

+۰/۸۰ و +۰/۷۵، +۰/۹۳، -۰/۹۳، +۰/۹۳ و +۰/۶۷، +۰/۹۰ و +۰/۹۴ -۰/۹۲
 +۰/۷۵ و +۰/۹۲ در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی دار بود.

کلید واژه‌ها: اصلاح‌کننده خاک، حفاظت خاک، کرت‌های فرسایش، هدررفت خاک

مقدمه

فرسایش خاک^۱ یکی از جدی‌ترین مسائل زیست‌محیطی در جهان بوده [۱۲، ۲]، زیرا منجر به تخریب خاک، کاهش بهره‌وری زمین، افزایش سیل، تخریب رودخانه‌ها، آلودگی آب و انتقال آلاینده‌ها می‌شود [۴۵، ۵۳]. بنابراین حفاظت خاک^۲ و استفاده از افزودنی‌های خاک^۳ به منظور بهبود بهره‌وری زمین و حفاظت از محیط‌زیست بسیار مهم است [۲۸]. اخیراً استفاده از ضایعات کشاورزی و شهری به منظور افزایش کیفیت خاک از طریق کاهش هدررفت خاک^۴ و افزایش مواد مغذی خاک را می‌توان به‌عنوان یک ایده نو در زمینه حفاظت خاک پیشنهاد کرد [۴۶]. تهیه زغال زیستی^۵ یک رویکرد جدید برای دستیابی به موارد فوق بوده و نوعی کربن است که در اثر سوختن زیست توده در غیاب اکسیژن تولید می‌شود [۳۶]. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که انواع زغال زیستی از جمله زغال زیستی حاصل از زباله‌های صنعتی منجر به بهبود ظرفیت نگهداری آب و ساختار خاک [۳۲]، حفظ مواد مغذی [۵۱]، هم‌چنین زغال زیستی حاصل از چوب بلوط و کود گاوی منجر به افزایش زیست توده میکروبی خاک [۲۶] شده است. پژوهشگران نشان داده‌اند که استفاده از زغال زیستی حاصل از چوب اقیایی سیاه باعث افزایش حاصل‌خیزی خاک^۶، بازدهی استفاده از مواد مغذی و بهره‌وری محصول می‌شود [۵۰، ۳]. علاوه بر این ترکیب زغال زیستی حاصل از بقایای ذرت با خاک، باعث افزایش ماده آلی خاک شده و ثبات خاک‌دانه‌های^۷ خاک را تحت تاثیر قرار می‌دهد [۳۷]. هم‌چنین زغال زیستی از طریق بهبود پایداری خاک‌دانه‌ها منجر به کاهش فرسایش می‌شود [۱۲]. از

تغییرات آب‌نمود و رسوب‌نمود کرت‌های کوچک آزمایشی متاثر از کاربرد تیمار حفاظتی زغال زیستی در رطوبت‌های مختلف خاک

نبیه کریمی^۱، لیلا غلامی^۲ و عطااله کاویان^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۰۹

چکیده

با توجه به تغییرات زمانی غلظت رسوب و حجم رواناب در طی رگبارها و از سویی دیگر عدم کنترل و بررسی رگبارها در شرایط صحرایی به‌منظور بررسی تغییرات آب‌نمودها و رسوب‌نمودها در رطوبت‌های مختلف، بررسی این پارامترها در شرایط آزمایشگاهی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هم‌چنین بررسی‌ها نشان داده که استفاده از افزودنی‌های خاک در شرایط آزمایشگاهی به‌منظور تعیین اثر آن‌ها بر تهیه آب‌نمود و رسوب‌نمود کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. لذا پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تاثیر تیمار حفاظتی زغال زیستی حاصل از لجن کارخانه جوجه کشی با مقادیر ۰/۴، ۰/۸ و ۱/۶ تن بر هکتار متناسب با سطح پوشش ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد بر آب‌نمود و رسوب‌نمود در رطوبت‌های وزنی مختلف خاک شامل هواخشک، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درصد، با شدت بارندگی ۵۰ میلی‌متر بر ساعت و مدت بارندگی ده دقیقه پس از شروع رواناب در شرایط آزمایشگاهی انجام شد. نتایج نشان داد که افزودنی زغال زیستی با مقادیر مختلف در مقایسه با تیمارهای شاهد تاثیر معنی‌داری بر تغییرات آب‌نمود و رسوب‌نمود داشت. علاوه بر آن تیمار حفاظتی زغال زیستی با مقدار ۱/۶ تن بر هکتار در رطوبت‌های مختلف خاک تاثیر معنی‌داری نسبت به دو تیمار دیگر روی آب‌نمود و رسوب‌نمود داشت. نتایج هم‌چنین نشان داد که ضریب همبستگی بین مقادیر زغال زیستی با متغیرهای زمان شروع رواناب، ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب به ترتیب -۰/۹۴، -۰/۹۳،

4. Soil Erosion
5. Soil Conservation
6. Soil Conditioners
7. Soil Loss
8. Biochar
9. Soil Fertility
10. Aggregates Stability

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری.

۲- نویسنده مسئول و استادیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری. پست الکترونیک l.gholami@sanru.ac.ir

۳- دانشیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری.

طرف دیگر یکی از عوامل مؤثر در ایجاد رواناب، تولید رسوب^۱ و فرسایش خاک شرایط رطوبتی خاک^۲ قبل از شروع بارندگی است [۲۱، ۳۸]. رطوبت خاک یکی از مهم‌ترین عوامل کنترل فرآیندهای هیدرولوژیکی و فرسایشی است [۹، ۳۴، ۴۵، ۴۸]. یافته‌های حاصل از بررسی‌های موجود نشان می‌دهند که رطوبت خاک میزان رواناب، نفوذ و در نتیجه فرسایش خاک را تحت تاثیر قرار می‌دهد [۲۹، ۴۰]. از طرفی آب‌نمودها^۳ و رسوب‌نمودها^۴ هر واقعه بارندگی در پایه زمانی مورد بررسی می‌تواند یکی از راه‌حل‌های بنیادی و اساسی برای مشکلات نمونه‌برداری طی وقوع رگبارها باشد [۴۴]. در زمینه تاثیر سایر افزودنی‌های خاک بر آب‌نمود و رسوب‌نمود نیز لوچ و دونالد [۲۹] اثر کاه و کلش بر آب‌نمود و رسوب‌نمود، مارتینز و همکاران [۳۳] اثر کود گاوی بر آب‌نمود و رسوب‌نمود و راموس و همکاران [۴۱] اثر کود دامی را بر آب‌نمود و رسوب‌نمود مثبت ارزیابی کردند. بررسی پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که مطالعه‌ای در زمینه تاثیر زغال زیستی بر تغییرات آب‌نمود و رسوب‌نمودها در رطوبت‌های مختلف خاک انجام نشده است. اما در زمینه تاثیر زغال زیستی بر فرسایش خاک، آسیا و همکاران [۵] با بررسی اثر کاربرد زغال زیستی بقایای برنج در شمال لائوس نشان دادند که زغال‌زیستی هدایت هیدرولیکی اشباع موجود در خاک را افزایش می‌دهد. لیرد و همکاران [۲۵] تأثیر افزودن زغال زیستی بر کیفیت خاک در بون امریکا را بررسی نمودند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که کاربرد زغال زیستی ظرفیت نگهداری آب، سطح ویژه و ظرفیت کاتیونی خاک را افزایش داد. گیتنجی [۱۳] کاربرد زغال زیستی با مقادیر ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد در دانشگاه جورجیا، امریکا نشان دادند که با افزایش زغال زیستی، جرم مخصوص ظاهری و چگالی ذرات کاهش یافت. هسو و همکاران [۱۸] با کاربرد زغال زیستی با مقادیر ۲/۵، ۵ و ۱۰ درصد بر خواص فیزیکی و فرسایش خاک در تایوان نشان دادند که کاربرد زغال زیستی با مقادیر مذکور به‌طور معنی‌داری منجر به بهبود خواص فیزیکی و کاهش فرسایش خاک شد. پنگ و همکاران [۳۹] تاثیر زغال زیستی حاصل از کاه و کلش برنج بر تجمع و فرسایش خاک در شیب نه تا ۱۴ درصد با بادام زمینی کاشته شده در چین را مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که زغال زیستی فرسایش خاک را به‌طور قابل توجهی کاهش داد. بایابیل و همکاران [۷] با کاربرد زغال زیستی بلوط و زغال چوب در ارتفاعات مرطوب اتیوپی بیان کردند که خصوصیات هیدرولیکی خاک بهبود یافت، در نتیجه باعث کاهش رواناب و فرسایش شد. صادقی و همکاران [۴۶] در مهار رواناب و رسوب، ۲۴ و ۴۸ ساعت قبل از شبیه‌سازی باران از ویناس و زغال زیستی تهیه شده از آن در شرایط آزمایشگاهی و مقیاس کرت را استفاده نمودند. ایشان میانگین تغییر اثربخشی در زمان شروع

1. Sediment Yield
2. Soil Moisture Conditions
3. Hydrograph
4. Sedimentgraph

رواناب با استفاده از کاربرد زغال زیستی در ۲۴ و ۴۸ ساعت قبل از شبیه‌سازی به ترتیب با میزان ۵۵/۱۰+ و ۷۱/۷۳+ درصد به‌دست آوردند. کم‌ترین فرسایش خاک ۰/۵۷ ± ۱/۱۲ گرم و غلظت رسوب ۰/۴۸ ± ۱/۴۴ گرم در لیتر در زغال زیستی به‌کار برده شده برای مدت زمان ۴۸ ساعت قبل از شبیه‌سازی بارش رخ داد. ژینگو و همکاران [۵۲] اثر زغال زیستی بر میزان رسوب و میزان تلفات مواد مغذی در چین را بررسی نمودند. ایشان نشان داد که کاربرد زغال زیستی باعث کاهش میزان رسوب و هم‌چنین تلفات نیتروژن کل و فسفر شد. در رابطه با تاثیر رطوبت خاک بر فرسایش خاک از جمله ترومان و همکاران [۴۹] با بررسی اثرات رطوبت خاک در تولید رواناب و رسوب برای دو دشت ساحلی گرجستان بیان نمود که افزایش رطوبت خاک باعث افزایش و کاهش به‌ترتیب رواناب و فرسایش خاک شد. منگیستو و همکاران [۳۵] در حوضه الیمایا بیان نمود که رطوبت باعث کاهش غلظت رسوب خاک شد. زیادت و تیمه [۵۴] با بررسی اثر رطوبت پیشین خاک هواخشک، مرطوب و اشباع بر فرسایش خاک در اردن نتیجه‌گیری نمود که رطوبت پیشین خاک بعد از شروع بارندگی نقش مهمی در ایجاد فرسایش ایفا کرد. لی و همکاران [۲۷] در شرایط آزمایشگاهی در چین نشان دادند که میزان رواناب و رسوب در تیمارهای رطوبتی ۴۰، ۵۰، و ۶۰ میلی‌متر تفاوت معنی‌داری نداشت. خالدی درویشان و همکاران [۲۳] در رطوبت پیشین خاک در شرایط آزمایشگاهی در لهستان هم‌بستگی معنی‌داری بین محتوای اولیه رطوبت خاک با زمان شروع رواناب و ضریب رواناب را گزارش کردند. ساجز و ساراح [۴۳] در دانشگاه برایلان فلسطین اشغالی نشان داد که اثر رطوبت پیشین خاک بر فرسایش خاک زیاد بود. ارشم و همکاران [۳۸] با استفاده از شبیه‌ساز باران، اثر رطوبت‌های قبلی در سه نوع خاک با بافت سنگین، سبک و متوسط بر مقدار رواناب و رسوب در استان خوزستان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصله نشان داد در خاک‌های مورد بررسی با افزایش رطوبت تا ظرفیت زراعی در بافت سبک، متوسط و سنگین به‌ترتیب کم‌ترین تا بیش‌ترین مقدار رواناب را داشتند و در حالت نزدیک به اشباع، روند افزایشی رواناب در بافت سنگین کند شده و کم‌تر از بافت متوسط گردید. نتایج تحقیق ایشان هم‌چنین نشان داد که رسوب تولیدی نیز با روند تولید رواناب هم‌خوانی داشت. خالدی‌درویشان و همکاران [۲۲] اثرات یک‌جانبه و متقابل چهار سطح شدت بارندگی و پنج سطح رطوبت پیشین خاک شامل هواخشک، رطوبت نزدیک به اشباع و رطوبت ۱۹، ۲۹ و ۳۶ درصد بر زمان شروع و ضریب رواناب در خاک مراتع ییلاقی کدیر با بافت شنی لومی و در شرایط آزمایشگاهی را ارزیابی کردند. نتایج ایشان نشان داد که ضرایب همبستگی شدت بارندگی و رطوبت پیشین خاک با زمان شروع رواناب به‌ترتیب با مقادیر ۰/۷۲۹- و ۰/۶۲۸- و با ضرایب رواناب با مقادیر ۰/۵۱۷ و ۰/۸۰۴ معنی‌دار بود. هم‌چنین ارتباط بین شدت بارندگی و رطوبت پیشین خاک بر زمان شروع رواناب از نوع هم‌زدایی و معنی‌دار

تایید شد. جمع بندی سوابق تحقیق در زمینه کاربرد افزودنی‌های خاک نشان می‌دهد که با توجه به اینکه بیش‌تر پژوهش‌ها در زمینه اثر زغال زیستی بر حاصل‌خیزی، ویژگی‌های خاک، بازده محصول یا فرسایش خاک و نیز اثر رطوبت پیشین بر رواناب یا ویژگی‌های خاک به صورت جداگانه است. از سویی دیگر نقاط عطف تغییر رفتار هیدرولوژیکی خاک در رطوبت‌های پیشین مختلف در اثر کاربرد افزودنی‌های خاک مورد بحث قرار نگرفته است. حال آن‌که آگاهی از اثرات رطوبت خاک و زغال زیستی بر تغییرات رواناب و رسوب نیازمند پرداختن به آب‌نمود و رسوب‌نمود در طول بارش است. لذا پژوهش حاضر با هدف تعیین تاثیر تیمار حفاظتی زغال زیستی حاصل از لجن کارخانه جوجه کشی (به دلیل ایجاد بوی بد، تجمع فلزات سنگین و بعضاً انتقال عوارض بیماری‌زا در منطقه [۴۵]) با مقادیر مختلف و هم‌چنین در رطوبت‌های مختلف خاک روی آب‌نمود و رسوب‌نمود انجام شد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی خاک

خاک مورد آزمایش از اراضی کشاورزی تخریب شده و رها شده اطراف دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری تهیه شده و ابتدا به آزمایشگاه منتقل و سپس هواخشک شده [۱۴، ۲۴]. در مرحله بعدی بقایای سنگ و کلوخه‌های آن حذف و در مرحله آخر از الک چهار میلی‌متری عبور داده شد [۱۵، ۲۳]. برای انجام آزمایش‌ها از کرت‌هایی با طول، عرض به ترتیب یک و ۰/۵ متر و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر استفاده شد. سپس به منظور ایجاد شرایط مشابه موجود در طبیعت و زه‌کشی بهتر [۱۰، ۱۴] پنج سانتی‌متر اول عمق کرت‌ها با پوک معدنی در اندازه‌های مختلف استفاده شد [۱۰]. پس از استقرار خاک در کرت‌ها برای دستیابی به جرم مخصوص ظاهری خاک منطقه [۳۰] از غلطک استفاده شد. آزمایش‌های انجام شده اولیه روی خاک مورد استفاده نشان داد که بافت خاک لومی-شنی، درصد شن، رس و سیلت آن به ترتیب ۵۳/۸، ۱۳/۹ و ۳۲/۳ درصد، کربن آلی، مواد آلی و آهک آن به ترتیب ۰/۹۸، ۱/۶۸ و ۳۳/۲۵ درصد، جرم مخصوص ظاهری ۱/۶۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب و pH و EC آن ۷/۳۷ و ۰/۸۷۸ دسی‌زیمنس بر متر بود. تهیه و آماده‌سازی زغال زیستی

از مشکلات محیط زیستی لجن فاضلاب به‌عنوان یک افزودنی می‌توان به ایجاد بوی بد، تجمع فلزات سنگین و بعضاً انتقال عوارض بیماری‌زا در خاک سطحی اشاره نمود که ممکن است باعث مشکلات زیادی برای گیاهان و موجودات زنده و هم‌چنین انسان شود [۴۵] بنابراین می‌توان آن را به یک افزودنی آلی (زغال زیستی) دیگر جهت حفاظت آب و خاک تبدیل نمود. زغال زیستی منجر به افزایش کیفیت خاک، افزایش توانایی خاک برای حفظ مواد مغذی و افزایش قابلیت دسترس بودن آن‌ها برای گیاهان، خنثی کردن سمیت

خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب، افزایش تولید محصول و کاهش رواناب و هدررفت خاک می‌شود [۴۵]. به‌منظور تهیه زغال زیستی از لجن فاضلاب کارخانه جوجه کشی گهرباران مازندران استفاده شد. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، نمونه‌های هوا خشک در شرایط فاقد اکسیژن درون کوره تهیه زغال‌زیستی قرار داده شد. برای این منظور نمونه‌ها به خرد شده به مقدار ۱۸۰۰-۱۳۰۰ گرم در داخل کوره ریخته شد. سپس برای ایجاد شرایط کم یا بدون اکسیژن سوختن نمونه‌ها، درب کوره با گل حاصل از خاک رس کاملاً درزگیری شد و اطراف کوره با بلوک‌های سیمانی به‌منظور کم کردن اثر باد و بالا رفتن سریع دمای کوره احاطه و برای مدت سه ساعت و ۳۰ دقیقه در داخل کوره با دمای ۳۵۰-۳۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. بعد از خاموش کردن و سرد شدن کوره زغال زیستی آماده شده از کوره خارج، سپس کوبیده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شد تا اندازه‌های ذرات زغال زیستی تهیه شده یکنواخت شود [۴۶].

انتخاب سطوح زغال زیستی و سطوح رطوبتی خاک

پس از تهیه زغال زیستی، مقادیر ۰/۴، ۰/۸ و ۱/۶ گرم زغال زیستی که به ترتیب معادل ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد [۱۳] سطح کرت‌های به‌عنوان مقدار بهینه انتخاب بود. سپس آزمایش‌ها برای مقادیر و سطوح‌های مختلف رطوبتی در سه تکرار انجام گردید. از آنجایی‌که رطوبت پیشین خاک در دقیقه‌های اولیه پس از شروع بارندگی بیش‌ترین اثر مستقیم در مقاومت خاکدانه‌ها و فرآیند تخریب و تغییر ویژگی‌های سطح خاک و نیز زمان تشکیل رواناب را دارد [۱۶]. لذا برای هر نمونه خاک چهار سطح رطوبت قبلی شامل هواخشک (حدود ۱۰ درصد)، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی با توجه به حداکثر و متوسط تعداد روزهای ممتد بدون بارندگی یا بارندگی کم‌تر از یک میلی‌متر در طول سال، فصل‌های خشک و مرطوب خاک با توجه به ایستگاه سینوپتیک ساری انتخاب شدند [۲۱]. برای دستیابی به سطوح رطوبتی مورد نظر، پس از تهیه منحنی رطوبتی هر خاک، میزان کمبود آب آن محاسبه و این میزان با استفاده از باران غیرفرساینده به آرامی و به‌نحوی که روانابی ایجاد نشود، به خاک اضافه شد [۳۸].

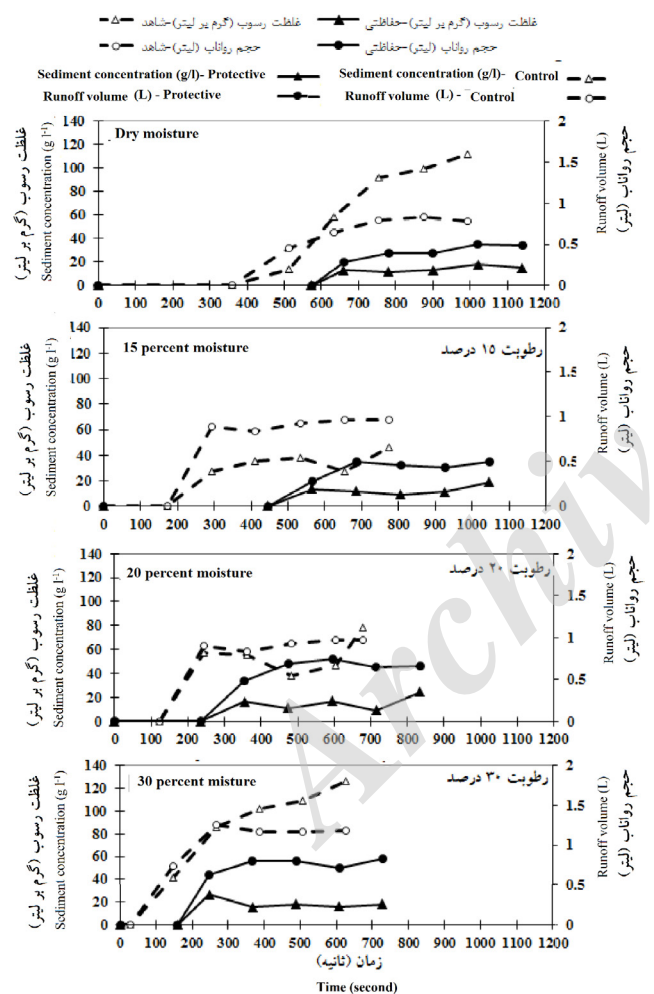
مشخصات دستگاه شبیه‌ساز باران و انتخاب شدت بارندگی

جهت شبیه‌سازی باران از دو نازل ویجت ۸۰۱۰۰ با قطر روزنه ۴/۵ میلی‌متر و قابلیت جابه‌جایی روی ریلی با طول دو متر استفاده گردید. در این دستگاه فشار فاصله نازل‌ها و زاویه آنها به ترتیب ۶۰ کیلوپاسکال، ۷۰ سانتی‌متر و ۴۵ درجه بود. برای انجام آزمایش‌ها در پژوهش حاضر با استفاده از منحنی‌های شدت مدت و فراوانی منطقه و ایستگاه سینوپتیک قراخیل، از بارانی با شدت ۵۰ میلی‌متر بر ساعت برای مدت زمان ۱۰ دقیقه [۱۴، ۲۱] پس از شروع رواناب استفاده شد و بدین منظور از دستگاه شبیه‌ساز باران در آزمایشگاه دانشکده منابع طبیعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری استفاده شد.

فواصل زمانی دو دقیقه‌ای رسم گردید. سپس با استفاده از نرم افزار SPSS23 ضریب همبستگی بین متغیرهای زمان شروع رواناب، ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب با مقادیر مختلف زغال زیستی و رطوبت خاک محاسبه شد.

نتایج

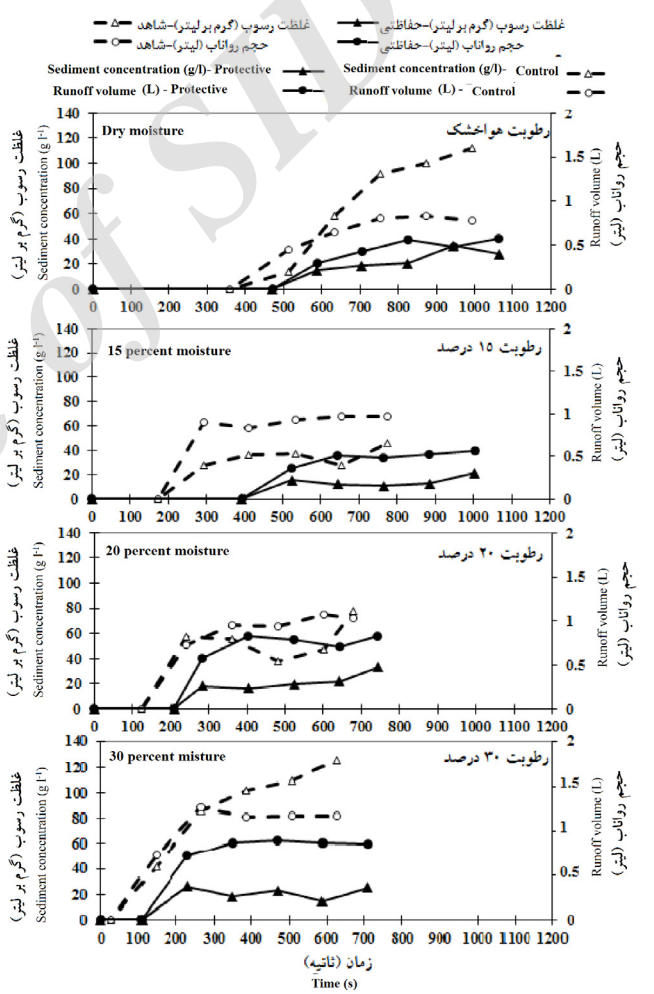
شکل‌های ۱ تا ۳ به ترتیب آب‌نمود تیمارهای حفاظتی زغال زیستی برای مقادیر ۰/۴، ۰/۸ و ۱/۶ تن بر هکتار در رطوبت‌های مختلف خاک را نشان می‌دهد. در جدول ۱ نیز ضرایب همبستگی بین رطوبت خاک و متغیرهای مختلف در تیمارهای شاهد و حفاظتی ارائه شده است



شکل ۲- آب‌نمود و رسوب‌نمود در تیمار حفاظتی زغال زیستی با مقدار ۰/۸ تن بر هکتار و تیمار شاهد برای رطوبت‌های مختلف خاک

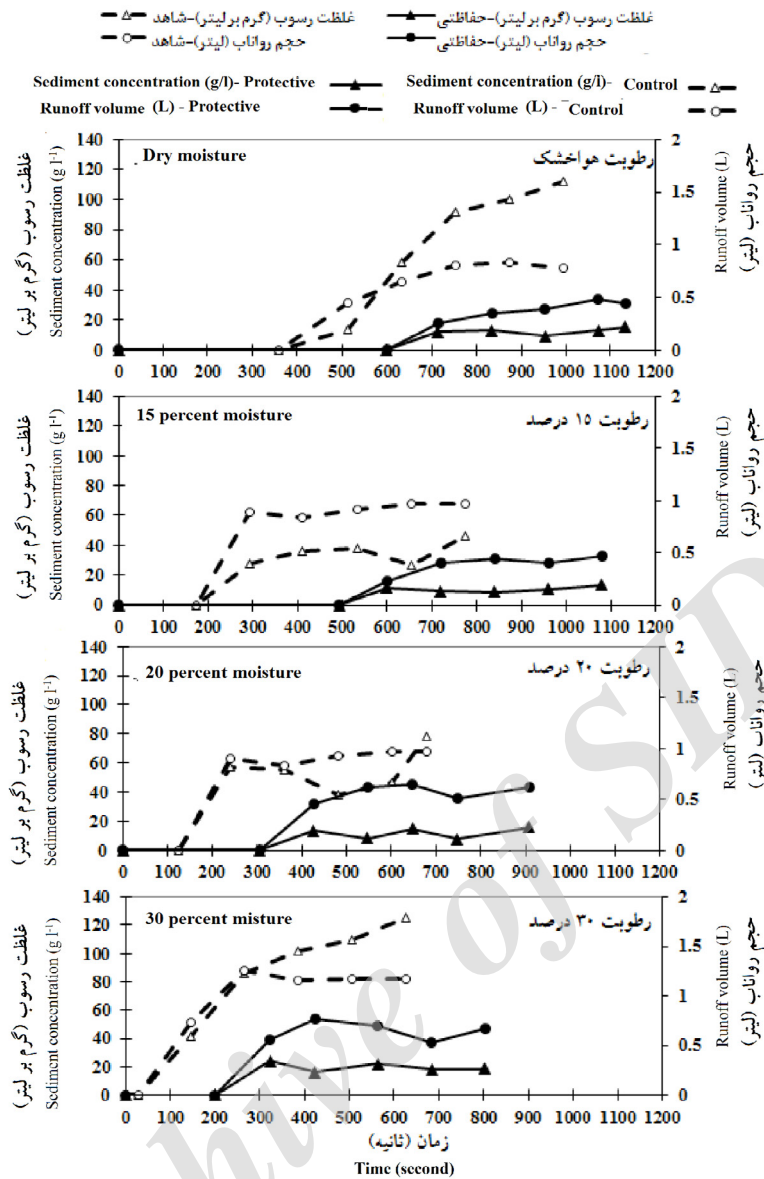
Figure 2. Hydrograph and Sedimentgraph in conservation treatment of biochar with rate of 0.8 t ha^{-1} and control treatment for different soil moisture

اندازه‌گیری مولفه‌های رواناب و هدررفت خاک مقادیر رواناب و هدررفت خاک در خاک بدون پوشش (به‌عنوان تیمار شاهد) و در خاک پوشیده شده با تیمار حفاظتی زغال زیستی در فواصل زمانی ۲ دقیقه‌ای جمع آوری شد. سپس بعد از گذشت ۲۴ ساعت با استفاده از روش برجاگذاری آب اضافی نمونه‌ها جدا شد و نمونه‌های رواناب و رسوب جمع آوری شده از انتهای کرت‌ها در آون و با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۲۴ ساعت قرار داده و سپس وزن خشک نمونه‌های رسوب تعیین شد [۴۲، ۴۶]. سپس آب‌نمود و رسوب‌نمود با استفاده از نرم‌افزار Excel برای کرت‌های تیمار شده با زغال زیستی با مقادیر ۰/۴، ۰/۸، ۱/۶ تن بر هکتار و رطوبت‌های هواخشک، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درصد در



شکل ۱- آب‌نمود و رسوب‌نمود در تیمار حفاظتی زغال زیستی با مقدار ۰/۴ تن بر هکتار و تیمار شاهد برای رطوبت‌های مختلف خاک

Figure 1. Hydrograph and Sedimentgraph in conservation treatment of biochar with rate of 0.4 t ha^{-1} and control treatment for different soil moisture



شکل ۳- آب‌نمود و رسوب‌نمود در تیمار حفاظتی زغال زیستی با مقدار ۱/۶ تن بر هکتار و تیمار شاهد برای رطوبت‌های مختلف خاک
 Figure 3. Hydrograph and Sedimentgraph in conservation treatment of biochar with rate of 1.6 t ha⁻¹ and control treatment for different soil moisture

جدول ۱- ضرایب همبستگی بین رطوبت خاک و متغیرهای مختلف در تیمارهای شاهد و حفاظتی

Table 1. Correlation coefficients between soil moisture and different variables in control and conservation treatments

متغیرها Variables	زغال زیستی با مقدار ۰/۴ تن بر هکتار Biochar with rate of 0.4 t ha ⁻¹				زغال زیستی با مقدار ۰/۸ تن بر هکتار Biochar with rate of 0.8 t ha ⁻¹				زغال زیستی با مقدار ۱/۶ تن بر هکتار Biochar with rate of 1.6 t ha ⁻¹								
	شاهد Control	غلظت رسوب Sediment concentration	ضریب رواناب Runoff coefficient	زمان شروع رواناب Time to runoff	شاهد Control	غلظت رسوب Sediment concentration	ضریب رواناب Runoff coefficient	زمان شروع رواناب Time to runoff	شاهد Control	غلظت رسوب Sediment concentration	ضریب رواناب Runoff coefficient	زمان شروع رواناب Time to runoff					
رطوبت خاک Soil moisture	-0.89**	0.91**	0.83**	0.78**	-0.94**	0.93**	0.80**	0.75**	-0.93**	0.93**	0.67**	0.90**	-0.94**	0.92**	0.75**	0.92**	0.92**
زمان شروع رواناب Time to runoff	1	0.97**	-0.87**	-0.72**	1	-0.95**	-0.78**	-0.77**	1	-0.95**	-0.67**	-0.90**	1	-0.96**	-0.78**	-0.82**	-0.82**
ضریب رواناب Runoff coefficient	-0.97**	1	0.88**	0.73**	-0.96**	1	0.79**	0.86**	-0.95**	1	0.89**	0.94**	-0.96**	1	0.82**	0.87**	0.87**
غلظت رسوب Sediment concentration	-0.87**	0.80**	1	-0.87**	-0.78**	0.89**	1	0.79**	-0.67**	0.89**	1	0.88**	-0.78**	0.82**	1	0.91**	0.91**
هدررفت خاک Soil loss	-0.72**	0.73**	0.87**	1	-0.77**	-0.90**	0.79**	1	-0.90**	0.94**	0.88**	1	-0.82**	0.87**	0.91**	1	1

** در سطح ۹۹ درصد معنی دار است.

بحث و نتیجه گیری

رسوب را در تمامی زمانها نسبت به تیمار شاهد به طور معنی دار کاهش داد و از روند تیمار شاهد پیروی نکردند. تیمار حفاظتی زغال زیستی با مقدار ۰/۴ تن بر هکتار در سطح رطوبتی ۲۰ درصد حجم رواناب را در تمامی زمانها نسبت به تیمار شاهد کاهش داد اما تاثیر آن در دقیقه ۸ بیشتر از سایر زمانها بوده و در تمامی زمانها به جز در دقیقه ۸ از روند تیمار شاهد پیروی کرد. غلظت رسوب نیز در تمامی زمانها روند کاهشی نسبت به تیمار شاهد نشان داد و تاثیر آن در دقیقه ۴ بیش تر از سایر زمانها بود. تاثیر تیمار حفاظتی زغال زیستی با مقدار ۰/۴ تن بر هکتار در رطوبت ۳۰ درصد بر حجم رواناب در تمامی زمانها کاهشی بوده و از دقیقه ۴ به بعد از روند ثابتی برخوردار بود. هم چنین غلظت رسوب از روند کاهشی

با توجه به شکل ۱ می توان بیان نمود که تیمار حفاظتی زغال زیستی با مقدار ۰/۴ تن بر هکتار، حجم رواناب و غلظت رسوب را در تمامی سطوح رطوبتی خاک نسبت به تیمار شاهد کاهش داد. به طوری که تیمار حفاظتی زغال زیستی با مقدار ۰/۴ تن بر هکتار در سطح رطوبتی هوا خشک توانست حجم رواناب را در تمامی زمانها نسبت به تیمار شاهد کاهش دهد و به جز در دقیقه ۸ در بقیه زمانها از روند تیمار شاهد پیروی کرد. غلظت رسوب نیز در تمامی زمانها نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت اما مقدار کاهش آن در دقیقه ۶ بیش تر از سایر زمانها بود. تیمار حفاظتی زغال زیستی با مقدار ۰/۴ تن بر هکتار در سطح رطوبتی ۱۵ درصد حجم رواناب و غلظت

معنی داری نسبت به تیمار شاهد در تمام زمان‌ها برخوردار بوده و تاثیر آن در دقیقه‌های ۴ و ۸ پس از شروع بارندگی بیش‌تر از سایر زمان‌ها بود. هم‌چنین نتایج جدول ۱ نشان داد که ضرایب همبستگی بین تیمار حفاظتی زغال‌زیستی با مقدار ۰/۴ تن بر هکتار با زمان شروع رواناب، رواناب و غلظت رسوب و هدررفت خاک در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی‌دار بود.

نتایج شکل ۲ نشان می‌دهد که تاثیر تیمار حفاظتی زغال‌زیستی با مقدار ۰/۸ تن بر هکتار در رطوبت هواخشک بر حجم رواناب در تمامی زمان‌ها مثبت بوده و به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد کاهش یافته است. غلظت رسوب نیز در تمامی زمان‌ها نسبت به تیمار شاهد به شدت کاهش یافته و از روند تیمار شاهد پیروی نکرد. تیمار حفاظتی زغال‌زیستی با مقدار ۰/۸ تن بر هکتار در رطوبت ۱۵ درصد حجم رواناب و غلظت رسوب را در تمامی زمان‌ها نسبت به تیمار شاهد به شدت کاهش داده و از روند تقریباً ثابتی برخوردار بود. و اثر این مقدار زغال‌زیستی در رطوبت ۲۰ درصد توانست حجم رواناب را در تمامی فواصل زمانی نسبت به تیمار شاهد کاهش داده در حالی‌که از روند تغییرات در تیمار شاهد پیروی نکرد. غلظت رسوب در تمامی فواصل زمانی نسبت به تیمار شاهد کاهش داشته و در دقیقه‌های ۴ و ۸ شدت کاهش آن بیش‌تر از سایر زمان‌ها بود. اثر این تیمار حفاظتی در رطوبت ۳۰ درصد نشان داد که حجم رواناب در تمام فواصل زمانی نسبت به تیمار شاهد با اختلاف زیادی کاهش داشته و در دقیقه ۸ تاثیر آن بیش‌تر از سایر زمان‌های نمونه‌برداری بود. غلظت رسوب نیز در تمام زمان‌ها نسبت به تیمار شاهد به شدت کاهش داشته و از دقیقه ۴ از روند تقریباً ثابتی تا پایان بارندگی برخوردار بود. نتایج جدول ۱ حاکی از آن است که ضرایب همبستگی بین تیمار حفاظتی زغال‌زیستی با مقدار ۰/۸ تن بر هکتار با زمان شروع رواناب، رواناب، غلظت رسوب و هدررفت خاک در سطح اعتماد ۹۹ معنی‌دار می‌باشد.

با توجه به شکل ۳ می‌توان دریافت که تیمار حفاظتی زغال‌زیستی با مقدار ۱/۶ تن بر هکتار توانست حجم رواناب و غلظت رسوب را در تمامی سطوح رطوبتی نسبت به تیمارهای شاهد به شدت کاهش دهد. اثر آن در سطح رطوبتی هواخشک بر تغییرات حجم رواناب و غلظت رسوب را در تمامی زمان‌ها نسبت به تیمار شاهد بسیار معنی‌داری بود. در سطح رطوبتی ۱۵ درصد حجم رواناب در تمامی زمان‌ها بعد از کاربرد مقدار زغال‌زیستی مورد نظر نیز کاهش بود و در تمامی زمان‌ها به‌جز در دقیقه ۲ از روند تیمار شاهد پیروی کرد. هم‌چنین غلظت رسوب نسبت به تیمار شاهد در تمامی زمان‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و از روند ثابتی برخوردار بود. این تیمار حفاظتی در سطح رطوبتی ۲۰ درصد حجم رواناب و غلظت رسوب را نسبت به تیمار شاهد به شدت کاهش داد اما میزان کاهش غلظت رسوب در دقیقه‌های ۲، ۶، و ۱۰ کم‌تر از دقیقه‌های ۴ و ۸ بود. تیمار حفاظتی زغال‌زیستی با مقدار ۱/۶ تن بر هکتار در سطح رطوبتی ۳۰ درصد حجم رواناب در تمامی زمان‌ها نسبت به

تیمار شاهد کاهش داد و مقدار کاهش آن در دقیقه ۸ نسبت به سایر زمان‌ها قابل توجه بود غلظت رسوب نیز در تمام زمان‌ها نسبت به تیمار شاهد با اختلاف بسیار زیادی کاهش یافت. نتایج جدول ۱ نیز نشان داد که ضرایب همبستگی بین تیمار حفاظتی زغال‌زیستی با مقدار ۱/۶ تن بر هکتار با زمان شروع رواناب، رواناب، غلظت رسوب و هدررفت خاک در سطح اعتماد ۹۹ معنی‌دار می‌باشد.

بنابراین با توجه به آن‌چه که از آب‌نمودها و رسوب‌نمودها به‌دست آمده می‌توان این‌گونه بیان کرد که کربن‌های فعال زغال‌زیستی باعث اتصال ذرات ریز خاک، افزایش تخلخل خاک و افزایش نفوذ شده [۴۷] در نتیجه باعث کاهش حجم رواناب در تمامی زمان‌های نمونه‌برداری شد. از سویی دیگر می‌توان گفت زغال‌زیستی به‌علت مقدار بالای کربن باعث اتصال ذرات خاک و مانع از جدا شدن خاکدانه‌های خاک شده [۴۷] و در نتیجه غلظت رسوب در تمامی زمان‌های نمونه‌برداری را کاهش داد. زغال‌زیستی باعث افزایش ظرفیت کاتیونی [۲۰] خاک شده که منجر به افزایش پایداری خاکدانه‌های خاک شده و در نهایت باعث کاهش غلظت رسوب می‌گردد. در نتیجه عوامل مذکور، زغال‌زیستی می‌تواند تاثیر به‌سزایی در کاهش حجم رواناب و غلظت رسوب تیمارهای حفاظتی نسبت به تیمارهای شاهد در تمامی سطوح رطوبتی داشته باشد.

نتایج حاضر از پژوهش حاضر با نتایج صادقی و همکاران [۴۶] مبنی بر تاثیر معنی‌دار زغال‌زیستی بر کاهش رواناب و هدررفت خاک در کرت‌های کوچک تیمار زغال‌زیستی، بایابیل و همکاران [۷] مبنی بر تاثیر زغال‌زیستی بلوط و زغال‌چوب در بهبود ویژگی‌های هیدرولیکی خاک، ژینگو و همکاران [۵۲] درباره‌ی تاثیر زغال‌زیستی بر کاهش رواناب، هرات و همکاران [۱۷] مبنی بر تاثیر زغال‌زیستی بر بهبود زه‌کشی خاک هم‌خوانی داشت. هم‌چنین نتایج حاصل با نتایج آبرول و همکاران [۱] در مورد تاثیر زغال‌زیستی بر اتصال ذرات ریز خاک از طریق کربن فعال در افزایش پایداری خاکدانه‌ها مطابقت داشت. از سویی دیگر نیز با نتایج لوچ و دونالد [۲۹]، پوزن و لاو [۴۰] مبنی بر تاثیر معنی‌دار کاه و کلش بر تغییرات آب‌نمود و رسوب‌نمود مطابقت داشت. هم‌چنین با نتایج آی-پینگ و همکاران [۴] که بیان نمودند آب‌نمود رگبارها با استفاده از کاربرد پلی‌آکریل‌امید روند کاهش داشته و نقش این افزودنی غیرآلی را بر تغییرات آن مثبت ارزیابی نمودند مطابقت داشت.

از طرف دیگر در شکل‌های ۱ تا ۳ در تمامی تیمارهای شاهد در سطوح رطوبتی هواخشک، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درصد هرچه سطح رطوبتی خاک افزایش یافته زمان شروع رواناب نیز کاهش یافته است [۲۲]، ۶، ۱۶، ۱۱، ۲۳]. اما بعد از کاربرد زغال‌زیستی با مقادیر ۰/۴، ۰/۸ و ۱/۶ تن بر هکتار مشاهده شد که در تمامی سطح‌های رطوبتی استفاده شده زمان شروع رواناب نسبت به تیمارهای شاهد افزایش یافت. چراکه زغال‌زیستی به دلیل فرآیند خاک‌دانه‌سازی باعث افزایش نفوذ رواناب سطحی به داخل خاک شده [۵]، [۱۹]، [۳۱] در نتیجه زمان شروع رواناب و به‌تبع آن زمان شروع تولید رسوب

on yield, nutrient recovery, and soil properties in a canola (*Brassica napus* L)-wheat (*Triticum aestivum* L) rotation grown under controlled environmental conditions. *Bioenergy Research*. 8: 1183–1196.

4. Ai-Ping, W. Fa-Hu, L. and Sheng-Min, Y. 2011. Effect of polyacrylamide application on runoff, erosion and soil nutrient loss under simulated rainfall. *Pedosphere*. 21(5): 628–638.

5. Asai, H. Samson, BK. Stephan, HM. Songyikhan, K. Hommaa, K. Kiyono, Y. Inoue, Y. Shiraiwa, T. and Horie, T. 2009. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos. *Field Crops Research*. 111: 81–84.

6. Auerswald, K., Mutchler, CK. and McGregor, KC. 1994. The influence of tillage-induced differences in surface moisture content on soil erosion. *Soil and Tillage Research*. 32: 41-50.

7. Bayabil, HK. Stoof, CR. Lehmann, JC. Yitafaru, B. and Steenhuis, TS. 2015. Assessing the potential of biochar and charcoal to improve soil hydraulic properties in the humid Ethiopian Highlands: The Anjeni watershed. *Geoderma*. 244: 115-123.

8. Briggs, CM. Breiner, J. Graham, RC. 2005. Contributions of *Pinus Ponderosa* charcoal to soil chemical and physical properties. In *The ASACSSA-SSSA International Annual Meetings*. Salt Lake City, USA.

9. Castillo, VM. Gomez-Plaza, A. and Martinez-Mena, M. 2003. The role of antecedent soil water content in the runoff response of semiarid catchments: a simulation approach. *Journal of Hydrology*. 284: 114–130.

10. Defersha MB. Quraishi S. and Melesse AM. 2011. The effect of slope steepness and antecedent moisture content on interrill erosion, runoff and sediment size distribution in the highlands of Ethiopia. *Hydrology and Earth System Science*. 15: 2367–2375.

11. Defersha, MB. and Mellese AM. 2012. Effect of Rainfall Intensity, Slope and Antecedent Moisture Content on Sediment Concentration and Sediment Enrichment Ratio. *Catena*. 90: 47-52.

12. Doan, TT. Henry-des-Tureaux, T. Rumpel, C. Janeau, JL. and Jouquet, P. 2015. Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in Northern Vietnam: A three year mesocosm experiment. *Science of the Total Environment*. 514: 147–154.

را به تاخیر می‌اندازد. این نتایج با نتیجه بریگز و همکاران [۸] مبنی بر اینکه زغال زیستی باعث ایجاد زنجیرهای هیدروکربنی در سطح خاک شده و خاصیت آب‌گریزی زنجیرها باعث کاهش نفوذ و در نتیجه آن کاهش زمان شروع رواناب خواهد شد مغایرت دارد.

هر سه سطح زغال‌زیستی استفاده شده با مقادیر ۰/۴، ۰/۸ و ۱/۶ تن بر هکتار تاثیر معنی‌دار و مثبتی بر تغییرات آب‌نمود و رسوب‌نمود در رطوبت‌های هواخشک، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درصد نسبت به تیمار شاهد داشتند. اما تاثیر تیمار حفاظتی زغال زیستی با مقدار ۱/۶ تن بر هکتار در رطوبت‌های مختلف خاک در تغییرات آب‌نمود و رسوب‌نمود نسبت به دو تیمار دیگر موثرتر بود. زیرا زغال زیستی به علت دارا بودن سطح ویژه بسیار بالا، باعث اتصال ذرات خاک به یکدیگر، افزایش خلل فرج خاک و افزایش نفوذ به داخل خاک می‌شود [۱۳] بنابراین می‌توان گفت که هرچه مقدار زغال‌زیستی به‌کاربرده شده افزایش یابد در نتیجه تاثیر آن بر کاهش رواناب و غلظت رسوب و در نهایت تغییرات آب‌نمود و رسوب‌نمود بیش‌تر خواهد بود. هم‌چنین نتایج ارائه شده در جدول ۱ نشان داد که ضرایب همبستگی رطوبت خاک با زمان شروع و ضریب رواناب در قبل و بعد استفاده از تیمارهای حفاظتی در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی‌دار و به‌ترتیب معکوس و مستقیم بود. هم‌چنین نتایج این جدول نشان داد که ضرایب همبستگی رطوبت خاک با غلظت رسوب و مقدار هدردرفت خاک در قبل و بعد از استفاده از زغال زیستی با مقادیر مختلف استفاده شده در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی‌دار و مستقیم بود.

با توجه به اینکه تاثیر مثبت زغال زیستی بر مولفه‌های حجم رواناب و غلظت رسوب در رطوبت‌های مختلف خاک در پژوهش حاضر به اثبات رسید بنابراین استفاده از زغال زیستی تهیه شده از لجن کارخانه جوجه‌کشی راه‌کاری مفید، مطمئن و مقرون به‌صرفه برای کاهش رواناب و رسوب است. هم‌چنین می‌تواند موجب کاهش آلودگی‌های از جمله بوی بد حاصل از باقی‌مانده‌های آن در طبیعت و نیز شیرآب‌های تولید شده از آن که باعث آلودگی آب‌های سطحی خواهد شد [۵۱] گردد.

منابع

1. Abrol, V. Ben-Hur M. Verheijen, FG. Keizer, JJ. Martins, MA. Tenaw, H. and Graber, ER. 2016. Biochar effects on soil water infiltration and erosion under seal formation conditions: Rainfall simulation experiment. *Journal of Soils and Sediments*. 1-11.

2. Adimassu, Z. Mekonnen, K. Yirga, C. and Kessler, A. 2014. Effect of soil bunds on runoff, soil and nutrient losses, and crop yield in the central highlands of Ethiopia. *Land Degradation and Development*. 25: 554–564.

3. Ahmed, HP. and Schoenau, JJ. 2015. Effects of biochar

- initial soil moisture on hydrological responses in laboratory conditions. *International Agrophysics*. 29: 165-173.
24. Kheirfam, H. Sadeghi, SHR. Homaei, M. and Zarei Darki, B. 2017. Quality improvement of an erosion-prone soil through microbial enrichment. *Soil and Tillage Research*. 165: 230-238.
25. Laird, DA. Fleming, P. Davis, DD. Horton, R. Wang, B. and Karlen, DL. 2010. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwestern agricultural soil. *Geoderma*. 158: 443-449.
26. Lehmann, J. Rillig, MC. Thies, J. Masiello, CA. Hockaday, WC. and Crowley, D. 2011. Biochar effects on soil biota a review. *Soil Biology and Biochemistry*. 43: 1812-1836.
27. Li, J. Zhang, F. Wang, Sh. and Yang, M. 2015. Combined influences of wheat-seedling cover and antecedent soil moisture on sheet erosion in small-flumes. *Soil and Tillage Research*. 151: 1-8.
28. Li, ZW. Liu, C. Dong, YT. Chang, XF. Nie, XD. Liu, L., Xiao, HB., Lu, YM. and Zeng, GM. 2017. Response of soil organic carbon and nitrogen stocks to soil erosion and land use types in the Loess hilly-gully region of China. *Soil and Tillage Research*. 166: 1-9.
29. Loch RJ. and Donnollan, TE. 1988. Effects of the amount of stubble mulch and overland flow on erosion of a cracking clay soil under simulated rain. *Australian Journal of Soil Research*. 26(4): 661-672.
30. Luk SH. 1985. Effect of antecedent soil moisture content on rainwash erosion. *Catena*. 12: 129-139.
31. Major, J. 2010. Guidelines on practical aspects of biochar application to field soil in various soil management systems. *IBI*. 23p.
32. Mangrich, AS. Cardoso, EMC. Doumer, ME. Romao, LPC. Vidal, M. Rigol, A. and Novotny, EH. 2015. Improving the water holding capacity of soils of northeast Brazil by biochar augmentation. *ACS Symp. Ser.* 1206: 339-354.
33. Martinez, IA. Ramos, MC. and Martinez-Casnovas, JA. 2004. Effects of composted cattle manure on erosion rates and nutrient losses, http://www.bodenkunde2.unifreiburg.de/eurosoil/abstracts/id321_Ramos_full.pdf. 8pp.
34. Meyles, E. Williams, A. Ternan, L. and Dowd, J. 2003. Runoff generation in relation to soil moisture patterns in a small Dartmoor catchment, Southwest England. *Hydrology Process*. 17: 251-264.
13. Githinji, L. 2013. Effect of biochar application rate on soil physical and hydraulic properties of a sandy loam. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 1-14.
14. Gholami, L. Sadeghi, SHR. and Homaei, M. 2013. Straw mulching effect on splash erosion, runoff and sediment yield from eroded plots. *Soil Science Society of America Journal*. 77: 268-278.
15. Gholami, L. Banasik, K. Sadeghi, SHR. and Khaledi Darvishan, A. and Hejduk, L. 2014. Effectiveness of straw mulch on infiltration, splash erosion, runoff and sediment in laboratory conditions. *Journal of Water and Land Development*. 22 (7): 51-60.
16. Hawke, RM. Price, AG. and Bryan RB. 2006. The effect of initial soil water content and rainfall intensity on near-surface soil hydrologic conductivity: a laboratory investigation. *Catena*. 65: 237-246.
17. Herath, HMSK. Arbestain, MC. and Hedley, M. 2013. Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: An Alfisol and an Andisol. *Geoderma*. 209: 188-197.
18. Hseu, Z. Hao Jien, Sh. Chien, WH. and Liou, RC. 2014. Impacts of biochar on physical properties and erosion potential of a mudstone slope land soil. *The Scientific World Journal*. ID 602197, 10 p.
19. 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.
20. Jien, SH. and Wang, CS. 2013. Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. *Catena*. 110: 225-233.
21. Khaledi Darvishan, A. Sadeghi, SHR. Homaei, M. and Arabkhedri, M. 2014. Measuring sheet erosion using synthetic color-contrast aggregates. *Hydrological Processes*. 28(15): 4463-4471.
22. Khaledi Darvishan, A. Sadeghi, SHR. Homaei, M. and Arabkhedri, M. 2015a. Affectability of runoff threshold and coefficient from rainfall intensity and antecedent soil moisture content in laboratory erosion plots. *Iran-Watershed Management Science and Engineering*. 8(15): 41-49. (In Persian).
23. Khaledi Darvishan, A. Banasik, K. Sadeghi, SHR. Gholami, L. and Hejduk, L. 2015b. Effects of rain intensity and

- Darvishan, A. 2017. Soil and water conservation using amendments. Tarbiat Modares University Press. 467p.
- 46.Sadeghi, SHR. 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
- 47.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*. (http://www.bodenkunde2.uni-freiburg.de/eurosoil/abstracts/id236_Schjonning).
- 48.Seeger, M. Errea, MP. and Begueria, S. 2004. Catchment soil moisture and rainfall characteristics as determinant factors for discharge/suspended sediment hysteretic loops in a small headwater catchment in the Spanish Pyrenees. *Journal of Hydrology*. 288: 299–311.
- 49.Truman, CC. Potter, TL. Nuti, RC. Franklin, DH. and Bosch, DD. 2011. Antecedent water content effects on runoff and sediment yields from two Coastal Plain Ultisols. *Agricultural Water Management*. 198: 1196–1189.
- 50.Usman, ARA. Al-Wabel, MI. Ok, YS. Al-Harbi, A. Wahb-Allah, M. El-Naggar, AH. Ahmad, M. Al-Faraj, A. and Al-Omran, A. 2016. Conocarpus biochar induces changes in soil nutrient availability and tomato growth under saline irrigation. *Pedosphere*. 26: 27–38.
51. Uzoma, KC. Inoue, M. Andry, H. Zahoor, A. and Nishihara, E. 2011. Influence of biochar application on sandy soil hydraulic properties and nutrient retention. *Food, Agriculture and Environment*. 9: 1137–1143.
- 52.Zhi-guo, L. Chi-Ming, G. Run-huab, Z. Mohameda, I. Guo-shia, Z. Li, W. Run-qina, Z. Fanga, C. and Yia, L. 2017. The benefic effect induced by biochar on soil erosion and nutrient loss of slopping land under natural rainfall conditions in central China. *Agricultural Water Management*. 185: 145–150.
- 53.Zhuang, YH. Du, C. Zhang, L. Du, Y. and Li, SS. 2015. Research trends and hotspots in soil erosion from 1932 to 2013: a literature review. *Scientometrics*. 105: 743–758.
- 54.Ziadat, FM. and Taimeh, AY. 2013. Effect of rainfall intensity, slope, land use and antecedent soil moisture on soil erosion in an arid environment. *land degradation and development Land Degradation and Development*. 24: 582–590.
35. Mengistu, B. Defersha, M. Melesse, M. 2012. Effect of rainfall intensity, slope and antecedent moisture content on sediment concentration and sediment enrichment ratio. *Catena*. 90: 47–52.
- 36.Mohan, D. Sarswat, A. Ok, YS. and Pittman, CU. 2014. Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent—a critical review. *Bioresource Technology*. 160: 191–202.
- 37.Obia, A. Mulder, J. Martinsen, V. Cornelissen, G. and Borresen, T. 2016. In situ effects of biochar on aggregation, water retention and porosity in light-textured tropical soils. *Soil and Tillage Research*. 155: 35–44.
- 38.Orsham, A. Akhund Ali, AM. and Behnia, A. 2010. Effect of soil antecedent moisture contents on runoff and sedimentation values with simulated rainfall method. *Iranian Journal of Range and Desert Research*. 16 (4): 445-455. (In Persian)
- 39.Peng, X. Zhu, QH. Xie, ZB. Darboux, F. and Holden, N.M. The impact of manure, straw and biochar amendments on aggregation and erosion in a hillslope Ultisol. *Catena*. 138: 30-39.
- 40.Poesen, JWA. and Lavee, H. 1991. Effects of size and incorporation of synthetic mulch on runoff and sediment yield from interrills in a laboratory study with simulated rainfall. *Soil and Tillage Research*. 21: 209-223.
- 41.Ramos, MC. Quinton, JN. and Tyrrel, SF. 2006. Effects of cattle manure on erosion rates and runoff water pollution by faecal coliforms. *Journal of Environmental Management*. 78: 97–101.
- 42.Ruiz-Sinoga, JD. Romero-Diaz, A. Ferre-Bueno E. and Martinez-Murillo, JF. 2010. The role of soil surface conditions in regulating runoff and erosion processes on a metamorphic hillslope (Southern Spain) soil surface conditions, runoff and erosion in Southern Spain. *Catena*. 80: 131-139.
- 43.Sachs, E. and Sarah, P. 2017. Combined effect of rain temperature and antecedent soil moisture on runoff and erosion on Loess. *Catena*. 158: 213–218.
- 44.Sadeghi, SHR. Hazbavi, Z. and Younesi, H. 2015. Sustainable watershed management through applying appropriate level of soil amendments. *Sustainable Watershed Management-Gonenc, Wolflin & Russo*. 2015. Taylor and Francis Group, London. 978: 1-13.
- 45.Sadeghi, SHR. Hazbavi, Z. Gholami, L. and Khaledi