دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

# تغییرات مولفه‌های رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب با استفاده از سطوح مختلف بایوچار در شرایط آزمایشگاهی

**نبیه کریمی[۱]، لیلا غلامی[۲] و عطاالله کاویان[۳]**

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲- استادیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران،
(نویسنده مسوول: l.gholami@sanru.ac.ir)
۳- استاد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
تاریخ ارسال: ۹۶/۹/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۷/۳/۲
صفحه: ۳۸ تا ۴۸

**چکیده**

**امروزه روش‌های کنترل رواناب و فرسایش خاک به‌عنوان یکی از بحث‌های مهم در سراسر جهان مطرح است. از این‌رو استفاده از افزودنی‌های خاک به‌منظور حفاظت آب و خاک امری ضروری است. از سویی دیگر افزایش روز افزون لجن تولیدی کارخانه‌ها و تبدیل آن‌ها به سایر مواد سودمند ازجمله افزودنی خاک امری مهم می‌باشد. لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر بایوچار حاصل از لجن کارخانه جوجه‌کشی با مقادیر به‌ترتیب ۰/٤، ۰/۸ و ۱/٦ تن بر هکتار بر مولفه‌های زمان شروع رواناب، حجم رواناب، ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب انجام شد. مراحل انجام پژوهش حاضر در شرایط آزمایشگاهی در شدت ۵۰ میلی‌متر بر ساعت و شیب ۲۰ درصد با سه تکرار در مقیاس کرت انجام شد. نتایج نشان داد که بعد از کاربرد افزودنی بایوچار با مقادیر ۰/٤، ۰/۸ و ۱/٦ تن بر هکتار زمان شروع رواناب نسبت به شاهد به‌ترتیب ۷۱/۱۹، ۹۱/۵۸ و ۱۵۰/۵٤ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش، حجم رواناب به‌ترتیب با مقادیر ۲۱/۰۰، ۳۱/٤۰ و ۳٦/٤۷ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش و هم‌چنین ضریب رواناب به‌ترتیب با مقادیر ٦۷/۵۷، ۵٦/۹٤ و ٤٦/۳۵ درصد نسبت به تیمار شاهدکاهش یافتند. بایوچار منجر به کاهش هدررفت خاک به ترتیب به مقدار ۷۱/۰٤، ۷۷/٦۰ و ۸۵/٦۳ درصد و غلظت رسوب با مقادیر به‌ترتیب ٦۳/۱٦، ٦۷/۲۱ و ۷٦/۱۷ درصد نسبت به تیمار شاهد شد. نتایج آزمون آماری نشان داد که تاثیر مقادیر مختلف بایوچار بر مولفه‌های زمان شروع رواناب، حجم رواناب، ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی‌دار بود.**

**واژه‌های کلیدی: اصلاح‌کننده خاک، بایوچار، تغییرات رواناب، شبیه‌ساز باران، هدررفت خاک**

## مقدمه

فرسایش خاک یکی از معضلات جهانی بوده که منجر به آلودگی‌های محیطزیستی در رودخانه‌ها و از بین رفتن حاصل‌خیزی خاک می‌شود (۱۳)، ذرات جدا شده از سطح خاک، تخلخل خاک را کاهش داده که منجر به کاهش نفوذ و افزایش رواناب و رسوب تولیدی می‌شود (۱۴). افزودنی‌های خاک می‌توانند میزان رواناب و هدررفت خاک را با استفاده از حفظ خاک سطحی کنترل کنند (۳۷،۱۸). در زمینهٔ حفاظت خاک در شرایط بحرانی با استفاده از افزودنی‌های خاک، روش‌های متنوعی معرفی شده که از آن جمله می‌توان به انواع خاک‌پوش‌ها، منسوجات زمینی[1]، کود دامی، بقایای گیاهی ورمی‌کمپوست‌ها و بایوچار اشاره نمود (۳۹،۲۱،۴۱،۱۶،۳۷). امروزه با افزایش میزان ضایعات کشاورزی و شهری، به یک استراتژی پایدار به‌منظور مدیریت و کاهش این ضایعات نیاز است. به‌همین دلیل از مواد زائد برای تولید انرژی زیستی جهت اصلاح و بهبود خاک استفاده می‌شود. افزایش تولید لجن، به‌عنوان یک محصول جانبی امری اجتناب‌ناپذیر است که موجب نگرانی بیش‌تری برای سلامتی انسان و خطراتی برای محیطزیست می‌شود (۳۴). لجن فاضلاب مانند اکثر ضایعات آلی غنی از مواد فرار بوده و بنابراین می‌تواند به یک منبع انرژی قابل استفاده تبدیل شود. یکی از موارد بازیافت انرژی از فاضلاب فرآیند پیرولیز است (۴۴). تجزیه زیست توده در اثر حرارت را پیرولیز گویند و هنگامی‌که این فرآیند در شرایط بدون اکسیژن یا با مقادیر خیلی جزئی اکسیژن رخ دهد، بایوچار تولید می‌شود. بایوچار ماده آلی غنی شده‌ای بوده که از تجزیه کربن در اثر حرارت به‌وجود می‌آید که از آن به‌عنوان یک افزودنی خاک برای بهبود و حفظ حاصل‌خیزی خاک و نیز افزایش ترسیب کربن خاک استفاده می‌شود (۳۷،۳۰،۲۰). استفاده از بایوچار باعث نگه‌داری طولانی مدت محتویات کربن آلی خاک، حاصل‌خیزی خاک (۴۲،۲۸) تهویه خاک، بهبود باروری، افزایش راندمان موادمغذی و به حداکثر رساندن بهره‌وری از محصولات زراعی (۵،۳۷،۳۶) می‌شود. در حال حاضر اطلاعات بسیار کمی در مورد جنبه‌های عملی کاربرد بایوچار مختلف در حفاظت خاک، امکان‌سنجی اقتصادی و اثربخشی آن بر محیطزیست در دسترس است. بایوچار نقش مهمی در گسترش گزینه‌های مدیریت پایدار خاک توسط بهبود بهترین شیوه‌های مدیریت موجود داشته و موجب بهبود بهره‌وری خاک و کاهش هدررفت مواد مغذی ناشی از طریق آب‌شویی می‌گردد (۳۳). مطالعاتی در زمینه تاثیر بایوچار بر ویژگی‌های فیزیکی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و فرسایش خاک انجام شده از جمله: چان و همکاران (۸) اثر بایوچار زباله سبز با مقادیر ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ تن بر هکتار با و بدون اضافه کردن نیتروژن به‌مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در استرالیا بر عملکرد تربچه و کیفیت خاک آلفی‌سول را ارزیابی نمودند. نتایج ارائه شده نشان داد که استفاده از بایوچار همراه کود نیتروژن عملکرد بالاتری نسبت به بایوچار به‌تنهایی دارد. هم‌چنین تغییرات قابل توجهی در کیفیت خاک از جمله افزایش pH، کربن آلی و کاتیون‌های در اثر کاربرد بایوچار را نشان دادند. آسیا و همکاران (۴) به بررسی اثر کاربرد بایوچار بر

1- Geotextiles

خصوصیات فیزیکی خاک و عملکرد دانه برنج در شمال لائوس پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که بایوچار هدایت هیدرولیکی اشباع خاک را افزایش می‌دهد. بایوچار هم‌چنین باعث بهبود بهره‌وری خاک در تولید برنج شد اما عملکرد بایوچار به‌شدت وابسته به حاصل‌خیزی خاک و مدیریت کود بود. لیرد و همکاران (۲۹) تأثیر بایوچار با مقادیر صفر، ۵، ۱۰ و ۲۰ گرم بایوچار به یک کیلوگرم خاک بر کیفیت خاک جمع‌آوری شده در شهرستان بون در آمریکا را بررسی نمودند. نتایج ایشان نشان داد که کاربرد بایوچار ظرفیت نگه‌داری آب، سطح ویژه و ظرفیت کاتیونی خاک را افزایش داد. اوزوما و همکاران (۴۳) اثر بایوچار اقاقیا با مقادیر ۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در هکتار بر خصوصیات هیدرولیکی و حفظ مواد مغذی خاک ماسه‌ای را بررسی کردند. نتایج ایشان نشان داد که استفاده از بایوچار باعث افزایش ظرفیت آب قابل دسترس تا ۹۷ درصد و محتوای آب اشباع شده تا ۵۶ درصد شد و هدایت هیدرولیکی با افزایش رطوبت خاک کاهش یافت. ژانگ و همکاران (۴۶) اثر بایوچار برنج به میزان ۱۰، ۲۰ و ۴۰ تن بر هکتار بر کیفیت خاک، عمل‌کرد محصول و انتشار گازهای گلخانه‌ای در شالیزارهای برنج چین را بررسی کردند. نتایج نشان داد که بایوچار برنج، pH خاک،کربن آلی خاک و ازت کل را افزایش داد اما جرم مخصوص ظاهری خاک را در هر دو دوره رشد برنج کاهش داد. جین و وانگ (۲۵) در دانشگاه علم و صنعت پینگتونگ تایوان به‌منظور برآورد فرسایش خاک با استفاده از بارش شبیه‌سازی شده ۸۰ میلی‌متر بر ساعت تاثیر بایوچار ۲/۵ و پنج درصد ساخته شده از زباله چوب درختان سرو سفید را مورد بررسی قرار دادند. ایشان بیان کردند که استفاده از بایوچار باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی خاک از جمله افزایش قابل توجهی در pH خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی گردید. هم‌چنین ایشان بیان کردند که ترکیب دو مقدار بایوچار با خاک به‌طور قابل توجهی فرسایش خاک را به‌ترتیب به میزان ۵۰ درصد و ۶۴ درصد در مقایسه با تیمار شاهد کاهش داد. گیتینجی (۱۹) کاربرد بایوچار با مقادیر ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد بر خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی خاک در دانشگاه جورجیا، امریکا را ارزیابی نمودند. نتایج ایشان نشان داد که با افزایش بایوچار، جرم مخصوص ظاهری از ۱/۳۲ به ۰/۳۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب و چگالی ذرات هم از ۲/۶۵ به۱/۶۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب کاهش یافت. در حالی‌که تخلخل از ۰/۵۰ به ۰/۷۷ سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب افزایش یافت و میانگین رطوبت حجمی از ۳/۹۰ به ۱۴ سانتی‌متر مکعب افزایش یافت. بابابیل و همکاران (۶) کاربرد بایوچار بلوط و زغال چوب در بهبود ویژگی‌های هیدرولیکی خاک در ارتفاعات مرطوب اتیوپی را ارزیابی کردند. به‌طور کلی زغال چوب توانست خصوصیات هیدرولیکی خاک در برابر تخریب را بهبود بخشد، در نتیجه باعث کاهش رواناب و فرسایش شد. ابوجبهه و همکاران (۳) کاربرد بایوچار به مقدار ۴۷ تن بر هکتار ضایعات سبز اقاقیا و کمپوست روی بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در تاسمانی استرالیا را مورد بررسی قرار دادند. تیمار بایوچار و کمپوست به‌ترتیب کربن آلی را ۲۳ و ۵۵ درصد افزایش دادند در حالی‌که pH خاک در هر دو تیمار کاهش یافت. دوان و همکاران (۱۱) اثر کود بوفالو، کمپوست و ورمی‌کمپوست و بایوچار (به تنهایی و یا با ورمی‌کمپوست) بر حاصل‌خیزی خاک، فرسایش خاک و دینامیک آب در ویتنام را بررسی نمودند. ورمی‌کمپوست باعث بهبود رشد و عملکرد ذرت شد اما اثر آن نسبتا کم بود و تنها زمانی‌که آب دسترس محدود بود اثر آن قابل توجه بود. هنگامی‌که ایشان مخلوط ورمی کمپوست–بایوچار را استفاده نمودند بهبود رشد و عملکرد بیش‌تری در برخی موارد ثبت شد. هم‌چنین ایشان بیان کردند که کاربرد بایوچار به تنهایی توانست تاثیر مثبتی بر عملکرد و رشد ذرت داشته باشد. صادقی و همکاران (۳۸) در مهار رواناب و رسوب از ویناس و بایوچار در ۲۴ و ۴۸ ساعت قبل از شبیه‌سازی در آزمایشگاه شبیه‌ساز باران دانشگاه تربیت مدرس تحت باران شبیه‌سازی شده ۵۰ میلی‌متر بر ساعت استفاده نمودند. نتایج ایشان نشان داد که پس کاربرد بایوچار در مدت زمانی ۲۴ ساعت و ۴۸ ساعت قبل از شروع بارش زمان شروع رواناب به ترتیب ۵۵/۱۰+ و۷۱/۷۳+ افزایش یافت. علاوه بر این، متوسط حجم رواناب نیز به‌ترتیب ۹۸/۴۶ درصد و ۴۶/۳۹ درصد کاهش یافت. هم‌چنین کمترین فرسایش خاک ۱/۱۲±۰/۵۷ گرم و غلظت رسوب ۱/۴۴±۰/۴۸ گرم در لیتر در استفاده از بایوچار ۴۸ ساعت قبل از شبیه‌سازی باران اندازه‌گیری شد. سپس پنگ و همکاران (۳۵) تاثیر کود دامی،کاه و کلش برنج و بایوچار حاصل از کاه و کلش برنج بر تجمع و فرسایش خاک در شیب نه تا ۱۴ درصد بابادام زمینی کاشته شده در چین را مورد بررسی قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد که بایوچار فرسایش خاک را به‌طور قابل توجهی کاهش داد. یو و همکاران (۴۵) کاربرد بایوچار حاصل از لجن فاضلاب شهری روی بهبود ویژگی‌های خاک مناطق شهری در چین را بررسی نمودند. نتایج ایشان نشان داد که بایوچار نیتروژن کل، کربن آلی، کربن سیاه، فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک را به‌ترتیب به مقدار ۱/۵، ۱/۹، ۴/۵، ۵/۶ و ۰/۴ برابر افزایش داد. ژیگو و همکاران (۴۷) اثر بایوچار بر میزان رسوب و میزان تلفات مواد مغذی در نیمه گرمسیری چین طی سه سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۶ را بررسی نمودند. نتایج ایشان نشان داد که کاربرد بایوچار باعث کاهش ۱۱ درصدی میزان رسوب شد و هم‌چنین تلفات نیتروژن کل و فسفر به‌طور قابل توجهی کاهش یافت.

جمع‌بندی سوابق تحقیق در زمینه کاربرد بایوچار نشان می‌دهد که با توجه به اینکه بیش‌تر پژوهش‌ها در زمینه اثر بایوچار بر حاصل‌خیزی، ویژگی‌های خاک، بازده محصول یا فرسایش خاک می‌باشد. هم‌چنین پژوهش‌ها در زمینه اثر مقادیر مختلف بایوچار بر مولفه‌های رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب بسیار اندک می‌باشد. از طرفی نیز استفاده از لجن کارخانه‌ها می‌تواند مشکلات محیط‌زیستی را تا حد زیادی کاهش داده، لذا پژوهش حاضر با هدف تاثیر تیمار حفاظتی بایوچار حاصل از لجن کارخانه جوجه‌کشی بر مولفه‌های رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب در مقیاس کرت و شرایط آزمایشگاهی انجام گردید.

## مواد و روش‌ها

ابتدا خاک از اراضی فرسایش یافته شهرستان میاندرود جمع‌آوری شد و سپس به آزمایشگاه جهت انجام آزمایش‌ها انتقال داده شد. آزمایش‌های مربوط به بخش جمع‌آوری رواناب و رسوب پژوهش حاضر در آزمایشگاه شبیه‌ساز باران و فرسایش خاک دانشکده منابع طبیعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد. هم‌چنین به‌منظور تهیه بایوچار و آزمایش‌های مربوط به آن از آزمایشگاه شبیه‌ساز باران و فرسایش خاک دانشکده علوم دریایی و منابع طبیعی تربیت مدرس استفاده گردید.

**- مشخصات دستگاه شبیه‌ساز مورد استفاده**

شبیه‌ساز باران طراحی شده روی یک ساختار فلزی به فرم A و با قابلیت تنظیم ارتفاع دو تا ۲/۷ متر و قطر ۴۰ میلی‌متر مستقر گردید. 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. هر نازل درون یک مکعب فلزی ثابت قرار گرفته تا آب مازاد را به سیستم بارش بازگرداند. جهت انتقال آب به نازل‌ها از شلنگی به قطر ۱۵ میلی‌متر متصل به یک پمپ الکتریکی استفاده گردید. سپس جریان آب در ارتفاع ۲/۵ متری توسط یک تقسیم‌کننده فلزی و دو شلنگ ۱۲ میلی‌متری به طول ۷۰ سانتی‌متر با فشار یکسان به نازل‌ها منتقل می‌شود. هم‌چنین برای کنترل فشار آب در پشت نازل‌ها یک فشارسنج (صفر – ۱۶۰ کیلوپاسکال) روی شلنگ هادی نصب شده است. به‌منظور راه‌اندازی شبیه‌ساز و کنترل تداوم بارش، یک برد کنترلی با قابلیت برنامه‌نویسی و اجرای چندین برنامه بارشی با خصوصیات مختلف و به‌صورت خودکار و متوالی طراحی گردید که با استفاده از یک صفحه کلید سرعت نوسان نازل‌ها، زاویه، زمان مکث نازل‌ها در طرفین قابل تنظیم می‌باشد (۲۶).

**- آماده‌سازی خاک مورد استفاده**

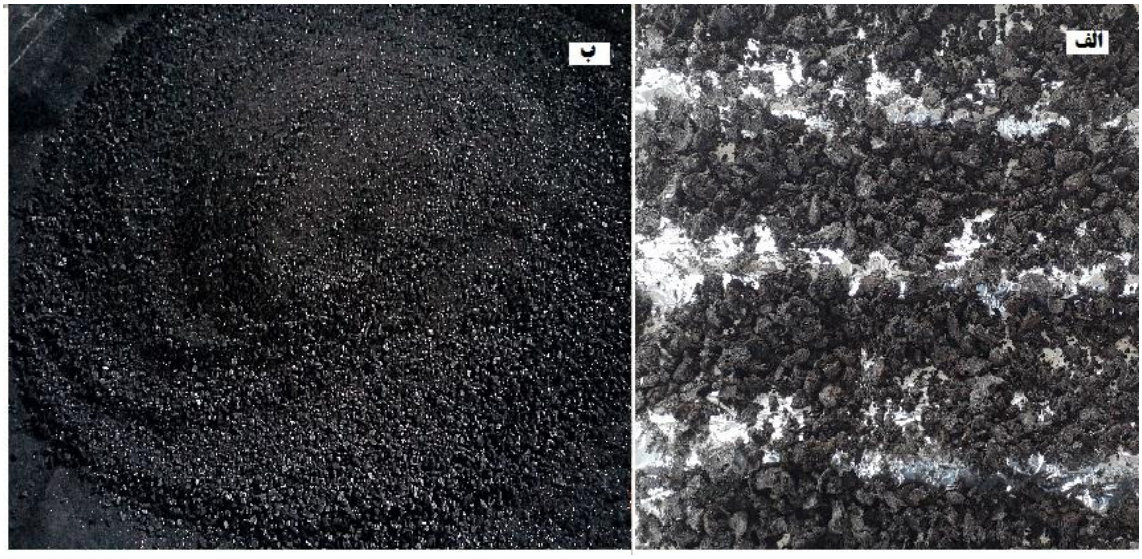
خاک تهیه شده ابتدا به آزمایشگاه منتقل و هواخشک شده (۳۷،۱۵). در مرحله بعدی بقایای سنگ و کلوخه‌های آن حذف و در مرحله آخر از الک چهار میلی‌متری عبور داده شد (۱۶). سپس به‌منظور ایجاد شرایط مشابه موجود در طبیعت و زهکشی بهتر (۱۵،۱۰) پنج سانتی‌متر اول عمق کرت‌ها با پوکه معدنی در اندازه‌های مختلف استفاده شد (۱۰،۹). پس از استقرار خاک در کرت‌ها با استفاده از غلطک برای دستیابی به وزن مخصوص ظاهری خاک منطقه (۱۷،۳۲) مورد مطالعه رسانده شد. آزمایش‌های انجام شده اولیه روی خاک مورد استفاده نشان داد که بافت خاک لومی- شنی، درصد شن، رس و سیلت آن به‌ترتیب ۵۳/۸، ۱۳/۹ و ۳۲/۳ درصد، کربن آلی، مواد آلی و آهک آن به‌ترتیب ۰/۹۸، ۱/۶۸ و ۳۳/۲۵ درصد و pH و EC آن ۷/۳۷ و ۰/۸۷۸ دسی‌زیمنس بر متر بود.

**- لجن مورد استفاده**

لجن فاضلاب مورد استفاده در این پژوهش از کارخانه جوجه‌کشی گهرباران مازندران تهیه شد. لجن فاضلاب مذکور شامل فضولات مرغ و جوجه، تخم‌مرغ‌های باز نشده، پوسته تخم‌مرغ و بقایای غذایی مورد استفاده برای جوجه‌ها بود. به‌منظور تصفیه فاضلاب مذکور از روش‌های بیولوژیکی تصفیه فاضلاب صنعتی به روش هوازی و بی‌هوازی استفاده می‌شود. پس از تهیه لجن از کارخانه جوجه‌کشی و نمونه‌برداری، نمونه‌های لجن به‌منظور انجام فرآیندهای بعدی به آزمایشگاه شبیه‌ساز باران دانشکده منابع طبیعی ساری منتقل گردید.

**- تهیه و آماده‌سازی بایوچار**

پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه شبیه‌ساز باران دانشکده منابع طبیعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری نمونه‌ها هوا خشک گردید. سپس به‌منظور تهیه زغال‌زیستی، نمونه‌ها در شرایط فاقد اکسیژن درون کوره تهیه زغال‌زیستی آزمایشگاه شبیه‌ساز باران و فرسایش دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس قرار داده شد. برای این منظور نمونه‌ها به اندازه‌های تقریبا مساوی خرد شده و با وزن ۱۸۰۰-۱۳۰۰ گرم در داخل کوره ریخته شد. سپس برای جلوگیری از شرایط کم یا بدون اکسیژن سوختن نمونه‌ها، درب کوره با گل حاصل از خاک رس کاملا درزگیری شد و اطراف کوره با بلوک‌های سیمانی به‌منظور کم کردن اکسیژن و بالا رفتن سریع دمای کوره احاطه شد 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 بایوچار آماده شده از کوره خارج شد، سپس کوبیده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شد تا اندازه‌های ذرات بایوچار تهیه شده یکنواخت شود (۳۸). نتایج حاصل ازآزمایش‌های بایوچار نشان داد که عملکرد بایوچار تهیه شده ۵۶ درصد و میزان کربن آن ۳۲ درصد بود. شکل ۱ لجن خشک شده (الف) و بایوچار حاصل از آن (ب) را نشان می‌دهد.




شکل ۱- نمایی از لجن خشک شده (الف) و بایوچار تهیه شده از لجن خشک شده (ب)
Figure 1. The view from dried sludge (A) and prepared biochar from dried sludge (B)

**- انتخاب سطوح بایوچار**

پس از تهیه بایوچار، مقادیر آن در سه سطح ۰/۴، ۰/۸ و ۱/۶ تن بر هکتار انتخاب گردید سپس با استفاده از الک و به‌صورت یکنواخت در سطح کرت‌ها پخش شد و آزمایش‌ها در سه تکرار انجام گردید. شکل ۲ نمایی از کرت‌ها با مقادیر مختلف زغال‌زیستی ۰/۴ ، ۰/۸ و ۱/۶ تن بر هکتار را نشان می‌دهند. برای انجام آزمایش‌ها از یک سطح رطوبتی ۲۰ درصد و شیب ۲۰ درصد (شیب متوسط منطقه مطالعاتی) انتخاب گردید.

**- انتخاب شدت بارندگی**

برای انجام آزمایش‌ها در پژوهش حاضر با استفاده از منحنی‌های شدت- مدت - فراوانی منطقه از بارانی با شدت ۵۰ میلی‌متر بر ساعت (متوسط بارش منطقه نمونه‌برداری خاک) برای مدت زمان ۱۰ دقیقه (۱۵) استفاده شد و بدین منظور دستگاه شبیه‌ساز باران در آزمایشگاه دانشکده منابع طبیعی دانشگاه علوم کشاورزی ومنابع طبیعی ساری کالیبره شد.

شکل ۲- نمایی از کرت‌ها با مقادیر مختلف زغال‌زیستی صفر (شاهد) (الف) ، ۰/۴ (ب)، ۰/۸ (ج) و ۱/۶ (د) تن بر هکتار
Figure 2. A view from plots with different amounts of biochar 0 (control) (a), 0.4 (b), 0.8 (c) and 1.6 (d) t $ha^{-1}$

**– اندازه‌گیری مولفه‌های رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب**

به‌منظور تعیین مقدار رواناب و هدررفت خاک بعد از ثبت زمان شروع رواناب اقدام به برداشت رواناب و هدررفت خاک برای مدت زمان ۱۰ دقیقه (۱۷، ۳۷، ۱۸) شد. پس از اتمام مدت بارندگی مقدار رواناب به تفکیک هر مقدار بایوچار در داخل ظرف‌های نمونه‌برداری قرائت شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت به حالت سکون قرار داده و بعد از عملیات تغلیظ، رسوب باقی‌مانده به مدت ۲۴ ساعت در داخل آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. در نهایت مقدار هدررفت با استفاده از ترازو توزین شد (۳۷،۱۵،۲۷). تعداد تیمارها ترکیبی از حاصل‌ضرب تعداد سطح‌های بایوچار با احتساب سه تکرار (۳×۳) به علاوه یک تیمار شاهد با احتساب سه تکرار، در مجموع ۱۲ تیمار شد.

**– آزمون آماری**

به‌منظور انجام کلیه تجزیه و تحلیل‌های آماری از نرم‌افزارهای SPSS23 و Excel استفاده گردید. ابتدا با استفاده از نرم‌افزار Excel میانگین، انحراف معیار، ضریب تغییرات و درصد حفاظتی زمان شروع رواناب، حجم و ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب تیمارهای بایوچار با مقادیر ۰/۴، ۰/۸ و ۱/۶ تن بر هکتار محاسبه شد. به‌منظور آنالیز آماری ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف– اسمیرنف بررسی شد و مقایسه پارامترهای مورد بررسی قبل و بعد از استفاده از تیمار بایوچار توسط آزمون آنالیز واریانس و آزمون دانکن انجام گردید.

## نتایج و بحث

داده‌های اندازه‌گیری شده زمان شروع رواناب، حجم و ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب برای مقادیر بایوچار ۰/۴، ۰/۸ و ۱/۶ تن بر هکتار در سه تکرار در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. جدول ۳ نیز نتایج آزمون تجزیه واریانس چندطرفه زمان شروع رواناب، حجم رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب را نشان می‌دهد.

جدول ۱– مقادیر زمان شروع رواناب، حجم و ضریب رواناب در مقادیر مختلف بایوچار

Table 1. Amount of time to runoff, runoff coefficient and volume in different amounts of biochar

| مقدار بایوچار (تن بر هکتار) | تکرار | زمان شروع رواناب (ثانیه) | حجم رواناب (لیتر) | ضریب رواناب (درصد) |
|---|---|---|---|---|
| شاهد (بایوچار با مقدار صفر) | ۱ | ۱۴۵ | ۴/۵۵ | ۸۹/۷۴ |
| | ۲ | ۶۰ | ۵/۱۷ | ۹۰/۱۰ |
| | ۳ | ۱۶۳ | ۴/۴۱ | ۸۴/۹۳ |
| | میانگین | ۱۲۲/۶۷ | ۴/۷۱ | ۸۹/۹۲ |
| | انحراف معیار | ۵۵/۰۱ | ۰/۴۰ | ۵/۰۹ |
| | ضریب تغییرات | ۰/۴۵ | ۰/۰۸ | ۰/۰۶ |
| ۰/۴ | ۱ | ۲۲۰ | ۳/۷۵ | ۶۷/۱۹ |
| | ۲ | ۲۰۰ | ۴/۱۰ | ۷۵/۳۰ |
| | ۳ | ۲۱۰ | ۳/۳۱ | ۶۰/۱۳ |
| | میانگین | ۲۱۰ | ۳/۷۲ | ۶۷/۵۴ |
| | انحراف معیار | ۱۰ | ۰/۹۳ | ۷/۵۹ |
| | ضریب تغییرات | ۰/۰۴ | ۰/۱۰ | ۰/۱۱ |
| | درصد حفاظت | ۷۱/۱۹ | ۲۱/۰۰ | ۲۴/۸۸ |
| ۰/۸ | ۱ | ۲۴۰ | ۳/۰۸ | ۵۳/۸۷ |
| | ۲ | ۲۱۵ | ۳/۴۸ | ۶۲/۸۳ |
| | ۳ | ۲۵۰ | ۳/۱۳ | ۵۴/۱۰ |
| | میانگین | ۲۳۵ | ۳/۲۳ | ۵۶/۹۴ |
| | انحراف معیار | ۱۸/۰۳ | ۰/۲۲ | ۵/۱۰ |
| | ضریب تغییرات | ۰/۰۷ | ۰/۰۷ | ۰/۰۹ |
| | درصد حفاظت | ۹۱/۵۸ | ۳۱/۴۰ | ۳۶/۶۸ |
| ۱/۶ | ۱ | ۳۷۴ | ۲/۹۴ | ۴۴/۳۵ |
| | ۲ | ۲۵۰ | ۳/۰۷ | ۵۳/۰۷ |
| | ۳ | ۲۹۸ | ۲/۵۴ | ۴۱/۶۴ |
| | میانگین | ۳۰۷/۳۳ | ۲/۸۵ | ۴۶/۳۵ |
| | انحراف معیار | ۶۲/۵۲ | ۰/۳۷ | ۵/۹۷ |
| | ضریب تغییرات | ۰/۲۰ | ۰/۰۹ | ۰/۱۳ |
| | درصد حفاظت | ۱۵۰/۵۴ | ۳۶/۴۷ | ۴۸/۴۵ |

جدول ۲- مقادیر هدررفت خاک و غلظت رسوب در مقادیر مختلف بایوچار

Table 2. The amount of soil loss and sediment concentration in different amounts of biochar

| مقدار بایوچار (تن بر هکتار) | تکرار | هدررفت خاک (گرم) | غلظت رسوب (گرم بر لیتر) |
|---|---|---|---|
| شاهد (بایوچار با مقدار صفر) | ۱ | ۲۵۹/۴۰ | ۵۷/۰۱ |
| | ۲ | ۲۸۵/۸۳ | ۵۵/۲۸ |
| | ۳ | ۲۳۴/۴۳ | ۵۳/۱۵ |
| | میانگین | ۲۵۹/۸۹ | ۵۵/۱۵ |
| | انحراف معیار | ۲۵/۷۰ | ۱/۹۳ |
| | ضریب تغییرات | ۰/۱۰ | ۰/۰۳ |
| ۰/۴ | ۱ | ۷۸/۱۵ | ۲۰/۸۴ |
| | ۲ | ۷۶/۴۹ | ۱۸/۶۵ |
| | ۳ | ۷۱/۱۲ | ۲۱/۴۵ |
| | میانگین | ۷۵/۲۵ | ۲۰/۳۲ |
| | انحراف معیار | ۳/۶۸ | ۱/۴۷ |
| | ضریب تغییرات | ۰/۰۵ | ۰/۰۷ |
| | درصد حفاظت | ۷۱/۰۴ | ۶۳/۱۶ |
| ۰/۸ | ۱ | ۵۹/۹۸ | ۱۹/۴۷ |
| | ۲ | ۵۶/۷۹ | ۱۶/۲۹ |
| | ۳ | ۵۷/۸۶ | ۱۸/۴۸ |
| | میانگین | ۵۸/۲۱ | ۱۸/۰۸ |
| | انحراف معیار | ۱/۶۲ | ۱/۶۳ |
| | ضریب تغییرات | ۰/۰۳ | ۰/۰۹ |
| | درصد حفاظت | ۷۷/۶۰ | ۶۷/۲۱ |
| ۱/۶ | ۱ | ۴۰/۷۰ | ۱۱/۸۴ |
| | ۲ | ۳۶/۰۸ | ۱۱/۷۵ |
| | ۳ | ۳۵/۱۹ | ۱۳/۸۲ |
| | میانگین | ۳۷/۲۲ | ۱۳/۱۴ |
| | انحراف معیار | ۲/۹۶ | ۱/۲۰ |
| | ضریب تغییرات | ۰/۰۷ | ۰/۰۹۱ |
| | درصد حفاظت | ۸۵/۶۳ | ۷۶/۱۷ |

جدول ۳- نتایج آزمون تجزیه واریانس در مقادیر مختلف بایوچار بر مولفه‌های زمان شروع رواناب، حجم و ضریب رواناب، هدر رفت خاک و غلظت رسوب

Table 3. The results of variance analysis in various biochar amounts on the time to runoff, runoff coefficient and volume, soil loss and sediment concentration variables

| مولفه‌های مورد بررسی | منابع تغییرات | مجموع مربعات | درجه آزادی | میانگین مربعات | فراوانی | سطح معنی‌داری |
|---|---|---|---|---|---|---|
| زمان شروع رواناب | بین گروهی | ۵۵۲۵۸/۹۱ | ۳ | ۱۷۴۱۹/۶۳ | ۹/۴۶ | ۰/۰۰۵ |
| | درون‌گروهی | ۱۴۷۲۱/۳۳ | ۸ | ۱۸۴۰/۱۶ | | |
| | کل | ۶۶۹۸۰/۲۵ | ۱۱ | | | |
| حجم رواناب | بین گروهی | ۵/۸۱ | ۳ | ۱/۹۳ | ۱۷/۵۵ | ۰/۰۰۱ |
| | درون‌گروهی | ۰/۸۸ | ۸ | ۰/۱۱ | | |
| | کل | ۶/۷۰ | ۱۱ | | | |
| ضریب رواناب | درون‌گروهی | ۷۶۴/۱۶ | ۸ | ۹۵/۵۲ | ۱۴/۶۹ | ۰/۰۰۱ |
| | کل | ۴۹۷۳/۷۲ | ۱۱ | | | |
| هدررفت خاک | بین گروهی | ۴۲۰۹/۵۵ | ۳ | ۱۴۰۳/۱۸ | ۱۸۴/۴۶ | ۰/۰۰۰ |
| | بین گروهی | ۹۴۸۴۷/۰۹ | ۳ | ۳۱۶۱۵/۶۹ | | |
| | درون‌گروهی | ۱۳۷۱/۱۱ | ۸ | ۱۷۱/۳۸ | | |
| | کل | ۹۶۲۱۸/۲۰ | ۱۱ | | | |
| غلظت رسوب | بین گروهی | ۳۳۲۴/۹۶ | ۳ | ۱۱۰۸/۳۲ | ۴۴۴/۳۰ | ۰/۰۰۰ |
| | درون‌گروهی | ۱۹/۹۵ | ۸ | ۲/۴۹ | | |
| | کل | ۳۳۴۴/۹۲ | ۱۱ | | | |

نتایج ارائه شده در جدول ۱ نشان می‌دهد که میانگین زمان شروع رواناب در تیمارهای حفاظتی بایوچار با مقادیر ۰/۴، ۰/۸ و ۱/۶ تن بر هکتار به‌ترتیب ۲۱۰/۰۰، ۲۳۵/۰۰ و ۳۰۷/۳۳ ثانیه بود که نسبت به تیمارهای شاهد ۷۱/۱۹، ۹۱/۵۸ و ۱۵۰/۵۴ درصد افزایش یافته است. نتایج نشان داد زمان شروع رواناب تیمارهای حفاظتی نسبت به تیمارهای شاهد افزایش یافته است. با توجه به نتایج می‌توان استناد کرد که بایوچار به‌دلیل فرآیند خاک‌دانه سازی باعث افزایش نفوذ رواناب سطحی به داخل خاک شده (۴،۳۳،۲۴) که در نتیجه آن زمان شروع رواناب را به تاخیر انداخته است. که با نتیجه بریگز و همکاران (۷) مبنی بر اینکه بایوچار باعث ایجاد زنجیرهای هیدروکربنی در سطح خاک شده و خاصیت آب‌گریزی زنجیرها باعث کاهش نفوذ و درنتیجه آن کاهش زمان شروع رواناب خواهد شد مغایرت دارد. که دلیل این تفاوت می‌تواند به نوع ماده اولیه برای تهیه زغال زیستی (۳۸) و نیز نوع خاک مورد استفاده باشد که توانسته زمان شروع

رواناب را در پژوهش حاضر افزایش دهد. هم‌چنین میانگین حجم رواناب در تیمارهای حفاظتی بایوچار با مقادیر ۰/۴، ۰/۸ و ۱/۶ تن بر هکتار به‌ترتیب ۳/۷۲، ۳/۲۳ و ۲/۸۵ لیتر بود که نسبت به تیمارهای شاهد ۲۱/۰۰، ۳۱/۴۰ و ۳۶/۴۷ درصد کاهش یافته است این نتایج نمایانگر این است که نه تنها در تیمارهای حفاظتی نسبت به تیمارهای شاهد حجم رواناب کاهش یافته بلکه هرچه مقدار بایوچار افزایش یابد مقدار حجم رواناب نیز کاهش می‌یابد. نتایج بررسی حجم رواناب نشان می‌دهد که بایوچار باعث بهبود خواص هیدرولیکی خاک، افزایش تخلخل خاک و افزایش نفوذ می‌گردد در نتیجه باعث کاهش حجم رواناب شده است. نتایج حاصل با نتایج اسچجونینگ و همکاران (۴۰) و آزوما و همکاران (۴۳) نیز مطابقت داشت. نتایج حاصل با نتایج آبل و همکاران (۱)، صادقی و همکاران (۳۸)، بایابیل و همکاران (۶) و ژیگو و همکاران (۴۷) مبنی بر تاثیر بایوچار بر کاهش رواناب هم‌خوانی داشت. بررسی نتایج ضریب رواناب نشان داد که میانگین ضریب رواناب در تیمارهای حفاظتی بایوچار با مقادیر ۰/۴، ۰/۸ و ۱/۶ تن بر هکتار به‌ترتیب ۶۷/۵۷، ۵۶/۹۴ و ۴۶/۳۵ درصد بود که نسبت به تیمارهای شاهد ۲۴/۸۸، ۳۶/۶۸ و ۴۸/۵۴ درصد کاهش یافته است و هم‌چنین با افزایش سطوح بایوچار مصرفی ضریب رواناب کاهش یافت. بایوچار به علت سطح ویژه بسیار بالایی که دارد باعث اتصال ذرات خاک به یکدیگر، افزایش خلل فرج خاک و افزایش نفوذ به داخل خاک می‌شود (۱۹،۳۱) که در نتیجه باعث افزایش زمان شروع رواناب و کاهش حجم رواناب شده و در نهایت منجر به کاهش ضریب رواناب خواهد شد. نتایج حاصل با مطالعات هرات و همکاران (۲۲) مبنی بر تاثیر بایوچار بر بهبود زهکشی خاک و در نتیجه کاهش ضریب رواناب، هسو و همکاران (۲۳) صادقی و همکاران (۳۸) مبنی بر کاهش ضریب رواناب در کرت‌های کوچک از ویناس و بایوچار، هم‌خوانی داشت. نتایج ارائه شده در جدول ۲ نشان می‌دهد که میانگین هدررفت خاک در تیمارهای حفاظتی بایوچار با مقادیر ۰/۴، ۰/۸ و ۱/۶ تن بر هکتار به‌ترتیب ۷۵/۲۵، ۵۸/۲۱ و ۳۷/۲۲ گرم بود که نسبت به تیمارهای شاهد ۷۷/۰۴، ۷۷/۶۰ و ۸۵/۶۳ درصد کاهش یافته است. بررسی نتایج حاصل از هدررفت خاک نشان داد که نه تنها در تیمارهای حفاظتی نسبت به تیمارهای شاهد کاهش قابل ملاحظه‌ای در هدررفت خاک وجود داشت بلکه در تیمارهای حفاظتی هر چه سطوح مصرفی بایوچار افزایش یافت مقدار هدررفت خاک نیز کاهش معنی‌داری داشته است. نتایج حاصل مبنی بر کاهش هدر رفت خاک با نتایج پنگ و همکاران (۳۵)، صادقی و همکاران (۳۸) و ژیگو و همکاران (۴۷) مطابقت داشت. هم‌چنین میانگین غلظت رسوب در تیمارهای حفاظتی بایوچار با مقادیر ۰/۴، ۰/۸ و ۱/۶ تن بر هکتار به‌ترتیب ۲۰/۳۲، ۱۸/۰۸ و ۱۳/۱۴ گرم بر لیتر بود که نسبت به تیمارهای شاهد ۶۳/۱۶، ۶۷/۲۱ و ۷۶/۱۷ درصد کاهش یافت. نتایج حاصل از کاهش در مقادیر غلظت رسوب بعد از کاربرد بایوچار با نتایج پنگ و همکاران (۳۵) و صادقی و همکاران (۳۸) هم‌خوانی داشت.

نتایج ارائه شده در جدول ۳ نشان می‌دهد که اثر مقادیر مختلف بایوچار بر مولفه‌های زمان شروع رواناب، حجم رواناب، ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی‌دار بود. صادقی و همکاران (۳۸) نیز بر اثر معنی‌دار بایوچار ۴۸ ساعت قبل از بارش بر کاهش هدررفت خاک و غلظت رسوب در کرت‌های کوچک تاکید داشتند. جدول ۴ تفکیک و همگن‌بندی مقادیر بایوچار با استفاده از آزمون دانکن را نشان می‌دهد.

جدول ۴- تفکیک و همگن‌بندی مقادیر بایوچار با استفاده از آزمون دانکن در سطح معنی‌داری پنج درصد

Table 4. Separation and homogenization of biochar amounts using Duncan's test in significant level of 5%

| متغیرها | زیرگروه‌ها | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ |
| زمان شروع رواناب | صفر (۱۷۱/۰۰) | ۰/۴ (۲۹۶/۰۸) | ۰/۸ (۳۵۵/۶۷) | ۱/۶ (۴۰۰/۳۳) |
| حجم رواناب | ۱/۶ (۲/۵۲) | ۰/۸ (۲/۸۰) | ۰/۴ (۳/۱۸) | صفر (۴/۵۸) |
| ضریب رواناب | ۱/۶ (۳۹/۳۶) | ۰/۸ (۴۶/۳۴) | ۰/۴ (۵۵/۸۵) | صفر (۹۱/۸۱) |
| هدررفت خاک | ۱/۶، ۰/۸ (۳۷/۵۸), (۴۶/۳۶) | ۰/۴ (۶۳/۸۷) | صفر (۳۱۰/۳۴) | – |
| غلظت رسوب | ۱/۶، ۰/۸ (۱۵/۹۷), (۱۴/۴۰) | ۰/۴ (۱۹/۹۲) | صفر (۶۷/۲۶) | - |

نتایج جدول ۴ نشان داد که تفکیک و همگن‌بندی بایوچار با مقادیر ۰/۴، ۰/۸ و ۱/۶ تن بر هکتار روی زمان شروع رواناب به‌ترتیب در زیرگروه‌های یک، دو و سه و تیمار شاهد نیز در زیرگروه چهارم قرار داشتند. این موضوع تاثیر معنی‌دار سطوح مختلف بایوچار بر زمان شروع رواناب تایید کرد هم‌چنین نشان‌دهنده روند افزایشی زمان شروع رواناب با افزایش مقدار سطوح بایوچار به‌کاربرده شده است بنابراین هرچه مقدار بایوچار افزایش یافته است مقدار زمان شروع و زمان خاتمه رواناب نیز روند افزایشی داشته است. زیرا همان‌طور که گفته شد بایوچار به‌دلیل فرآیند خاک‌دانه‌سازی باعث افزایش نفوذ رواناب سطحی به داخل خاک شده که با نتایج آسیا و همکاران (۴)، ماجور (۳۳)، هاسک و ماجور (۲۴) مبنی بر تاثیر مثبت بایوچار بر خواص هیدرولیکی و نفوذ آب در خاک هم‌خوانی داشت. تفکیک و همگن‌بندی سطوح بایوچار بر

حجم رواناب و ضریب رواناب با استفاده از آزمون دانکن نشان داد که بایوچار با مقادیر ۱/۶، ۰/۸، ۰/۴ تن بر هکتار به‌ترتیب در زیرگروه‌های یک، دو و سه قرار داشتند. این نتیجه تاثیر معنی‌دار سطوح مختلف بایوچار بر کاهش حجم و ضریب رواناب را تایید کرده و هم‌چنین نشان می‌دهد که کم‌ترین حجم رواناب و ضریب رواناب مربوط به زیرگروه یک و مقدار ۱/۶ تن بر هکتار بایوچار با مقادیر به‌ترتیب ۲/۵۲ و ۳۹/۳۶ می‌باشد. با افزایش مقدار بایوچار تاثیر آن بر کاهش حجم و ضریب رواناب بیش‌تر بوده است چرا که بایوچار موجب افزایش ماده آلی سطح خاک شده (۱۲) که موجب افزایش نفوذ و کاهش حجم و ضریب رواناب شده است. هم‌چنین تفکیک و همگن‌بندی سطوح بایوچار بر هدررفت خاک با استفاده از آزمون دانکن نشان داد که بایوچار با مقادیر ۱/۶ و ۰/۸ تن بر هکتار در زیرگروه یک قرار داشتند این موضوع نشان دهنده این است که سطوح مذکور نسبت به یکدیگر روی هدررفت خاک تغییر معنی‌داری نداشته و بنابراین در یک زیرگروه قرار گرفتند. تفکیک و همگن‌بندی سطوح بایوچار بر غلظت رسوب با استفاده از آزمون دانکن نشان داد که بایوچار با مقادیر ۱/۶ و ۰/۸ تن بر هکتار در زیرگروه یک و با مقدار ۰/۴ تن بر هکتار در زیرگروه دوم قرار داشتند این موضوع نشان دهنده این است که تاثیر سطوح بایوچار ۰/۸ و ۱/۶ تن بر هکتار بر غلظت رسوب یکسان می‌باشند. می‌توان این‌گونه استناد کرد که بایوچار توانست پایداری خاک‌دانه‌های خاک را افزایش داده (۲) که این فرآیند باعث کاهش هدررفت خاک و نیز غلظت رسوب می‌شود (۳۸).

پژوهش حاضر با هدف بررسی بایوچار بر تغییرات مولفه‌های رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب در شرایط آزمایشگاهی و در مقیاس کرت‌های آزمایشی صورت گرفت. نتایج نشان داد که در پژوهش حاضر تاثیر مثبت سطوح بایوچار با مقادیر ۰/۴، ۰/۸ و ۱/۶ تن بر هکتار بر مولفه‌های زمان شروع، حجم رواناب، ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب به اثبات رسید. بنابراین استفاده از بایوچار تهیه شده از لجن کارخانه جوجه‌کشی راهکاری مفید در جهت کاهش آلاینده‌های محیط‌زیستی و حفاظت آب و خاک برای افزایش زمان شروع رواناب و کاهش حجم و ضریب رواناب، هدر رفت خاک و غلظت رسوب می‌باشد.

## منابع


1. Abel, S., A. Peters, S. Trinks, H. Schonsky, M. Facklam and G. Wessolek. 2013. Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil.Geoderma, 202: 183-191.
2. Abrol, V., M. Ben-Hur, F.G. Verheijen, J.J. Keizer, M.A. Martins, H. Tenaw and E.R. Graber. 2016. Biochar effects on soil water infiltration and erosion under seal formation conditions: rainfall simulation experiment. Journal of Soils and Sediments, 1-11.
3. Abujabhah, I.S., S.A. Bound, R. Doyle and J.P. Bowman. 2015. Effects of biochar and compost amendments on soil physico-chemical properties and the total community within a temperate agricultural soil. Applied Soil Ecology, 1-11.
4. Asai H., B.K. Samson, H.M. Stephan, K. Songyikhan, K. Hommaa, Y. Kiyono, Y. Inoue T. Shiraiwa and T. Horie. 2009. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos. Field Crops Research, 111: 81-84.
5. Baronti, S., F.P. Vaccari, F. Miglietta, C. Calzolari, E. Lugato, S. Orlandini, R. Pini, C. Zulian and L. Genesio. 2014. Impact of biochar application on plant water relations in Vitis vinifera (L.). Eur. J. Agron, 53: 38-44.
6. 6-Bayabil H.K., C.R. Stoof, J.C. Lehmann, B. Yitaferu and T.S. Steenhuis. 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.
7. Briggs, C.M., J. Breiner, R.C. Graham. 2005. Contributions of Pinus Ponderosa charcoal to soil chemical andphysical properties. In the ASACSSA-SSSA International Annual Meetings. Salt Lake City, USa.
8. Chan, K.Y., L. Van Zwieten, I. Meszaros, A. Dowie and S. Joseph. 2008. Using poultry litter biochars as soil amendments. Australian Journal of Soil Research, 46: 437-444.
9. Darboux, F., Ph. Davy, G. Odoux and C. Hung. 2001. Evolution of soil surface roughness and flow path connectivity in overland flow experiments. Catena, 46(3): 125-139.
10. Defersha, M.B., S. Quraishi and A. Melesse. 2011. The effect of slope steepness and antecedent moisture content oninterrill erosion, runoff and sediment size distribution in the highlands of Ethiopia **.** Hydrology and Earth System Science, 15: 2367-2375.
11. Doan, T.T., T.H. Tureaux, C. Rumpel, J. Janeau and P. Jouquet. 2015. Impact of compost, vermin compost 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.
12. Feller, C. and M.H. Beare. 1997. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. Geoderma, 79(1): 69-116.
13. Fletcher, D. 2007. Soil Erosion Control on Banks Peninsula: A Bioengineering Approach, 62 pp.
14. Gessesse, B., W. Bewket and A. Bräuning. 2015. Model-based characterization and monitoring of runoff and soil erosion in response to land use/land cover changes in the Modjo watershed, Ethiopia. Land Degrad. Dev. http://dx.doi.org/10.1002/ldr.2276.

15. Gholami, L., S.H.R. Sadeghi and M. Homaee. 2013. Straw mulching effect on splash erosion, runoff and sediment yield from eroded plots. Soil Science Society of America Journal, 77: 268-278.
16. Gholami, L., K. Banasik, S.H.R. Sadeghi, A.V. Khaledi Darvishan and L. Hejduk. 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.
17. Gholami, L., S.H.R. Sadeghi and M. Homaee. 2015. The effect of straw rice on time to runoff and runoff coefficient. Iranian Water Researches Journal, 8(15): 33-40 (In Persian).
18. Gholami, L., S.H.R. Sadeghi and M. Homaee. 2017. Effect of Soil Amendments on Hydrograph and Sediment Graph Changes in the Laboratory Conditions. Journal of Watershed Management Research, 8(16): 100-112 (In Persian).
19. 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.
20. Glaser, B., J. Lehmann and W. Zech. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal– a review. Biol Fertil Soils, 35: 219-230.
21. Hann, M.J. and R.P.C. Morgan. 2006. Evaluating erosion control measures for biorestoration between the time of soil reinstatement and vegetation establishment. Earth Surface Processes and Landforms, 31: 589-597.
22. Herath, H.M.S.K., M.C. Arbestain and M. Hedley. 2013. Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: An Alfisol and an Andisol .Geoderma, 209: 188-197.
23. Hseu, Z., S.H. Hao Jien, W.H. Chien and R.C. Liou. 2014. Impacts of biochar on physical properties and erosion potential of a mudstone slope land soil. The Scientific World Journal, ID 602197, 10 pp.
24. Husk, B. and J. Major. 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. Blue Leaf Inc, 39pp.
25. Jien, S.H. and C.S. Wang. 2013. Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil .Catena, 110: 225-233.
26. Kavian, A., M. Mohammadi, M. Fallah and L. Gholami. 2016. Effect of wheat straw on changing time to runoff and runoff coefficient in laboratory plots under rainfall simulation. Journal of Soil and Water Resources Conservation, 5(2): 72-80 (In Persian).
27. Khaledi Darvishan, A., S.H.R. Sadeghi, M. Homaee and M. Arabkhedri. 2014. Measuring Sheet Erosion using Synthetic Color-Contrast Aggregates. Hydrological Processes, 28(15): 4463-4471.
28. Kimetu, J.M. and J. Lehmann. 2010. Stability and stabilisation of biochar and green manure in soil with different organic carbon contents. Australian Journal of Soil Research, 48: 577-585.
29. Laird, D.A., P. Fleming, D.D. Davis, R. Horton, B. Wang and D.L. Karlen. 2010. Impact of biochar amendments on the quality of a typical Midwesternagricultural soil .Geoderma, 158: 443-449.
30. Lehmann J., M.C. Rillig, J. Thies, C.A. Masiello, W.C. Hockaday and D. Crowley. 2003. Biochar effects on soil biota- a review. Soil Biology Biochemstry, 43: 1812-1836.
31. Liang, B., J. Lehmann, D. Solomon, J. Kinyangi, J. Grossman, B. O'Neill, J.O. Skjemstad, J. Thies, F. Luiza, J. Petersen and E.G. Neves. 2006. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. Soil Science Society of America Journal, 70: 1719-1730.
32. Luk, S.H. 1985. Effect of antecedent soil moisture content on rainwash erosion. Catena, 12: 129-139.
33. Major, J. 2010. Guidelines on practical aspects of biochar application to field soil in various soil management systems IBI, 23 pp.
34. Morán A., X. Gómez and A. Aller. 2004. Management of sludge from waste water treatment plant. Current approaches and perspectives. Tecnología delAgua, 245: 34-38.
35. Peng. X., Q.H. Zhu, Z.B. Xie, F. Darboux and N.M. Holden. 2016. The impact of manure, straw and biochar amendments on aggregation and erosion in a hillslope Ultisol. Catena, 138: 30-39.
36. Petter, F.A. and B.E. Madari. 2012. Biochar: agronomic and environmental potential in Brazilian savannah soils. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 16(7): 761-768.
37. Sadeghi, S.H.R., Z. Hazbavi and H. Younesi. 2015. Sustainable watershed management through applying appropriate level of soil amendments. Sustainable Watershed Management-Gonenc, Wolflin & Russo. Taylor and Francis Group, London, 978: 1-13.
38. Sadeghi, S.H.R., Z. Hazbavi and M. Kiani Harchegani. 2016. Controllability of runoff and soil loss from small plots treated by vinasse-produced biochar. Science of the Total Environment, 541: 483-490.
39. Schiechtl, H.M., N. Trans and K. Horstmann. 1980. Bioengineering for land reclamation and conservation. University of Alberta Press. Edmonton, Alberta, 404 pp.
40. Schjønning, P., L.J. Munkholm and S. Elmholt. 2004. Soil quality in organic farming–effects of crop rotation, animal manure and soil compaction. EUROSOIL 2004, Freiburg, Germany, 6-10.
41. Smets T., J. Poesen, M.A. Fullen and C.A. Booth. 2007. Effectiveness of palm and simulated geotextiles in reducing run-off and interrill erosion on medium and steep slopes. Soil Use and Management, 306-316.
42. Tejada, M. and J.L. Gonzalez. 2007. Effects of application of a byproduct of the two-step olive oil mill process on maize yield. Agronomy Journal, 69: 692-699.

43. Uzoma, K.C., M. Inoue, H. Andry, A. Zahoor and E. Nishihara. 2011. Influence of biochar application on sandy soil hydraulicproperties and nutrient retention. Food, Agriculture and Environment, 9: 1137-1143.
44. Werther, J. and T. Ogada. 1999. Sewage sludge combustion. Progress in Energyand Combustion Science, 25: 55-116.
45. Yue, Y., L. Cui, Q. Lin, G. Li and X. Zhao. 2017. Efficiency of sewage sludge biochar in improving urban soil properties and promoting grass growth .Chemosphere, 173: 551-556.
46. Zhang A., R. Bian, G. Pan, L. Cui, Q. Hussaina, L. Li, J. Zheng, X. Zhang, V. Han and X. Yu. 2012. Effects of biochar amendment on soil quality, crop yield and greenhouse gasemission in a Chinese rice paddy: A field study of 2 consecutive rice growingcycles .Field Crops Research, 127: 153-160.
47. Zhi-guoa, L., G. Chi-minga, Z. Run-huab, I. Mohameda, Z. Guo-shia, W. Li, Z. Run-qina, C. Fanga, and L. Yia. 2017. The benefic effect induced by biochar on soil erosion and nutrient lossof slopping land under natural rainfall conditions in central China .Agricultural Water Management, 185: 145-150.

# The Variations of Runoff, Soil Loss and Sediment Concentration Variables Using Different Biochar Levels in Laboratory Conditions

**Nabiyeh Karimi[1], Leila Gholami[2] and Ataollah Kavian[3]**

1- Graduated M.Sc. Student, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
2- Assistant Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran (Corresponding Author: l.gholami@sanru.ac.ir)
3- Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
Received: December 19, 2017 Accepted: May 23, 2018

## Abstract

The control of runoff and soil erosion is one of main issues around the world. Therefore, the application of soil amendments is essential in protecting water and soil. On the other hand, increasing the sludge production from factories is one of the environmental problems but methods of converting them to beneficial material is vital. . Therefore, the present study was conducted with aim of investigating the effect of produced biochar from sludge of incubation factory with values of 0.4, 0.8 and 1.6 t $ha^{-1}$ on the variables of time to runoff, runoff volume, runoff coefficient, soil loss and sediment concentration. The stages of this research were conducted at laboratory conditions for rainfall intensity of 50 mm $h^{-1}$ and the slope of 20 percent with three replications in plot scale. The results showed that after application of biochar with rates of 0.4, 0.8 and 1.6 t $ha^{-1}$, time to runoff toward control treatment increased with rates of 71.19, 91.58 and 150.54 percent, respectively, runoff volume toward control treatment decreased with rates of 21.00, 31.40 and 36.47 percent, respectively and also runoff coefficient toward control treatment decreased with rates of 67.57, 56.94 and 46.35 percent. Biochar caused the reduction of soil loss with rates of 71.04, 77.65 and 85.63 percent, respectively, and the sediment concentration with rates of 63.16, 67.21 and 76.17 percent respectively. The results of the statistical test showed that the effect of different values of biochar on the components of time to runoff, runoff volume, runoff coefficient, soil loss and sediment concentration were significant at the confidence level of 99%.

**Keywords:** Biochar, Rain Simulator, Runoff Changes, Soil Amendments, Soil Loss