



## امکان‌سنجی کاهش هدررفت خاک با استفاده از زغال زیستی حاصل از پسماند کارخانه‌های صنایع لبنی

\* سیدحمیدرضا صادقی<sup>۱</sup>، محمدحسین قویمی پناه<sup>۲</sup> و حبیب‌اله یونسی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس،

<sup>۲</sup>استاد گروه محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: ۹۵/۹/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۴/۱۸

### چکیده

**سابقه و هدف:** امروزه کاربرد تبدیلی پسماندهای صنعتی با کم‌ترین اثرات سوء بر محیط زیست و کاربرد سودمند آن در سایر زمینه‌ها به‌عنوان راه‌کاری اساسی برای مدیریت حجم انبوهی از پسماندهای صنعتی مطرح شده است. در این راستا تبدیل و کاربرد مجدد پسماندهای کارخانه‌های لبنی به سبب حجم تولید بالا و گستره متراکم آن‌ها می‌تواند راه‌کاری در راستای دست‌یابی به توسعه پایدار محسوب شود. حال آن‌که تاکنون کاربرد مستقیم و یا شکل کاربردی آن در مقوله حفاظت خاک گزارش نشده است. بر همین اساس پژوهش حاضر با هدف تبدیل پسماندهای کارخانه صنایع لبنی به افزودنی‌های خاک به‌صورت زغال زیستی با هدف کاربرد در علوم حفاظت خاک در راستای مهار فرسایش خاک در شرایط آزمایشگاهی برنامه‌ریزی شد.

**مواد و روش‌ها:** برای اجرای پژوهش، مقداری پسماند کارخانه صنایع غذایی کاله آمل پس از انتقال به آزمایشگاه و بررسی ویژگی‌های کیفی آن، تحت دمای ۳۰۰ تا ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد به زغال زیستی تبدیل و در سه سطح ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ گرم بر مترمربع در کرت‌های کوچک فرسایشی با ابعاد طول، عرض و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متری پر شده با خاک حساس به فرسایش منطقه مرزن آباد مازندران استفاده شد. به‌همین منظور، کرت‌های فرسایشی مطالعاتی در سطوح مختلف تیمار و پس از گذشت ۳۵ روز تحت باران شبیه‌سازی شده با دو شدت ۵۰ و ۹۰ میلی‌متر بر ساعت در آزمایشگاه شبیه‌ساز باران و فرسایش دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس قرار گرفت. نهایتاً مقادیر غلظت رسوب طی بازه زمانی شبیه‌سازی و پس از شروع رواناب اندازه‌گیری و بر طبق آن میزان فرسایش خاک نیز محاسبه شد.

**یافته‌ها:** نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داد که بیش‌ترین میزان فرسایش خاک در تیمار شاهد رخ داده است، به‌صورتی که میزان غلظت رسوب در کل بازه زمانی در تیمارهای ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ گرم بر مترمربع از خاک‌پوش زغال زیستی در شدت بارندگی ۵۰ میلی‌متر بر ساعت به‌ترتیب ۴۷، ۵۲ و ۴۹ درصد و در شدت بارندگی ۹۰ میلی‌متر بر ساعت، ۳۶، ۵۱ و ۵۴ درصد با سطح اطمینان ۹۹ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. هم‌چنین میزان فرسایش خاک در سطوح مصرفی ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ گرم بر مترمربع از افزودنی زغال زیستی به‌ترتیب ۷۶، ۸۳ و ۸۱ درصد در

\* مسئول مکاتبه: [sadeghi@modares.ac.ir](mailto:sadeghi@modares.ac.ir)

شدت بارندگی ۵۰ میلی‌متر بر ساعت و ۷۵، ۸۲ و ۸۴ درصد در شدت بارندگی ۹۰ میلی‌متر بر ساعت نسبت به تیمار شاهد کاهش معنی‌دار ( $P < 0/01$ ) داشته است.

**نتیجه‌گیری:** نتایج به‌دست آمده از پژوهش بیانگر تأثیر مثبت زغال زیستی حاصل از پسماندهای صنایع غذایی روی کاهش غلظت رسوب و مهار فرسایش خاک بود و بنابراین مدیریت پسماندهای مزبور از طریق تبدیل آن‌ها به زغال زیستی و با هدف حفاظت خاک پیشنهاد می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** بیوجار، تولید رسوب، حفاظت آب و خاک، شبیه‌سازی باران، فرسایش خاک

### مقدمه

بالای سطوح دامنه‌ها در میزان هدررفت خاک (۳۲)، انجام اقدامات حفاظتی در دامنه‌ها و در اولین گام اثرگذاری عوامل فرساینده نقش به‌سزایی در کاهش هدررفت خاک و آب خواهد داشت (۱۴ و ۳۶). هم‌چنین تأثیر افزودنی‌های مرسوم در حفاظت منابع خاک و آب (۳، ۲۳، ۲۹ و ۳۳) در افزایش ذخیره سطحی، نفوذپذیری، نگهداری، بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک و هم‌چنین کاهش اثر انرژی جنبشی قطرات باران و پاشمان ناشی از آن و در نهایت مهار هدررفت خاک و کاهش غلظت رسوب مورد تأیید قرار گرفته است. با این حال وسعت زیاد سطوح دامنه‌ها از یک‌سو و اثرات سوء محیط زیستی افزودنی‌های با منشأ مصنوعی، زمان‌بر بودن اثربخشی افزودنی‌های با منشأ طبیعی و ضرورت استفاده از افزودنی‌ها برای مهار هدررفت خاک و آب از سوی دیگر، نیازمند استفاده از حجم و مقدار زیادی از افزودنی‌ها بوده و افزایش هزینه و زمان را در پی دارد. به همین دلیل اخیراً تبدیل افزودنی‌های با منشأ طبیعی به زغال‌های زیستی در دمای بالا و عدم حضور اکسیژن با هدف تسریع و ارتقای اثربخشی، راه‌کاری مناسب در کاهش اثرات محیط زیستی و حجم مصرفی از افزودنی‌ها مطرح و نقش آن در کاهش هدررفت خاک و آب تأیید شده است (۲، ۱۹ و ۲۹).

در حال حاضر افزایش فعالیت‌های صنعتی با هدف تأمین رفاه و منابع غذایی بشر تجمع

خاک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزاء منابع طبیعی و یکی از عناصر چهارگانه حیات هر ساله به‌دلیل افزایش جمعیت، محدودیت منابع، توسعه صنعتی و افزایش دخالت انسان در بوم‌سازگان‌های طبیعی مورد فرسایش قرار گرفته و باعث اثرات مخرب درون و برون منطقه‌ای مانند سیل، رسوب‌زایی، افزایش خسارات جانی و مالی، کاهش بهره‌وری کشاورزی و اقتصادی و در نهایت مشکلات اجتماعی شده است (۲۶ و ۳۱) با این حال تخریب اراضی و کاهش کمی و کیفی منابع خاک و آب به‌دلیل ایجاد مشکلات محیط زیستی برای کشاورزی پایدار و تولید غذا از چالش‌های اساسی و فراگیر جهانی به‌شمار می‌آید (۲۵) به‌نحوی که ۱۳ درصد از سطح کره زمین دچار تخریب‌های ناشی از فرسایش شده است (۲۱). در ایران نیز میزان سالانه فرسایش بیش از ۶/۵ برابر حد مجاز و استانداردهای بین‌المللی (۱۱) و حدود چهار برابر میانگین فرسایش جهانی گزارش شده است (۲۲). در همین راستا و براساس گزارش‌های سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، سالانه حدود شش صد میلیارد تومان برای پروژه‌های آبخیزداری و مهار یا کاهش فرسایش خاک در ایران هزینه می‌شود (۳۰). با این حال اغلب اقدامات حفاظتی در آبراهه‌ها و بیش‌تر با هدف کاهش اثرات سوء برون‌منطقه‌ای فرسایش خاک انجام شده است. بنابراین به‌سبب سهم

حدود ۳۵ تا ۹۰ درصد کاهش پیدا کرد (۱۲). یوان و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی تأثیر زغال زیستی حاصل از لجن فاضلاب صنعتی بر جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم و نیترات و جلوگیری از شسته شدن این مواد در خاک پرداختند. نتایج نشان داد 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 می‌شود (۳۸). هم‌چنین زغال زیستی تولید شده از پسماندهای نیشکر بر مهار هدررفت خاک و رواناب (صادقی و همکاران، ۲۰۱۶) و نیز اثر زغال زیستی تولید شده از پسماندهای صنایع لبنی بر مهار نفوذ و رواناب (قویمی‌پناه و همکاران، ۲۰۱۷) در شرایط آزمایشگاهی و در مقیاس کرت توسط بررسی شد و نتایج بیانگر کاهش معنی‌دار مؤلفه‌های اصلی مورد پژوهش در تیمارهای زغال زیستی نسبت به تیمار شاهد بود (۱۰ و ۲۹).

بررسی پیشینه پژوهشی نشان‌دهنده اقبال گسترده مدیران و پژوهشگران در مهار هدررفت خاک از طریق کاربرد انواع مختلف افزودنی‌ها و با اهداف مختلف است. با این‌حال محدودیت‌های محیط زیستی، عدم پایداری، اثربخشی کم و زمان‌بر بودن، دسترسی کم و حجم زیاد مورد نیاز، کاربرد افزودنی‌ها در شکل معمول را با چالش مواجه کرده است. بنابراین به‌سبب ضرورت مهار هدررفت خاک و آب از یک‌سو و کاهش هزینه‌های محسوس و نامحسوس پسماندهای صنعتی از سوی دیگر، تولید زغال زیستی از پسماندهای صنعتی و امکان‌سنجی کاربرد آن در حفاظت منابع خاک و آب اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. بر همین اساس پژوهش حاضر با هدف تولید زغال زیستی از پسماندهای صنعتی شرکت کاله به‌عنوان یکی از مهم‌ترین صنایع غذایی کشور و مواجهه با مشکل جدی مدیریت فاضلاب و بررسی عملکرد سه سطح

پسماندهای صنعتی در محیط به‌عنوان یکی از چالش‌های اساسی محیط زیست طبیعی و انسانی در دهه‌های اخیر مطرح شده (۶) و معمولاً در مکان دفع زباله<sup>۱</sup>، جنگل، زمین‌های قابل احیا و دریاها تخلیه می‌شوند و یا در کوره‌های حرارتی سوزانده می‌شوند که این امر باعث افزایش نگرانی‌ها در مورد انتشار گازهای گل‌خانه‌ای، دفع خاکستر تولید شده و افزایش هزینه‌های مربوط به انرژی می‌شود (۳۶). از طرفی امروزه تبدیل پسماندهای طبیعی و غیرطبیعی در شرایط دمایی بالا و بدون حضور اکسیژن به زغال‌های زیستی (۱۸، ۳۵ و ۴۰) علاوه بر معرفی راه‌کاری ایمن، محیط زیستی و اقتصادی در کاهش پسماندهای مضر، امکان تولید افزودنی‌های زیستی با بهره‌گیری در بهبود ویژگی‌های زیستی، شیمیایی و فیزیکی خاک را فراهم کرده است (۳، ۷ و ۳۹) به‌عبارتی زغال زیستی نوعی کربن فعال بوده که در شرایط حرارتی بالا تحت اکسیژن محدود یا بدون اکسیژن تولید می‌شود (۱۷).

در همین راستا لیو و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی به تأثیر سه سطح چهار، هشت و ۱۶ گرم در کیلوگرم زغال زیستی تهیه شده از درخت کاج در دمای ۶۶۰ درجه سانتی‌گراد بر مهار فرسایش خاک پرداختند که نتایج نشان داد زغال زیستی در خاک‌های لومی سیلتی باعث ایجاد خاک‌دانه‌های بزرگ شده و به‌صورت چشم‌گیری از فرسایش خاک جلوگیری کرد (۱۶). هسو و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر زغال زیستی حاصل از پوسته برنج بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و کاهش پتانسیل فرسایش پرداختند. به همین منظور پوسته برنج را در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد به زغال زیستی تبدیل کرده و در سه سطح ۲/۵، پنج و ۱۰ درصد وزنی به‌مدت ۱۶۸ روز به‌کار بردند. نتایج آن‌ها نشان داد میزان هدررفت خاک به‌طور قابل‌توجهی

1- Landfill

کندلوس با مختصات طول جغرافیایی  $26^{\circ} 51'$  و عرض جغرافیایی  $27^{\circ} 36'$  به دلیل وجود تشکیلات و خاک نسبتاً مارنی حساس به فرسایش، برداشت، آماده‌سازی و پژوهش مورد نظر روی آن انجام شد. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مهم خاک مورد مطالعه در جدول ۱ خلاصه شده است.

مصرفی آن در بهبود کاهش غلظت رسوب و فرسایش خاک در شرایط آزمایشگاهی و تحت شبیه‌سازی باران و مقیاس کرت‌های کوچک در یک خاک دست‌خورده و حساس به فرسایش برنامه‌ریزی شد.

### مواد و روش‌ها

**خاک منطقه مورد مطالعه:** خاک مورد نظر از عمق ۱۰ سانتی‌متری سطحی از حواشی جاده‌ی مرزن‌آباد-

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه (۱۰ و ۱۴).

**Table 1. Chemical and physical properties of study soil.**

جرم مخصوص ظاهری Bulk density (g cm <sup>-3</sup> )	ماده آلی Organic matter (%)	pH	نیترژن کل Total nitrogen (%)	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (dsm <sup>-1</sup> )	درصد ذرات خاک Soil particles			بافت خاک Soil texture
					رس Clay	لای Silt	ماسه Sand	
					1.10-1.12	1.63	7.42-7.68	

سپس در هر دوره تولید، مقدار دو کیلوگرم از پسماند هوا خشک شده در داخل کوره طراحی و ساخته شده توسط صادقی و همکاران (۲۷) ریخته شده و به مدت سه ساعت تحت دمای ۳۰۰ تا ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد (۱۰، ۲۹، ۴۰) و در عدم حضور اکسیژن به نسبت وزنی ۱۶ درصد به زغال زیستی تبدیل شد. نمایی از ماده خام لجن فعال حاصل از کارخانه صنایع غذایی کاله آمل و زغال زیستی تولید شده از آن در شکل ۱ ارائه شده است.

**تولید زغال زیستی از پسماند صنعتی و اعمال تیمار آزمایش:** پسماند مورد استفاده برای تهیه زغال زیستی از لجن فعال حاصل از تصفیه‌خانه فاضلاب بزرگ‌ترین واحد تولید لبنی کشور در شرکت کاله آمل با حجم ورودی ۳۰۰۰ مترمکعب فاضلاب در روز تهیه شد. به منظور آگاهی از ویژگی‌های شیمیایی آن به آزمایشگاه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس منتقل و پس از خشک شدن آزمایش‌های لازم برای ارزیابی خصوصیات شیمیایی پسماند به شرح مندرج در جدول ۲ انجام شد.

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی پسماند لبنی شرکت کاله آمل برای تهیه زغال زیستی.

**Table 2. Chemical characteristics of dairy waste of Amol Kaleh Company used for producing biochar.**

نیکل کل Total Nickel (mg kg <sup>-1</sup> )	کادمیوم کل Total Cadmium (mg kg <sup>-1</sup> )	پتاسیم قابل جذب Absorbable K (g kg <sup>-1</sup> )	فسفر قابل جذب Absorbable P (g kg <sup>-1</sup> )	کربن Carbon (%)	نیترژن کل Total nitrogen (%)	خاکستر Ash (%)	رطوبت Moisture (%)
6.45	473.44	27.69	29.25	21.85	3.89	28	28



شکل ۱- لجن خام فاضلاب صنعتی هواخشک قبل (راست) و بعد از تبدیل به زغال زیستی (چپ).

Figure 1. Air dried raw industrial sewage sludge before (right) and after converting to biochar (left).

تحت شرایط اشباع از کف قرار گرفت. سپس به مدت ۲۴ ساعت رها شد تا به حالت نزدیک به رطوبت مزرعه برسد (۱۵ و ۳۲). با توجه با این که زغال زیستی تولید شده پس از خارج نمودن از کوره مخصوص به صورت کلوخه‌ای می‌باشد و استفاده از آن از نظر کاربردی و علمی مورد تأیید نمی‌باشد، بنابراین برای بهبود عملکرد و پراکنش یکنواخت در سطح خاک، زغال زیستی را در هاون به صورت پوردی درآورده و از الک دو میلی‌متری (۵ و ۱۰) و سپس استفاده شد. این عمل به صورتی انجام شده که فقط ساختمان اولیه زغال زیستی به هم خورده و بافت زغال زیستی تغییری نکرده و حالت متخلخل خود را حفظ نموده است. زغال زیستی تهیه شده سپس با استفاده از الک دستی کوچک در سه سطح ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ گرم بر مترمربع متناسب با سطح بهینه پیشنهادی برای زغال زیستی ویناس (۲۹) با سه تکرار به صورت هم‌زمان با سه تکرار از تیمار شاهد و طبعاً بدون افزودنی زغال زیستی صنعتی روی کرت‌ها اجرا شد. نهایتاً شبیه‌سازی باران با رعایت فاصله زمانی یک ماه به سبب احتمال فعال‌سازی فعالیت‌های میکروبی

روش پژوهش: ابتدا کرت‌های آزمایش به صورت مکعب مربع در ابعاد نیم متر آماده شد. پژوهش حاضر با هدف اندازه‌گیری فرسایش‌های ناشی از باران و به صورت مقایسه‌ای در کرت‌های شاهد و تیمار شده انجام پذیرفته و بنابراین اثر مقیاس مکانی تا حد زیادی کمینه شده است. سپس برای شبیه‌سازی بهتر شرایط طبیعی کرت‌ها را تا ارتفاع ۳۵ تا ۴۰ سانتی‌متری با پوکه معدنی پرکرده و خاک‌های هوا خشک شده پس از حذف بقایای گیاهی و سنگ و سنگ‌ریزه به سبب ایجاد شرایط همگون و حذف شرایط اختلال احتمالی، از الک چهار میلی‌متری (۹) گذرانده شد. خاک تهیه شده به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر روی پوکه‌ها ریخته و ضخامت دو سانتی‌متر سطحی کرت‌های آزمایش به منظور شبیه‌سازی بهتر با خاک الک شده با الک دو میلی‌متری پر شد.

در نهایت سطح کرت‌ها برای رساندن به جرم مخصوص ظاهری نمونه دست‌نخورده (۱/۱۲) تا (۱/۱۵) با غلطک‌های مخصوص کوبیده شد. پس از این مرحله، به منظور تأمین شرایط رطوبت پیشین خاک و متناسب با شرایط طبیعی، حدود ۲۴ ساعت

کاربرد انجام شد. نمونه‌ای از کرت‌های آزمایش مورد استفاده در شرایط مختلف هم‌چنین در شکل ۲ نمایش داده شده است.

سطحی خاک و احتمال بهبود ویژگی‌های زیستی و شیمیایی خاک (۱۵)، تشابه حداکثری خاک تیمار شده با شرایط واقعی حاکم بر منطقه و نیز امکان اجرا در



شکل ۲- کرت‌های آزمایشی در حین (چپ) و بعد از شبیه‌سازی باران (راست).

Figure 2. Experimental plots in during (left) and after simulation rainfall (right).

غلظت رسوب در بازه‌های زمانی دو دقیقه‌ای و کل دوره به‌منظور تحلیل تغییرپذیری روند تولید رسوب و هدررفت خاک نیز با استفاده از روش برجاگذاری و نگهداری در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد (۹). شدت فرسایش نیز از تقسیم نمودن وزن کل رسوب اندازه‌گیری شده بر فاصله زمانی جمع‌آوری نمونه و بر واحد سطح کرت محاسبه شد.

**تجزیه و تحلیل آماری:** برای تجزیه و تحلیل داده‌ها ابتدا نمودارهای مربوط مقادیر و روابط هر یک از متغیرهای مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار Excel2013 رسم و بررسی شد. سپس نرمال بودن داده‌ها با آزمون Shapiro-Wilk با استفاده از نرم‌افزار SPSS23 مورد ارزیابی قرار گرفت و در صورت عدم نرمال بودن داده‌ها با روش لگاریتمی داده‌ها نرمال شده و در گام بعدی برای ارزیابی حداکثر اختلاف بین عملکرد تیمارها از آزمون Tukey (۲۴) استفاده شد.

برای انجام آزمایش 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 شبیه‌ساز باران و فرسایش دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس قرار داده شدند. سپس شبیه‌سازی بارش با دو شدت ۵۰ و ۹۰ میلی‌متر بر ساعت متناسب با منحنی‌های شدت-مدت- فراوانی منطقه (۲۷) انجام گرفت. به این ترتیب با توجه به چیدمان تیمارها، تکرارها و دو شدت بارندگی موردنظر تعداد کرت‌ها در این آزمایش به ۲۴ عدد محدود شد. طبیعی است با توجه به اندازه کرت‌های مطالعاتی در پژوهش فعلی، صرفاً فرسایش ناشی از اثر قطرات باران<sup>۱</sup> مد نظر قرار گرفت.

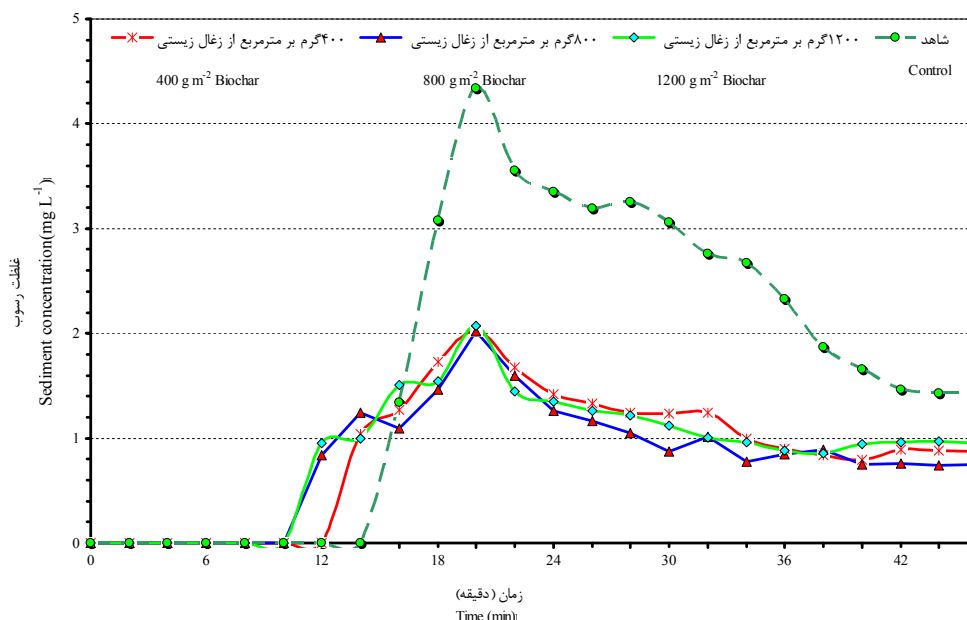
در حین انجام آزمایش شبیه‌سازی روی کرت‌ها، ضمن ثبت زمان شروع رواناب، نمونه‌ها در فاصله‌های زمانی دو دقیقه‌ای (۲۸) اندازه‌گیری شد. در نهایت

1- Raindrop Impact Induced Erosion (RIIE)

### نتایج و بحث

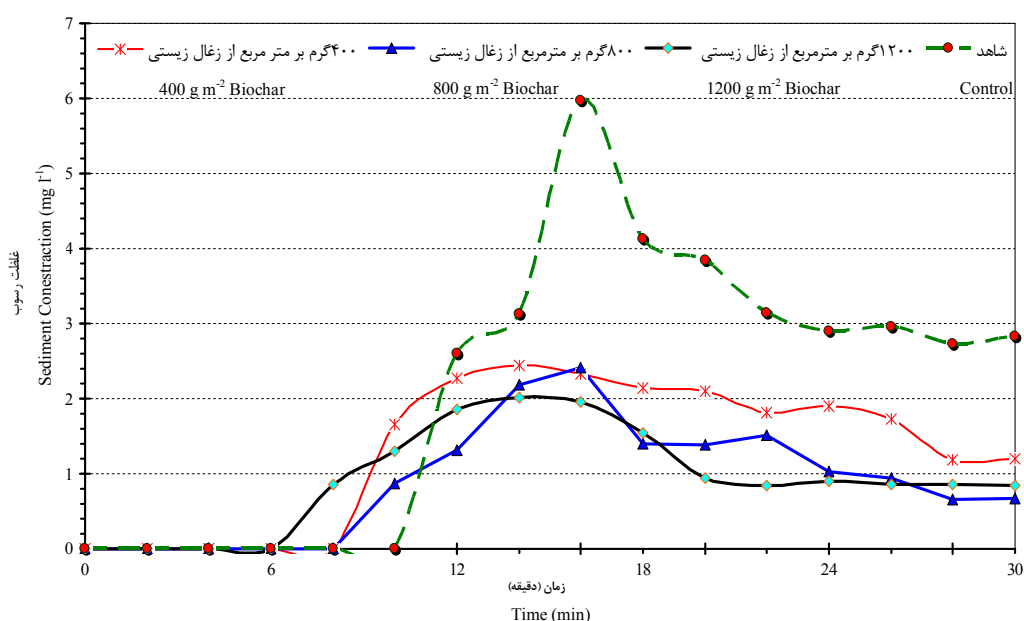
پژوهش حاضر با هدف امکان‌سنجی اثر افزودنی زغال زیستی تهیه شده از پسماند کارخانه‌های لبنی روی کاهش غلظت رسوب و فرسایش در یک خاک حساس به فرسایش انجام شد. خاک منطقه مورد مطالعه بر خلاف خاک اکثر مناطق شمال کشور فقیر و فاقد پوشش گیاهی بوده و دارای نفوذپذیری کم و حساسیت بالا به فرسایش است (۱۵). طی پژوهش حاضر، با افزودن زغال زیستی روی کرت‌ها و شبیه‌سازی باران با دو شدت ۵۰ و ۹۰ میلی‌متر بر ساعت روی آن‌ها، در طول کل زمان بارش در بازه‌های زمانی دو دقیقه‌ای میزان رواناب خروجی محتوی رسوب در ظروف مخصوص جمع‌آوری شد و در نهایت غلظت رسوب با استفاده از روش برج‌گذاری و نگهداری در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد (۲۸) و نتایج حاصل از آن به ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ و

جدول ۳ ارائه شده است. در آزمایش مورد نظر بازه زمانی شبیه‌سازی بارش در شدت بارندگی ۵۰ و ۹۰ میلی‌متر بر ساعت به ترتیب ۴۵ و ۳۰ دقیقه در نظر گرفته شد. بر همین اساس با توجه به مساحت ۰/۲۵ مترمربعی کرت‌های آزمایش و در دست داشتن جرم مواد رسوبی کل دوره شبیه‌سازی میزان شدت فرسایش برای کرت‌های آزمایشی محاسبه شد. نتایج نشان داد بیش‌ترین میزان شدت فرسایش در تیمار شاهد رخ داد به‌صورتی که در هر سه سطوح مصرفی ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ گرم بر مترمربع از خاک‌پوش زغال زیستی به ترتیب ۷۶، ۸۳ و ۸۱ درصد در شدت بارندگی ۵۰ میلی‌متر بر ساعت و ۷۵، ۸۲ و ۸۴ درصد در شدت بارندگی ۹۰ میلی‌متر بر ساعت میزان شدت فرسایش نسبت به تیمار شاهد کاهش پیدا نمود.



شکل ۳- تغییرات متوسط غلظت رسوب در کرت‌های آزمایشی در شدت ۵۰ میلی‌متر بر ساعت.

Figure 3. Mean changes in sediment concentration in experimental plots in rain intensity of 50 mm h<sup>-1</sup>.



شکل ۴- تغییرات متوسط غلظت رسوب در کرت‌های آزمایشی در شدت ۹۰ میلی‌متر بر ساعت.

Figure 4. Mean changes in sediment concentration in experimental plots in rain intensity of 90 mm h<sup>-1</sup>.

شروع نفوذ و به تبع آن شروع سریع رواناب و تولید رسوب (۳۴) در کرت‌های تیمار شده با زغال زیستی نسبت به تیمار شاهد شد.

هم‌چنین زمان رخداد اوج غلظت رسوب در تیمارهای شاهد، ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ گرم بر مترمربع زغال زیستی در شدت بارندگی ۵۰ میلی‌متر بر ساعت به ترتیب ۶، ۸، ۱۰ و ۱۰ دقیقه و در شدت ۹۰ میلی‌متر بر ساعت ۶، ۶، ۸ و ۸ دقیقه بعد از شروع زمان رسوب‌زایی بوده است. افزایش و سپس کاهش تدریجی منحنی رسوب را می‌توان به کاهش موجودیت رسوب (۳۷) و حذف احتمالی لایه آب‌گریز سطحی و به‌طور ذاتی افزایش نفوذپذیری و کاهش رواناب (۳۰) نسبت داد.

با توجه به شکل‌های ۳ و ۴ و جدول ۳ نتایج نشان داد که بیش‌ترین غلظت رسوب در زمان رخ داد اوج منحنی رسوب مربوط به تیمار شاهد بود به‌نحوی‌که میزان غلظت رسوب در سطوح مصرفی

نتایج حاصل از شکل‌های ۳ و ۴ نشان می‌دهد که بیش‌ترین زمان شروع تولید رسوب در تیمار شاهد رخ داد که زمان شروع تولید رسوب 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، ۱۲ 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. به نظر می‌رسد بیش‌تر بودن زمان شروع تولید رسوب در تیمار شاهد نسبت به تیمارهای زغال زیستی به‌علت پیدا کردن خاصیت آب‌گریزی خاک<sup>۱</sup> در صورت اختلاط با زغال زیستی باشد. به‌طوری‌که زغال زیستی به‌دلیل دارا بودن کربن زیاد باعث تشکیل زنجیره‌های هیدروکربنی در سطح خاک شده و سبب ایجاد خاصیت آب‌گریزی در سطح خاک شده (۴) و این خاصیت باعث کاهش زمان

1- Soil Hydrophobicity



میلی‌متر بر ساعت، ۳۶، ۵۱ و ۵۴ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. با توجه به نرمال نبودن برخی از گروه داده‌های مؤلفه‌های مورد بررسی پس از نرمال‌سازی با روش لگاریتمی با استفاده از آزمون Tukey به بررسی تفاوت بین تیمارهای آزمایش پرداخته شد. طبق جدول ۴ نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد هر سه سطح مصرفی زغال زیستی در تمامی مؤلفه‌های مورد بررسی با سطح معنی‌داری ( $P < 0.01$ ) نسبت به تیمار شاهد باعث بهبود مؤلفه‌ها شده است.

۴۰۰ و ۸۰۰ گرم بر مترمربع زغال زیستی ۵۹ درصد و در سطح ۱۲۰۰ گرم بر مترمربع زغال زیستی ۶۶ درصد در شدت بارندگی ۵۰ میلی‌متر بر ساعت و در شدت بارندگی ۹۰ میلی‌متر بر ساعت هر سه سطح مصرفی زغال زیستی ۵۳ درصد با سطح معنی‌داری ( $P < 0.01$ ) نسبت به تیمار شاهد کاهش پیدا نمود. همچنین میزان غلظت رسوب در کل بازه زمانی در تیمارهای ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ گرم بر مترمربع از زغال زیستی در شدت بارندگی ۵۰ میلی‌متر بر ساعت به ترتیب ۴۷، ۵۲ و ۴۹ درصد و در شدت بارندگی ۹۰

جدول ۳- تغییرات غلظت رسوب در کرت‌های تیمار شده با زغال زیستی در شدت‌های بارندگی مورد مطالعه.

**Table 3. Changes in sediment concentration in plots treated with biochar under study rainfall intensities.**

غلظت رسوب ( $\text{mg l}^{-1}$ ) در شدت‌های مطالعاتی ( $\text{mm h}^{-1}$ ) Sediment concentration ( $\text{mg l}^{-1}$ ) in two rain intensities ( $\text{mm h}^{-1}$ )		شماره کرت‌ها و معیارهای آماری Number of plot and statistical criteria	تیمارها زغال زیستی Biochar treatment ( $\text{gr m}^{-2}$ )
90	50		
3.39	2.73	1	
3.25	2.67	2	
3.30	2.49	3	
3.31	2.63	میانگین Mean	شاهد (بدون زغال زیستی) Control (Without biochar)
0.07	0.12	انحراف معیار Std. deviation	
2.19	4.69	ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)	
2.02	1.58	1	
2.14	1.41	2	
2.17	1.23	3	
2.11	1.41	میانگین Mean	400
0.08	0.18	انحراف معیار Std. deviation	
3.67	12.52	ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)	

ادامه جدول ۳-

Continue Table 3.

غلظت رسوب ( $\text{mg l}^{-1}$ ) در شدت‌های مطالعاتی ( $\text{mm h}^{-1}$ ) Sediment concentration ( $\text{mg l}^{-1}$ ) in two rain intensities ( $\text{mm h}^{-1}$ )		شماره کرت‌ها و معیارهای آماری Number of plot and statistical criteria	تیمارها زغال زیستی Biochar treatment ( $\text{gr m}^{-2}$ )
90	50		
1.62	1.31	1	
1.68	1.24	2	
1.60	1.25	3	
1.63	1.27	میانگین Mean	800
0.04	0.04	انحراف معیار Std. deviation	
2.60	3.36	ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)	
1.59	1.35	1	
1.52	1.34	2	
1.45	1.36	3	
1.52	1.35	میانگین Mean	1200
0.07	0.01	انحراف معیار Std. deviation	
4.57	0.85	ضریب تغییرات (%) Coefficient of variation (%)	

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه برای تشخیص اثرات یک‌جانبه تیمارهای سطوح مختلف زغال زیستی بر غلظت رسوب در تیمارهای مطالعاتی با شدت ۵۰ و ۹۰ میلی‌متر بر ساعت.

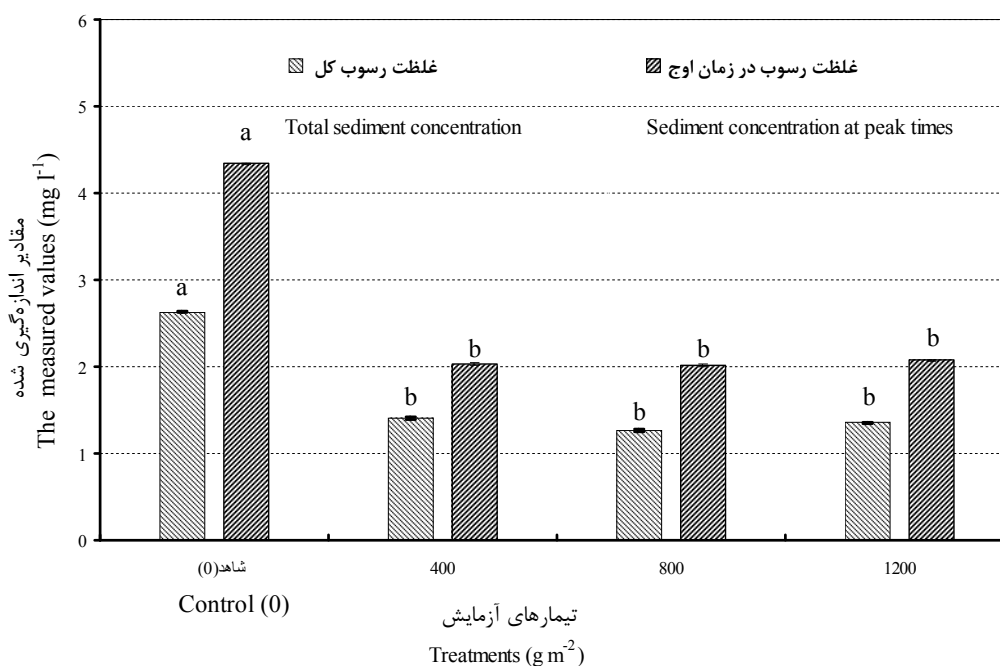
Table 4. Analysis of variance for the diagnosis of unilateral effects of treatments on different levels of biochar on sediment concentration in study treatments under rain intensity of 50 and 90  $\text{mm h}^{-1}$ .

سطح معنی‌داری P-Value	آماره F F-Value	میانگین مربعات Mean squared	درجه آزادی df	منابع تغییرات Variation sources	شدت بارندگی Rainfall intensity ( $\text{mm h}^{-1}$ )	مؤلفه مورد بررسی Study component
0.00	73.280	0.347	3	بین‌گروهی Between groups		غلظت رسوب کل ( $\text{mg l}^{-1}$ ) Total sediment concentration
		0.005	8	درون‌گروهی Within groups	50	
			11	کل Total		
0.00	499.42	2.019	3	بین‌گروهی Between groups		غلظت رسوب کل ( $\text{mg l}^{-1}$ ) Total sediment concentration
		0.004	8	درون‌گروهی Within groups	90	
			11	کل Total		

ادامه جدول ۴-

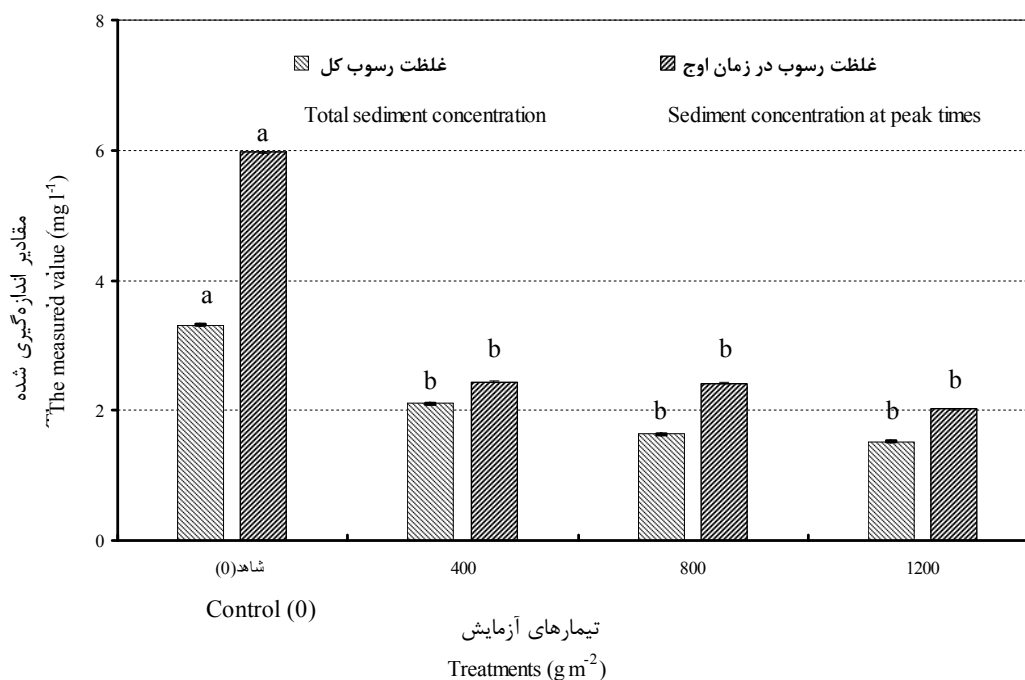
Continue Table 4.

سطح معنی داری P-Value	F آماره F-Value	میانگین مربعات Mean squared	درجه آزادی df	منابع تغییرات Variation sources	شدت بارندگی Rainfall intensity (mm h <sup>-1</sup> )	مؤلفه مورد بررسی Study component
0.00	165.04	0.580	3	بین گروهی Between groups		
		0.004	8	درون گروهی Within groups	50	
			11	کل Total		غلظت رسوب در زمان اوج Sediment concentration at peak times (mg l <sup>-1</sup> )
0.00	191.55	0.718	3	بین گروهی Between groups		
		0.004	8	درون گروهی Within groups	90	
			11	کل Total		



شکل ۵- مقایسه مقادیر غلظت رسوب در زمان اوج و غلظت رسوب کل در شدت بارندگی ۵۰ میلی متر بر ساعت در کرت های مطالعاتی (میانگین مؤلفه ها به صورت جداگانه مقایسه شده اند).

Figure 5. Comparison of sediment yield and peak concentration for rainfall intensity of 50 mm h<sup>-1</sup> from study plots (average of the components are compared separately).



شکل ۶- مقایسه مقادیر غلظت رسوب در زمان اوج و غلظت رسوب کل در شدت بارندگی ۹۰ میلی‌متر بر ساعت در کرت‌های مطالعاتی (میانگین مؤلفه‌ها به صورت جداگانه مقایسه شده‌اند).

Figure 5. Comparison of sediment yield and peak concentration for rainfall intensity of 90 mm h<sup>-1</sup> from study plots (average of the components are compared separately).

بیش‌تر پسماند نیز در این خصوص تعیین‌کننده خواهد بود. با توجه به این‌که درجه همبستگی بین پایداری خاک و عامل فرسایش‌پذیری با کاهش اندازه خاک‌دانه‌های پایدار بیشتر می‌شود می‌توان نتیجه گرفت زغال زیستی به‌دلیل سطح ویژه بالا باعث اتصال ذرات خاک به یک‌دیگر شده (۱۶) و با تشکیل خاک‌دانه‌های درشت‌تر سبب کاهش فرسایش و غلظت رسوب در تیمارهای زغال زیستی شده است. از طرفی با توجه به نقش مهم مواد آلی در پایداری خاک‌دانه (۲۰) می‌توان بیان نمود که افزایش ماده آلی به‌ویژه کربوهیدرات‌ها در خاک از طریق خاک‌پوش زغال زیستی (۸) سبب افزایش پایداری خاک‌دانه‌های شده است. همچنین زغال زیستی می‌تواند با افزایش ظرفیت کاتیونی (۱۳) که یکی از عوامل مهم در پایداری خاک‌دانه‌ها می‌باشد سبب افزایش پایداری

نتایج حاصل از پژوهش (شکل‌های ۵ و ۶) نشان داد که در هیچ‌کدام از مؤلفه‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای ۸۰۰ و ۱۲۰۰ گرم بر مترمربع زغال زیستی وجود نداشت. در همین راستا به‌نظر می‌رسد سطوح ۸۰۰ و ۱۲۰۰ زغال زیستی ممکن است زغال زیستی میزان رسوب تولیدی را کاهش دهد ولی به‌سبب بالا بودن وزن مصرفی زغال در سطح کرت‌ها از طریق رواناب حمل شده و به نوبه خود وزن نمونه رسوب را افزایش دهد. بنابراین بر همین اساس و با توجه به رویکردهای اقتصادی و کاهش هزینه‌های مربوطه می‌توان سطح ۸۰۰ گرم بر مترمربع از زغال زیستی را به‌عنوان مقدار بهینه مصرف در نظر گرفت که با هزینه کم‌تر، بیش‌ترین بازده از لحاظ کاهش مؤلفه‌های مؤثر برای کاهش فرسایش خاک را به‌دست آورد. اگرچه میزان ضرورت مدیریت

پایدارکننده مفید خاک در راستای کاهش مشکلات ناشی از فرسایش خاک مورد تأیید قرار گرفت. در مجموع می‌توان بیان نمود که تأثیر استفاده از زغال زیستی در بهبود مؤلفه‌های غلظت رسوب و شدت فرسایش به اثبات رسیده است. بنابراین بر همین اساس می‌توان بیان کرد استفاده از زغال زیستی تهیه شده از پسماند صنایع لبنی ضمن ارائه روشی مفید و اقتصادی برای کاهش هزینه‌ها و اثرات سوء محیط زیستی محسوس و نامحسوس پسماندها، می‌تواند به‌عنوان راه‌کاری ایمن، زیست‌محیطی، کارا و اقتصادی برای کاهش فرسایش و غلظت رسوب معرفی شود. در نهایت پیشنهاد می‌شود عملکرد این زغال زیستی در سایر شرایط فرسایشی و مقیاس‌های مکانی و حتی زمانی و با اهداف مختلف محیط زیستی و اقتصادی، نحوه استفاده در طبیعت، عمر مفید و سطوح بهینه قابل اجرا به‌طور دقیق ارزیابی و با پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه جمع‌بندی شده و امکان ارائه راه‌کارهای اجرایی را فراهم آورد.

خاک‌دانه و طبعاً کاهش فرسایش خاک شود. در همین راستا Abrol و همکاران (۲۰۱۶) بر تأثیر زغال زیستی در اتصال ذرات ریز خاک از طریق کربن فعال در افزایش پایداری و کاهش فرسایش تأکید کرده‌اند (۱). در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که زغال زیستی تهیه و استفاده شده در پژوهش حاضر به‌عنوان یک ماده مناسب اصلاح‌کننده عمل نموده و باعث تغییر خواص فیزیکی خاک مانند بهبود ساختمان و افزایش پایداری و کاهش فرسایش می‌شود.

### نتیجه‌گیری کلی

پژوهش حاضر با هدف امکان‌سنجی زغال زیستی تهیه شده از پسماند صنعتی در کاهش غلظت رسوب و فرسایش در یک خاک حساس به فرسایش در شرایط شبیه‌سازی آزمایشگاهی باران و در مقیاس کرت‌های کوچک برنامه‌ریزی شد. در همین راستا با توجه به معضلات ناشی از افزایش روزافزون پسماندهای صنعتی در نتیجه افزایش جمعیت، در طی پژوهش حاضر امکان تبدیل این ماده آلاینده به یک

### منابع

1. Abrol, V., Ben-Hur, M., Verheijen, F.G., Keizer, J.J., Martins, M.A., Tenaw, H., and Graber, E.R. 2016. Biochar effects on soil water infiltration and erosion under seal formation conditions: rainfall simulation experiment. *J. Soil Sed.* Pp: 1-11.
2. Amonette, J.E., and Joseph, S. 2009. Characteristics of biochar: Microchemical properties. P 33-52, In: J. Lehmann (Ed.), *Biochar for environmental management: Science and Technology*. Earthscan, London.
3. Araujo-Junior, C.F., Rodrigues, B.N., Junior, G.M.Y., and Chaves, J.C.D. 2013. Soil physical quality and carbon stocks related to weed control and cover crops in a Brazilian Oxisol. INTECH Open Access Publisher, 26p.
4. Briggs, C.M., Breiner, J., and Graham, R.C. 2005. Contributions of *Pinus Ponderosa* charcoal to soil chemical and physical properties. The ASACSSA-SSSA International Annual Meetings. Salt Lake City, USA.
5. 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.
6. Costa, I., Massard, G., and Agarwal, A. 2010. Waste management policies for industrial symbiosis development: case studies in European countries. *J. Clean. Prod.* 18: 8. 815-822.

7. Ding, Y., Liu, Y.X., Wu, W.X., Shi, D.Z., Yang, M., and Zhong, Z.K. 2010. Evaluation of biochar effects on nitrogen retention and leaching in multi-layered soil columns. *Water, Air and Soil Pollution*. 213: 47-55.
8. Feller, C., and Beare, M.H. 1997. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*. 79: 1. 69-116.
9. Ghavimi Panah, M.H., Sadeghi, S.H.R., and Younesi, H.A. 2017. Role of biochar mulch produced from dairy factory waste on infiltration and runoff in small experimental plots. *Iran. J. Water Soil Res.* (In Persian-Accepted)
10. Gholami, L., Sadeghi, S.H.R., and Homae, M. 2014. Straw mulching effect on splash erosion, runoff and sediment yield from eroded plots. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 77: 1. 268-278.
11. Ghorbani, M., and Hosseini, S. 2005. Poverty of soil nutrition: Economic views on erosion in Iran. *J. Agric. Sci. Natur. Resour.* 12: 1. 147-157. (In Persian)
12. 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. *Sci. World J.* Article ID 602197, 10p.
13. 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.
14. Kheirfam, H., Sadeghi, S.H.R., Homae, M., and Zarei Darki, B. 2017. Quality improvement of an erosion-prone soil through microbial enrichment. *Soil and Tillage Research*. 165: 230-238.
15. Kheirfam, H., Sadeghi, S.H.R., Homae, M., and Zarei Darki, B. 2014. Role of soil microorganisms in soil and water loss control. *Extension and Development of Watershed Management*. 2: 5. 19-26. (In Persian)
16. Liu, X.H., Han, F.P., and Zhang, X.C. 2012. Effect of biochar on soil aggregates in the Loess Plateau: Results from incubation experiments. *Inter. J. Agric. Biol.* 14: 6. 975-979.
17. Lone, A.H., Najar, G.R., Ganie, M.A., Sofi, J.A., and Tahir Ali, T. 2015. Biochar for sustainable soil health: a review of prospects and concerns. *Pedosphere*. 25: 5. 639-653.
18. Lu, H., Zhang, W., Yang, Y., Huang, X., Wang, S., and Qiu, R. 2012. Relative distribution of  $Pb^{2+}$  sorption mechanisms by sludge-derived biochar. *Water Research*. 46: 3. 854-862.
19. Miller, R.M. 2002. The function of mycorrhizal fungi in soil restoration. *International Workshop- Microbial Function in Revegetation Process of Degraded Terrestrial Environments: From Gene to Ecosystem*, November 29, 26p.
20. Molina, N., Caceres, C.M.R., and Pietroboni, A.M. 2001. Factors affecting aggregate stability and water dispersible clay of recently cultivated semiarid soils of Argentina Arid Land. *Res. Manage.* 15: 77-87.
21. Oldemen, L.R. 1992. Global extend of soil degradation. Bi-annual report, International Soil Reference and Information Center. Wageningen, the Netherland, Pp: 19-36.
22. Omidvar, K. 2010. Introduction to soil conservation and watershed, 2<sup>nd</sup> Ed., Yazd University Press, Yazd. (In Persian)
23. Prado, R.D.M., Caione, G., and Campos, C.N.S. 2013. Filter cake and vinasse as fertilizers contributing to conservation agriculture. *Applied and Environmental Soil Science*. 2013: 1-8.
24. Razali, N.M., and Wah, Y.B. 2011. Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling Tests. *J. Stat. Model. Anal.* 2: 21-33.
25. Rodrigo Comino, J., Iserloh, T., Lassu, T., Cerdà, A., Keestra, S.D., Prosdocimi, M., Brings, C., Marzen, M., Ramos, M.C., Senciales, J.M., and Sinoga, J.R. 2016. Quantitative comparison of initial soil erosion processes and runoff generation in Spanish and German vineyards. *Science of the Total Environment*. 565: 1165-1174.
26. Sadeghi, S.H.R. 2010. Study and measurement of water erosion. Tarbiat Modares University Press, 195p. (In Persian)
27. 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. *Hydrol. Sci. J.* 58: 1374-1382.

28. Sadeghi, S.H.R., Gholami, L., Homaei, M., and Khaledi Darvishan, A.V. 2015. Reducing sediment concentration and soil loss using organic and inorganic amendments at plot scale. *Solid Earth*. 6: 445-455.
29. Sadeghi, S.H.R., Hazbavi, Z., and Kiani Harchegani, M. 2016. Controllability of runoff and soil loss from small plots treated by vinasse-produced biochar. *Science of the Total Environment*. 541: 483-490.
30. Sadeghi, S.H.R., Moatamednia, M., and Behzadfar, M. 2011. Spatial and temporal variations in the rainfall erosivity factor in Iran. *J. Agric. Sci. Technol*. 13: 451-464.
31. Sadeghi, S.H.R., Pourghasemi, H.R., Mohammadi, M., and Agharazi, H.A. 2008. Applicability of rainfall and runoff variables in estimation of storm-wise sediment yield from experimental plots with different landuses. *Agric. Sci. Technol. J. Ferdowsi University of Mashhad*. 22: 1. 113-122. (In Persian)
32. Sadeghi, S.H.R., and Zakeri, M.A. 2015. Partitioning and analyzing temporal variability of wash and bed material loads in a forest watershed in Iran. *J. Earth Syst. Sci*. 124: 7. 1503-1515.
33. Sheoran, V., Sheoran, A.S., and Poonia, P. 2010. Soil reclamation of abandoned mine land by revegetation: a review. *Inter. J. Soil Sed. Water*. 3: 2. 1-20.
34. 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. *Iran. Water Res. J*. 7: 13. 11-19. (In Persian)
35. Tay, J.H., Chen, X.G., Jeyaseelan, S., and Graham, N. 2001. Optimising the preparation of activated carbon from digested sewage sludge and coconut husk. *Chemosphere*. 44: 1. 45-51.
36. Toy, T.J., Foster, G.R., and Renard, K.G. 2002. *Soil erosion: process, prediction, measurement and control*. John Wiley and Sons, New York, 352p.
37. Walling, D.E., Collins, A.L., Sickingabula, H.A., and Leeks, G.J.L. 2001. Integrated assessment of catchment suspended sediment budget: A Zambian Example. *Land Degradation and Development*. 12: 387-415.
38. 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.
39. Zhang, A., Cui, L., Pan, G., Li, L., Hussain, Q., Zhang, X., Zheng, J., and Crowley, D. 2010. Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake Plain, China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 139: 469-475.
40. 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.



## Feasibility of reducing soil loss using biochar produced from dairy factory waste

\*S.H.R. Sadeghi<sup>1</sup>, M.H. Ghavimi Panah<sup>2</sup> and H. Younesi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Professor, Dept. of Watershed Management Engineering, Tarbiat Modares University,

<sup>2</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Watershed Management Engineering, Tarbiat Modares University,

<sup>3</sup>Professor, Dept. of Environment Science, Tarbiat Modares University

Received: 12/14/2016; Accepted: 07/09/2017

### Abstract

**Background and Objectives:** Today, conversion of industrial wastes using methods with the least environmental detrimental effects and profitable application is supposed as a fundamental solution to manage huge quantity of waste material produced in different industries. In this regard, conversion and reuse of hugely and intensive extension of produced dairy factory waste are possible solutions in order to achieve sustainable development. However, the direct or applied application of industrial wastes for soil conservation has not been reported yet. Accordingly, the present study was planned to assess the feasibility of industrial wastes produced biochar in soil erosion control under laboratorial conditions.

**Materials and Methods:** In order to conduct the present study, some industrial wastes of the Kaleh Amol Dairy Factory were examined for chemical properties. It was then converted to biochar under temperature of 300 to 350 °C and applied for soil conservation in three levels of 400, 800 and 1200 g m<sup>-2</sup> on small experimental plots filled by erosion prone soil of Marzanabad Region in Mazandaran Province, northern Iran. The plots were subjected to rainfall simulation with intensities of 50 and 90 mm h<sup>-1</sup> after a span time of 35 days on biochar application in the Rainfall and Erosion Laboratory of Tarbiat Modares University. Ultimately, sediment concentrations were measured during simulation and just after commencement of runoff and the soil erosion was consequently calculated.

**Results:** The results of the present experiments under laboratorial conditions showed that the maximum soil erosion occurred in control plots. So that, the sediment concentrations for treated plots with 400, 800 and 1200 g m<sup>-2</sup> of biochar were 47, 52 and 49% for rain intensity of 50 mm h<sup>-1</sup> and 36, 51 and 54% for rain intensity of 90 mm h<sup>-1</sup> of those recorded for control plots at confidence level of 99%, respectively. The soil erosion rates for the same treatments were also significantly (P<1%) lower as 76, 83 and 81% and 75, 82 and 84% for rain intensities of 50 and 90 mm h<sup>-1</sup> of those recorded for control plots, respectively.

**Conclusion:** The results of this study suggested a positive effect of application of biochar produced from industrial wastes of dairy factory on reduction of sediment concentration and soil erosion. The conversion of aforesaid industrial wastes to biochar is therefore recommended for soil conservation.

**Keywords:** Biochar, Rainfall simulation, Sediment yield, Soil and water conservation, Soil erosion

---

\* Corresponding Author; Email: sadeghi@modares.ac.ir