria. *Catena*, 152, 40-46.
- Kheirfam, H., Zarei Darki, B., Sadeghi, S. H. R. and Homaeae, M. (2016). Identification and proliferation of soil microorganisms in Marzanabad region with capability in applying for soil and water conservation. *Journal of Agroecology*. 6(1), 213-226. (In Farsi)
- Kukul, S. S. and Sarkar, M. (2011). Laboratory simulation studies on splash erosion and crusting in relation to surface roughness and raindrop size. *Journal of the Indian Society of Soil Sciences*. 59(1), 87-93.
- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J. O., Thies, J., Luiza, F. J., Petersen, J. and Neves, E. G. (2006). Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70, 1719-1730.
- Major, J. (2009). Biochar application to a Colombian Savanna Oxisol: Fate and effect on soil fertility, crop production, nutrient leaching and soil hydrology (Doctoral dissertation, Cornell University). *Ithaca NY USA*. pp. 841.
- Namgay, T., Singh, B. and Singh, B. P. (2010). Influence of biochar application to soil on the availability of As, Cd, Cu, Pb, and Zn to maize (*Zea mays* L.). *Soil Research*. 48(7), 638-647.
- Novack, J. M., Busscher, W. J., Watts, D. W., Laird, D. A., Ahmedna, M. A. and Niandou, M. A. (2010). Short-term CO₂ mineralization after additions of biochar and switchgrass to a typic kandiudult. *Geoderma*. 154(3), 281-288.
- Paz-Ferreiro, J., Gascó, G., Gutiérrez, B. and Méndez, A. (2011). Soil biochemical activities and the geometric mean of enzyme activities after application of sewage sludge and sewage sludge biochar to soil. *Biology and Fertility of Soils*. 48, 511-517.
- Pietikäinen, J., Kiiikkilä, O. and Fritze, H. (2000). Charcoal as a habitat for microbes and its effect on the microbial community of the underlying humus. *Oikos*. 89, 231-242.
- Qing, X., Yutong, Z. and Shenggao, L. (2015). Assessment of heavy metal pollution and human health risk in urban soils of steel industrial city (Anshan), Liaoning, northeast China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 120, 377-385.
- Razali, N. M. and Wah, Y. B. (2011). Power Comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling Tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*. 2, 21-33.
- Sadeghi, S. H. R. (2007). Analysis of relationship between soil erosion and water repellency, In: Proceedings of 10th Soil Science Congress of Iran, Karadj, August. 26(28), 1012-1013.
- Sadeghi, S. H. R., Abdollahi, Z. and Khaledi Darvishan, A.V. (2013). Experimental comparison of some techniques for estimating natural rain drop size distribution in Caspian Sea southern coast, Iran. *Hydrological Sciences Journal*. 58, 1374-1382.
- Sadeghi, S. H. R., Gholami, L., Homaeae, M. and Khaledi Darvishan, A. V. (2015a). Reducing sediment concentration and soil loss using organic and inorganic amendments at plot scale. *Solid Earth*. 6, 445-455.
- Sadeghi, S. H. R., Hashemi Ariyan, Z. and Karimi, Z. (2015b). Runoff Generation and Soil loss Control using Combined Application of Vermicompost and Vinasse. *Water Reuse*. 2(1), 81-91. (In Farsi)
- Sadeghi, S. H. R., Hazbavi, Z. and Kiani Harchegani, M. (2016a). Controllability of runoff and soil loss from small plots treated by vinasse-produced biochar. *Science of The Total Environment*. 541, 483-490.
- Sadeghi, S. H. R., Kheirfam, H., Homaeae, M. and Zarei Darki, B. (2016b). Improvability of Water Infiltration in an Erosion-Prone Soils under Laboratorial Conditions through Artificial Increasing of Soil Microorganisms Population. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 47(4): 9p. Under Publication.
- Sadeghi, S. H. R., Sharifi Moghadam, E., Khaledi Darvishan, A.V. (2016c). Effects of subsequent rainfall events on runoff and soil erosion components from small plots treated by vinasse. *Catena*. 138, 1-12.
- Schjønning, P., Munkholm, L. J. and Elmholt, S. (2004). Soil quality in organic farming—effects of crop rotation, animal manure and soil compaction. *Book of abstracts Eurosoil*. 2004.
- Sheets, J. P., Yang, L., Ge, X., Wang, Z. and Li, Y. (2015). Beyond land application: Emerging technologies for the treatment and reuse of anaerobically digested agricultural and food waste. *Waste Management*. 44, 94-115.
- Soleimankhani, Z., Sadeghi, S. H. R., Mirnia, S. Kh. and Gholami Gohareh, R. (2014). Comparison of intra and inter variations of runoff and sediment in plots installed in range and reclaimed forest land uses. *Iranian Water Research Journal*. 7(13), 11-19. (In Farsi)
- Zornoza, R., Moreno-Barriga, F., Acosta, J. A., Munoz, M. A. and Faz, A. (2016). Stability, nutrient

availability and hydrophobicity of biochars derived from manure, crop residues, and municipal solid waste for their use as soil amendments. *Chemosphere*. 144, 122-130.

Yuan, H., Lu, T., Huang, H., Zhao, D., Kobayashi, N. and Chen, Y. (2015). Influence of pyrolysis temperature on physical and chemical properties

of biochar made from sewage sludge. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 112, 284-289.

Yuan, H., Tao, L., Wang, Y., Chen, Y. and Lei, T. (2016). Sewage sludge biochar: nutrient composition and its effect on the leaching of soil nutrients. *Geoderma*. 267, 17-23.