نقش حفاظتی بایوچار در رطوبت‌های مختلف خاک برای جلوگیری از هدررفت خاک در شرایط آزمایشگاهی

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

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۸/۲۶)

چکیده

استفاده از افزودنی‌های خاک به‌منظور حفاظت آب و خاک ضروری است و همچنین بررسی اثر رطوبت خاک بر فرایند حفاظت خاک و نقش آن بر تغییرات رواناب، فرسایش خاک و تولید رسوب به‌منظور شناخت و شبیه‌سازی پاسخ هیدرولوژیکی خاک ضروری است. لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر بایوچار به مقدار ۱/۶ تن بر هکتار بر مؤلفه‌های زمان شروع رواناب، حجم رواناب، ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب در رطوبت‌های مختلف خاک شامل هواخشک، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درصد با سه تکرار در مقیاس کرت انجام شد. نتایج نشان داد که بعد از کاربرد افزودنی بایوچار زمان شروع رواناب در مقایسه با تیمار شاهد در رطوبت‌های هواخشک، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درصد به‌ترتیب ۲۴۰/۳۳، ۳۲۰، ۱۸۶/۶۶ و ۱۷۲/۳۳ ثانیه دیرتر اتفاق افتاد. نتایج همچنین نشان داد که حجم رواناب در رطوبت‌های هواخشک، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درصد به‌ترتیب ۴۴/۴۹، ۵۵/۶۰، ۳۶/۴۷ و ۴۱/۰۸ درصد و ضریب رواناب به‌ترتیب ۵۵/۷۱، ۶۶/۳۹، ۴۸/۴۵ و ۳۷/۸۲ درصد کاهش یافت. افزودن بایوچار سبب کاهش هدررفت خاک به‌ترتیب به‌مقدار ۹۱/۱۹، ۸۵/۰۵، ۸۵/۶۳ و ۸۸/۰۶ درصد و غلظت رسوب نیز به‌ترتیب ۸۴/۱۹، ۶۶/۵۳، ۷۶/۱۷ و ۷۹/۵۹ درصد شد. همچنین نتایج نشان داد که تغییرات رطوبت خاک تأثیر معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد بر تغییرات مولفه‌های زمان شروع رواناب، حجم رواناب، ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب داشت.

واژه‌های کلیدی: افزودنی آلی خاک، رطوبت پیشین خاک، فرسایش خاک، کرت آزمایشگاهی

۱. گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: l.gholami@sanru.ac.ir

مقدمه

از اوایل دهه ۱۹۸۰ پژوهشگران به‌طور جدی تأثیرات عوامل مختلف مؤثر بر فرایند فرسایش را بررسی کرده‌اند و نتایج مختلفی به‌دست آورده‌اند. در این میان یکی از مهم‌ترین دلایل تفاوت نتایج پژوهشگران در مناطق مختلف، تغییر ویژگی‌های خاک بوده است چرا که خاک ضمن تأثیرپذیری از شرایط تشکیل و تکامل، دارای ویژگی‌های خاص و منحصر به فردی است که بر فرایندهای مختلف تولید رواناب و ایجاد فرسایش اثر معنی‌داری دارد. از جمله ویژگی‌های مؤثر خاک در فرایندهای رواناب و فرسایش خاک می‌توان رطوبت پیشین خاک را نام برد. اهمیت رطوبت پیشین خاک تا آنجاست که در بارندگی‌های با شدت کم تا متوسط به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک می‌تواند رواناب را به‌طور کاملاً معنی‌داری تحت‌تأثیر قرار دهد و از طرف دیگر میزان فرسایش بارانی در دامنه تغییرات رطوبت پیشین خاک از حد خشک تا نزدیک به اشباع، تا بیش از پنج برابر تغییر می‌کند (۱۹ و ۲۰). همچنین بخشی از تغییرات ضریب رواناب در فصل‌های مختلف سال ناشی از تغییرات رطوبت پیشین خاک در این فصل‌ها بوده و یکی از دلایل اثربخشی خاک‌پوش در کاهش هدررفت خاک نیز افزایش رطوبت سطح خاک ناشی از پوشش آنها است (۱). رواناب با سپری شدن مدت زمانی پس از شروع بارندگی شکل گرفته و شروع رواناب تا حد زیادی وابسته به ویژگی‌های بارندگی، خاک و شیب است. شدت بیشتر باران و کاهش ظرفیت آب‌گیری لایه‌های سطحی خاک، موجب افزایش حجم رواناب شده و در ادامه نیروی بیشتری برای کنش و انتقال ذرات خاک مهیا می‌شود. هرچند اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر زمان شروع رواناب و ضریب رواناب تا حد زیادی به مقیاس مورد بررسی وابسته است (۴)، مجموعه این عوامل در مقیاس‌های مختلف حوزه آبخیز و کرت نیز ممکن است با یکدیگر تفاوت‌هایی داشته باشند، اما در مجموع می‌توان گفت ویژگی‌های بارندگی، شرایط خاک، پوشش‌گیاهی و توپوگرافی در تمامی مقیاس‌ها از جمله مهم‌ترین عوامل مؤثر بر زمان تشکیل رواناب و ضریب رواناب هستند (۱۵). اثر رطوبت پیشین خاک در برابر فرسایش خاک نشان داد که مقدار فرسایش خاک ارتباط پیچیده‌ای با مقاومت خاک دارد و تغییرات در محتوای رطوبت پیشین خاک با تغییرات زیادی از جمله تغییر در فرسایش‌پذیری خاک همراه است. به‌ویژه برای خاک‌های با رطوبت بیشتر، مقدار فرسایش توسط مقدار جدا شدن ذرات خاک کنترل می‌شد. همچنین اثرات رطوبت خاک در تولید رواناب و رسوب می‌تواند موجب افزایش رواناب با مقدار ۶۰ درصد و کاهش فرسایش خاک با مقدار ۵۹ درصد شود (۳۱). برخی از پژوهش‌گران اثر رطوبت خاک بر تغییرات رواناب و فرسایش خاک (۱۵، ۱۸، ۱۹، ۲۶ و ۳۰)، ثبات خاکدانه‌ها و فرسایش‌پذیری خاک (۳۱)، فرسایش شیاری و توزیع اندازه رسوبات (۳۱) و نفوذ (۱۵) را ارزیابی کردند.

از طرفی بررسی و پیش‌بینی رفتار یک سامانه آبخیز بر اساس ویژگی‌های پویای خاک و از جمله میزان رطوبت موجود در خاک به سبب نقش انکارناپذیر آن بر تکوین، تکامل و تاثیر بر بسیاری از فرایندهای مهم از قبیل ایجاد رواناب بسیار حائز اهمیت است و پس از سال‌ها پژوهش در زمینه تولید رواناب، هنوز ابعاد گسترده‌ای از آن در سایه‌ای از عدم یقین‌های متعدد قرار دارد. از سوی دیگر، استفاده از افزودنی‌های خاک به سبب، قابلیت دسترسی و اطمینان از عملکرد سریع برای مدیریت منابع آب و خاک توصیه شده است. در دهه گذشته از افزودنی‌های آلی مانند کاه و کلش (۶ و ۳۰)، کود حیوانی (۹)، لجن فاضلاب (۵)، کمپوست (۲۹)، اصلاح‌کننده‌های خاک با محتوای ماده آلی بالا (۲)، بایوچار (۷، ۱۳ و ۱۶) به‌منظور اصلاح خاک، جلوگیری از تخریب خاک، حفظ مواد آلی خاک و تامین مواد مغذی گیاهی استفاده شده است. بایوچار ماده غنی شده‌ای است که از تجزیه کربن در اثر حرارت به وجود می‌آید و از آن به‌عنوان یک افزودنی‌های خاک برای بهبود و حفظ حاصلخیزی خاک و نیز افزایش ترسیب کربن خاک استفاده می‌شود (۱۷). کاربرد بایوچار باعث نگهداری طولانی‌مدت محتویات کربن آلی خاک، حاصلخیزی خاک، تهویه خاک، بهبود باروری، افزایش راندمان مواد مغذی و به حداکثر رساندن بهره‌وری از محصولات زراعی

(۲ و ۲۵) می‌شود. همچنین مطالعات پیشین نشان داده است که استفاده از بایوچار منجر به افزایش اندازه ذرات خاک و کاهش رواناب و هدررفت خاک می‌گردد (۳۴). تلاش پژوهشگران در دهه‌های اخیر برای بررسی اثرات عوامل مختلف بر فرایندهای رواناب و فرسایش خاک و نیز فرایند حفاظت خاک در نهایت منجر به استفاده از سامانه‌های شبیه‌سازی باران، رواناب و فرسایش و رسوب شده است تا حدی که امروزه شبیه‌سازی باران به‌عنوان روشی استاندارد برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل‌های فیزیکی رواناب و فرسایش خاک شناخته شده (۲۸) و به‌طور گسترده در مقیاس‌های مختلف مورد استفاده پژوهشگران قرار گرفته است. شبیه‌ساز باران نقش مهمی در درک فرایندهای حفاظت خاک داشته و تولید رواناب و فرسایش خاک را کنترل کرده است و قابلیت تکرار را فراهم می‌کند.

جمع‌بندی سوابق پژوهش در زمینه اثر رطوبت خاک در فرایند حفاظت خاک نشان داد که تاکنون اثر رطوبت‌های مختلف بر فرایند حفاظت خاک همراه با یک افزودنی‌های آلی گزارش نشده است. بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر بایوچار لجن فاضلاب و رطوبت‌های پیشین خاک بر تغییرات مؤلفه‌های رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب در مقیاس کرت و شرایط آزمایشگاهی انجام شد.

مواد و روش‌ها

تهیه و آماده‌سازی خاک

آزمایش‌های مربوط به بخش جمع‌آوری رواناب و رسوب و نیز تهیه بایوچار حاصل از لجن فاضلاب پژوهش حاضر در آزمایشگاه شبیه‌ساز باران دانشکده منابع طبیعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد. همچنین خاک از عمق ۲۰ سانتی‌متری پس از برداشت از اراضی کشاورزی اطراف دانشکده منابع طبیعی ساری به آزمایشگاه برای آماده‌سازی و انجام آزمایش‌های اولیه روی آن انتقال داده شد. ویژگی‌های خاک مورد استفاده جهت انجام آزمایش‌های در جدول (۱) ارائه شده است. برای آماده‌سازی خاک، ابتدا هوا خشک شده (شکل ۱- الف) و در مرحله بعدی بقایای سنگ و کلوخه‌های آن حذف و در مرحله آخر از الک چهار میلی‌متری عبور داده شد (شکل ۱- ب). سپس به‌منظور ایجاد شرایط مشابه موجود در طبیعت و زهکشی بهتر (۱۵) قبل از ریختن خاک در کرت‌ها، پنج سانتی‌متر اول عمق کرت‌ها با پوکه معدنی (۱۵) پرگردید. پس از آن برای دستیابی به وزن مخصوص ظاهری خاک منطقه مورد مطالعه غلتک زده شد (۱۹). به‌منظور انجام کلیه تجزیه و تحلیل‌های آماری از نرم‌افزارهای SPSS (Ver.۲۳) و Excel استفاده 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 به مقدار ۱/۶ تن بر هکتار برای رطوبت‌های مختلف هواخشک، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درصد توسط آزمون آنالیز واریانس و آزمون دانکن انجام شد.

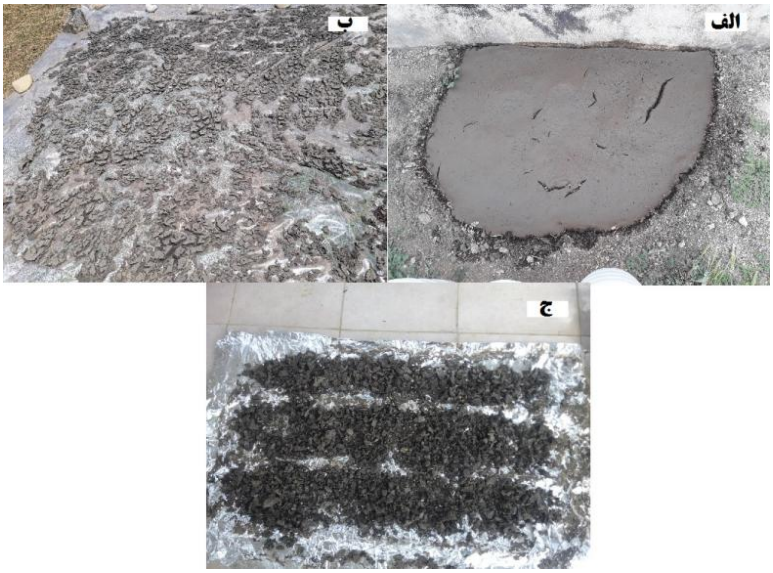
تهیه و آماده‌سازی بایوچار

لجن فاضلاب مورد استفاده در این پژوهش از کارخانه جوجه‌کشی گهرباران مازندران تهیه شد. به‌منظور تصفیه فاضلاب مذکور از روش‌های بیولوژیکی تصفیه فاضلاب صنعتی به روش هوازی و بی‌هوازی استفاده می‌شود. لجن از کارخانه جوجه‌کشی تهیه و نمونه‌های لجن به‌منظور تهیه بایوچار و انجام پژوهش حاضر به آزمایشگاه منتقل و سپس هواخشک شد (شکل ۲). سپس لجن هواخشک شده در شرایط فاقد اکسیژن درون کوره تهیه بایوچار قرار داده شد. برای جلوگیری از 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 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 و پس از کوبیده شدن از الک دو میلی‌متری عبور داده شد تا اندازه‌های ذرات بایوچار تهیه شده یکنواخت شود (۲۴ و ۲۷). شکل ۳ بایوچار تهیه شده را نشان می‌دهد.

جدول ۱. ویژگی‌های خاک

بافت خاک	شن	رس	سیلت	کربن آلی	مواد آلی	آهک	pH	EC (دسی‌زیمنس بر متر)
				(درصد)				
لومی شنی	۵۳/۸	۱۳/۹	۳۲/۳	۰/۹۸	۱/۶۸	۳۳/۲۵	۷/۳۷	۰/۸۷۸

شکل ۱. مراحل آماده سازی خاک برای انجام پژوهش حاضر: الف) خشک کردن خاک در هوای آزاد و ب) الک کردن



شکل ۲. مراحل خشک کردن لجن فاضلاب: الف) قراردادن در چاله به‌منظور کاهش حجم آب اضافی موجود در لجن، ب) لجن در حال خشک شدن در هوای آزاد و ج) لجن خشک شده برای انتقال به کوره تهیه بایوچار

شکل ۳. بایوچار تهیه‌شده از لجن فاضلاب کارخانه جوجه‌کشی

شبیه‌ساز باران

به‌منظور شبیه‌سازی باران از دو نازل ویجت ۸۰۱۰۰ با قطر روزنه ۴/۵ میلی‌متر و قابلیت جابه‌جایی روی ریلی با طول دو متر استفاده شد. برای کنترل فشار آب در پشت نازل‌ها یک فشارسنج (صفر - ۱۶۰ کیلوپاسکال) روی شلنگ انتقال آب نصب شده است. به‌منظور راه‌اندازی شبیه‌ساز و کنترل تداوم بارش، یک برد کنترلی با قابلیت برنامه‌نویسی و اجرای چندین برنامه بارشی با ویژگی‌های مختلف و به‌صورت خودکار و متوالی طراحی شد که با استفاده از یک صفحه کلید سرعت نوسان نازل‌ها، زاویه، زمان مکث نازل‌ها در طرفین قابل تنظیم است. برای انجام آزمایش‌ها در پژوهش حاضر و شرایط آزمایشگاهی از شدت بارندگی ۵۰ میلی‌متر بر ساعت استفاده شد. سپس با استفاده از شاقول مرکز صفحه آزمایش دقیقاً زیر نازل قرار گرفت و شبکه‌ای از ظروف روی صفحه آزمایش قرار گرفتند. فشار و فاصله نازل‌ها و زاویه نازل به‌ترتیب ۶۰ کیلوپاسکال و ۴۵ درجه و همچنین فاصله نازل‌ها ۷۰ سانتی‌متر برای مدت زمان ۱۰ دقیقه تنظیم شد. پس از آن با استفاده از فرمول ارتفاع بارش به سطح، شدت بارش در یک ساعت بر اساس واحد میلی‌متر بر ساعت محاسبه شد (رابطه ۱).

$$I = \frac{Q}{(A \times t)} \times ۳۰۰ \qquad (۱)$$

که در آن I شدت باران به میلی‌متر بر ساعت، Q ارتفاع آب جمع‌آوری شده در هر ظرف به میلی‌متر، A سطح مقطع ظرف به سانتی‌متر مربع و t زمان به دقیقه است.

انتخاب سطح رطوبت پیشین خاک

از آنجایی که رطوبت پیشین خاک در دقیقه‌های اولیه پس از شروع بارندگی بیشترین اثر مستقیم در مقاومت خاکدانه‌ها و فرایند تخریب و تغییر ویژگی‌های سطح خاک و نیز زمان تشکیل رواناب دارد (۸). لذا چهار سطح رطوبتی شامل سطوح هواخشک، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درصد با توجه به حداکثر و متوسط تعداد روزهای ممتد بدون بارندگی یا با بارندگی کمتر از یک میلی‌متر در طول سال، فصل‌های خشک و مرطوب خاک انتخاب شدند (۱۴). 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 غیر فرساینده به آرامی و به نحوی که روانابی ایجاد نشود، به خاک اضافه شد (۱۴).

مولفه‌های رواناب و هدررفت خاک و آزمون‌های آماری

پس از ثبت زمان شروع رواناب، به‌مدت ۱۰ دقیقه نمونه‌های رواناب و رسوب با فاصله زمانی دو دقیقه‌ای و با سه تکرار در ظرف‌های نمونه‌برداری جمع‌آوری شد (۲۷). پس از اتمام مدت بارندگی مقدار رواناب به تفکیک هر رطوبت پیشین خاک در داخل ظرف‌های نمونه‌برداری قرائت شد. نمونه‌های جمع‌آوری شده به‌مدت ۲۴ ساعت به حالت سکون قرار داده و بعد از عملیات تغلیظ، رسوب باقی‌مانده به‌مدت ۲۴ ساعت در داخل آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. در نهایت مقدار هدررفت خاک با استفاده از ترازو توزین شد (۶، ۱۴ و ۲۷).

نتایج و بحث

داده‌های مقادیر میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات زمان شروع، حجم و ضریب رواناب و نیز هدررفت خاک و غلظت رسوب در رطوبت‌های مختلف در قبل و بعد از استفاده از بایوچار به مقدار ۱/۶ تن بر هکتار به‌ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. جدول ۴ درصد حفاظتی زمان شروع، حجم و ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب بایوچار نسبت به تیمار شاهد در رطوبت‌های مختلف خاک را نشان می‌دهد. شکل ۴ مقایسه تأثیر تیمار حفاظتی بایوچار در مقایسه با شاهد بر مؤلفه‌های زمان شروع رواناب، حجم و ضریب رواناب و شکل ۵ نیز پارامترهای هدررفت خاک و غلظت رسوب در رطوبت‌های مختلف خاک را نشان می‌دهد. جدول ۵ نیز نتایج آزمون تجزیه واریانس در مقادیر مختلف بایوچار بر مؤلفه‌های زمان شروع رواناب، حجم و ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب را نشان می‌دهد.

جدول ۲. مقادیر میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات زمان شروع رواناب، حجم و ضریب رواناب در رطوبت مختلف استفاده شده با استفاده از بایوچار به مقدار ۱/۶ تن بر هکتار

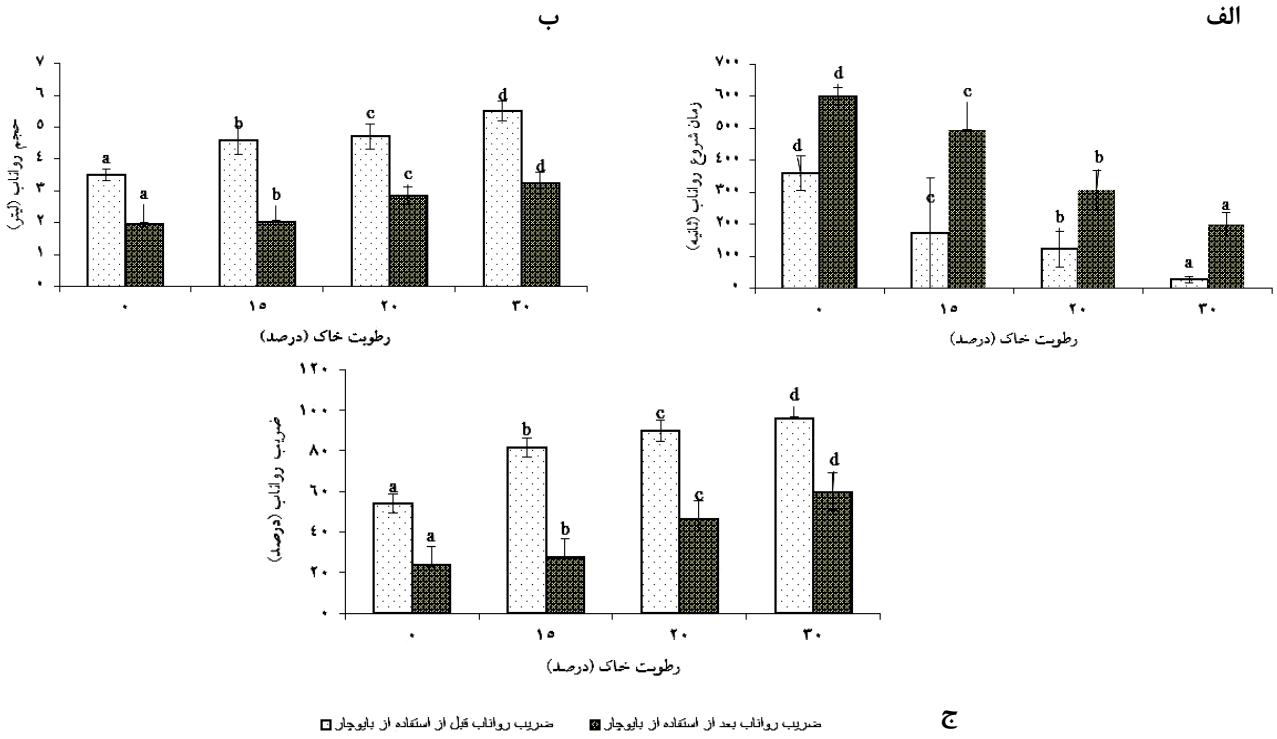
رطوبت (درصد)	تکرار	تیمار فاقد بایوچار			تیمار بعد از استفاده از بایوچار		
		زمان شروع رواناب (ثانیه)	حجم رواناب (لیتر)	ضریب رواناب (درصد)	زمان شروع رواناب (ثانیه)	حجم رواناب (لیتر)	ضریب رواناب (درصد)
هواخشک	میانگین	۳۶۰	۳/۵۱	۵۳/۹۲	۶۰۰/۳۳	۱/۹۵	۲۳/۸۸
	انحراف معیار	۵۲/۹۱	۰/۱۸	۴/۷۶	۲۹/۰۲	۰/۰۶	۰/۹۲
	ضریب تغییرات	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۰۳۱	۰/۰۴
۱۵	میانگین	۱۷۳/۳۳	۴/۵۹	۸۱/۵۸	۴۹۳/۳۳	۲/۰۴	۲۷/۴۲
	انحراف معیار	۴۸/۵۶	۰/۴۶	۴/۶۶	۲/۸۹	۰/۰۴	۰/۵۵
	ضریب تغییرات	۰/۲۸	۰/۱۰	۰/۰۶	۰/۰۰۵	۰/۰۲	۰/۰۲
۲۰	میانگین	۱۲۲/۶۷	۴/۷۱	۸۹/۹۲	۳۰۷/۳۳	۲/۸۵	۴۶/۳۵
	انحراف معیار	۵۵/۰۱	۰/۴۰	۵/۰۹	۶۲/۵۲	۰/۲۷	۵/۹۷
	ضریب تغییرات	۰/۴۵	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۲۰	۰/۰۹	۰/۱۳
۳۰	میانگین	۲۸	۵/۵۰	۹۶/۱۵	۲۰۰/۳۳	۳/۲۴	۵۹/۷۹
	انحراف معیار	۹/۶۴	۰/۳۱	۰/۵۲	۳۶/۴۷	۰/۳۴	۹/۱۳
	ضریب تغییرات	۰/۳۴	۰/۰۶	۰/۰۰۵	۰/۱۸۲	۰/۱۰	۰/۱۵

جدول ۳. مقادیر میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات هدررفت خاک و غلظت رسوب در رطوبت مختلف استفاده شده با استفاده از بایوچار به مقدار ۱/۶ تن بر هکتار

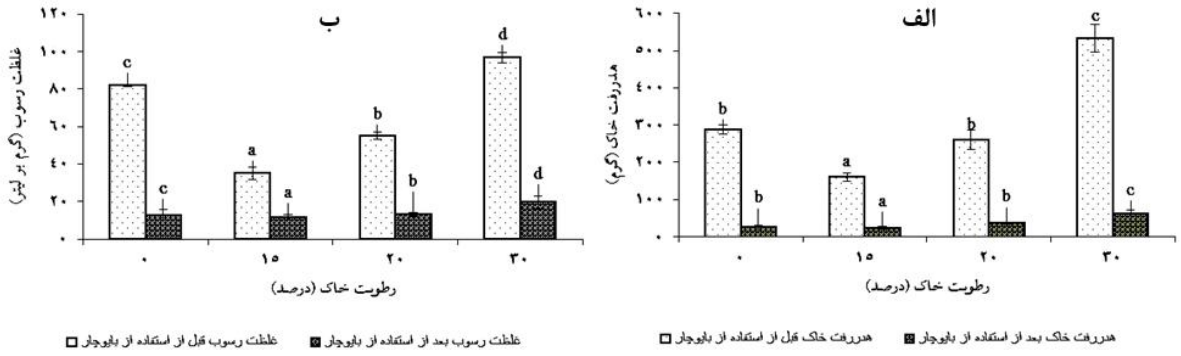
رطوبت (درصد)	تکرار	تیمار فاقد بایوچار		تیمار بعد از استفاده از بایوچار	
		هدررفت خاک (گرم)	غلظت رسوب (گرم بر لیتر)	هدررفت خاک (گرم)	غلظت رسوب (گرم بر لیتر)
هواخشک	میانگین	۲۸۷/۶۸	۸۱/۹۰	۲۵/۳۲	۱۲/۹۴
	انحراف معیار	۱۳/۲۰	۰/۷۲	۵/۷۰	۲/۶۰
	ضریب تغییرات	۰/۰۴	۰/۰۰۸	۰/۲۲	۰/۲۰
۱۵	میانگین	۱۶۰/۵۲	۳۵/۰۹	۲۴/۰۰	۱۱/۷۴
	انحراف معیار	۱۰/۵۱	۳/۳۰	۳/۳۴	۱/۳۷
	ضریب تغییرات	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۱۴	۰/۱۱
۲۰	میانگین	۲۵۹/۸۹	۵۵/۱۵	۳۷/۳۲	۱۳/۱۴
	انحراف معیار	۲۵/۷۰	۱/۹۳	۲/۹۶	۱/۲۰
	ضریب تغییرات	۰/۱۰	۰/۰۳۴	۰/۰۷	۰/۰۹۱
۳۰	میانگین	۵۳۳/۲۷	۹۶/۹۰	۶۳/۶۵	۱۹/۷۸
	انحراف معیار	۳۶/۶۴	۲/۸۴	۷/۴۶	۳/۲۰
	ضریب تغییرات	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۱۱	۰/۱۶

جدول ۴. درصد حفاظتی زمان شروع، حجم و ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب بایوچار با مقدار ۱/۶ تن بر هکتار در رطوبت‌های مختلف خاک

	زمان شروع رواناب	حجم رواناب	ضریب رواناب	هدررفت خاک	غلظت رسوب
هواخشک	۶۶/۷۶	۴۴/۴۹	۲۸/۰۴	۹۱/۱۹	۸۴/۱۹
۱۵	۱۸۴/۶۲	۵۵/۶۰	۶۶/۳۹	۸۵/۰۵	۶۶/۵۳
۲۰	۱۵۰/۵۴	۳۶/۴۷	۴۸/۴۵	۸۵/۶۲	۷۶/۱۷
۳۰	۶۱۵/۴۷	۴۱/۰۸	۳۷/۸۲	۸۸/۰۶	۷۹/۵۹



شکل ۴. مقایسه تأثیر تیمار حفاظتی بایوچار در مقایسه با تیمار شاهد بر مؤلفه‌های: الف) زمان شروع رواناب، ب) حجم رواناب و ج) ضریب رواناب در رطوبت‌های مختلف خاک. a، b، c و d: گروه‌بندی مولفه اثر رطوبت خاک بر پارامترهای مورد بررسی



شکل ۵. مقایسه تأثیر تیمار حفاظتی بایوچار در مقایسه با تیمار شاهد بر مؤلفه‌های: الف) هدررفت خاک و ب) غلظت رسوب در رطوبت‌های مختلف خاک. a، b، c و d: گروه‌بندی مولفه اثر رطوبت خاک بر پارامترهای مورد بررسی

جدول ۵. نتایج آزمون تجزیه واریانس در مقادیر مختلف بایوچار بر مؤلفه‌های زمان شروع رواناب، حجم و ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب

مؤلفه‌های مورد بررسی	منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	فراوانی	سطح معنی‌داری
زمان شروع رواناب	بین گروهی	۲۹۱۸۹۴/۰۰	۳	۹۷۲۹۸/۰۰	۶۳/۸۶	۰/۰۰۰
	درون‌گروهی	۱۲۱۸۸/۶۶	۸	۱۵۲۳/۵۸		
	کل	۳۰۴۰۸۲/۶۶	۱۱			
حجم رواناب	بین گروهی	۳/۵۵	۳	۱/۱۸	۲۴/۲۲	۰/۰۰۰
	درون‌گروهی	۰/۳۹۲	۸	۰/۰۴۹		
	کل	۳/۹۵	۱۱			
ضریب رواناب	بین گروهی	۲۵۴۶/۰۷	۳	۸۴۸/۶۹	۲۸/۲۴	۰/۰۰۱
	درون‌گروهی	۲۴۰/۳۷	۸	۳۰/۰۴		
	کل	۲۷۸۶/۴۴	۱۱			
هدررفت خاک	بین گروهی	۳۰۴۳/۵۸	۳	۱۰۱۴/۵۲	۳۷/۵۴	۰/۰۰۰
	درون‌گروهی	۲۱۶/۱۷	۸	۲۷/۰۲		
	کل	۳۲۵۹/۷۵	۱۱			
غلظت رسوب	بین گروهی	۱۱۸/۹۸	۳	۳۹/۶۶	۷/۷۸	۰/۰۰۰
	درون‌گروهی	۴۰/۷۷	۸	۵/۰۹		
	کل	۱۵۹/۷۵	۱۱			

نتایج ارائه شده در جدول ۲ نشان می‌دهد که مقادیر زمان شروع رواناب قبل از استفاده از بایوچار، در رطوبت‌های هواخشک، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درصد به‌ترتیب ۳۶۰/۰۰، ۱۷۳/۳۳، ۱۲۲/۶۷ و ۲۸/۰۰ ثانیه بود. این روند کاهش زمان شروع رواناب با افزایش رطوبت خاک در تیمار شاهد با نتایج خالدی درویشان و همکاران، مبنی بر رابطه معکوس و معنی‌دار رطوبت پیشین خاک با زمان شروع رواناب همخوانی داشت (۱۵). از سویی دیگر نتایج ارائه شده در جدول ۲ نشان می‌دهد که میانگین زمان شروع رواناب بعد از استفاده از بایوچار در رطوبت‌های مورد نظر به‌ترتیب ۶۰۰/۳۳، ۴۹۵/۰۰، ۳۰۷/۳۳ و ۲۰۰/۳۳ ثانیه بود. نتایج نشان داد که زمان شروع رواناب در تیمار بایوچار (با توجه به جدول ۴ و شکل ۴ (الف)) نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۶۶/۷۶، ۱۸۴/۶۲، ۱۵۰/۵۴ و ۶۱۵/۴۷ درصد افزایش یافته است. نتایج جدول ۵ نیز نشان داد که تأثیر بایوچار بر زمان شروع رواناب در رطوبت‌های مختلف خاک در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود. با توجه به نتایج می‌توان استناد کرد که بایوچار به‌دلیل فرایند خاکدانه‌سازی باعث افزایش نفوذ رواناب سطحی به داخل خاک شده (۱۲) و در نتیجه آن زمان شروع رواناب را به تأخیر انداخته است. نتایج حاضر با نتایج بریگز و همکاران مبنی بر اینکه بایوچار 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 داشت (۳).

مقادیر حجم رواناب قبل از استفاده از بایوچار در رطوبت‌های هواخشک، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درصد به‌ترتیب ۳/۵۱، ۴/۵۹، ۴/۷۱ و ۵/۵۰ لیتر و مقادیر ضریب رواناب نیز به‌ترتیب ۵۳/۰۲، ۸۱/۵۸، ۸۹/۹۲ و ۹۶/۱۵ درصد بود. این امر نشان می‌دهد که با افزایش سطوح رطوبتی مقادیر حجم رواناب و ضریب رواناب نیز افزایش

یافت که نتایج حاصل با نتایج خالدی درویشان و همکاران مبنی بر رابطه مستقیم و معنی‌دار رطوبت پیشین خاک با حجم رواناب و ضریب رواناب مطابقت داشت (۱۵). درحالی که نتایج حاصل با نتایج ورمانگ و همکاران که بیان کرده‌اند هرچه رطوبت خاک افزایش یابد مقدار رواناب تولیدی کاهش می‌یابد مطابقت نداشت (۳۳). همچنین میانگین حجم رواناب بعد از استفاده از بایوچار در رطوبت‌های هواخشک، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درصد خاک به‌ترتیب ۱/۹۵، ۲/۰۴، ۲/۸۵ و ۳/۲۴ لیتر بود که با توجه به جدول ۴ و نیز شکل ۴ (ب) نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب ۴۴/۴۹، ۵۵/۶۰، ۳۶/۴۷ و ۴۱/۰۸ درصد کاهش یافته است. نتایج جدول ۵ نیز حاکی از آن است که تاثیر بایوچار بر حجم رواناب در رطوبت‌های مختلف خاک در سطح ۹۹ درصد معنی دار است. نتایج بررسی حجم رواناب نشان می‌دهد که بایوچار باعث بهبود خواص هیدرولیکی خاک شده (۳۲)، همچنین کربن‌های فعال آن باعث اتصال ذرات ریز خاک، افزایش تخلخل خاک و افزایش نفوذ می‌شود (۲۷) در نتیجه باعث کاهش حجم رواناب شده است. نتایج حاصل با نتایج صادقی و همکاران مبنی بر تأثیر بایوچار بر کاهش رواناب همخوانی داشت (۲۷). بررسی نتایج ضریب رواناب نیز نشان داد که بعد از استفاده از بایوچار در رطوبت‌های مذکور مقادیر ضریب رواناب به‌ترتیب ۳۳/۸۸، ۲۷/۱۷، ۴۶/۳۵ و ۵۹/۷۹ درصد بود که با توجه به جدول ۴ و شکل ۴ (ج) نسبت به شاهد به‌ترتیب ۲۸/۰۴، ۶۶/۳۹، ۴۸/۴۵ و ۳۷/۸۲ درصد کاهش یافته است. بایوچار به‌علت سطح ویژه بسیار بالایی که دارد، باعث اتصال ذرات خاک به یکدیگر، افزایش خلل فرج خاک و افزایش نفوذ به داخل خاک می‌شود (۷ و ۳۴) که در نتیجه باعث افزایش زمان شروع رواناب و کاهش حجم رواناب می‌شود و در نهایت منجر به کاهش ضریب رواناب خواهد شد. از سویی دیگر نتایج جدول ۵ نشان داد که تأثیر بایوچار بر ضریب رواناب در رطوبت‌های مختلف خاک در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است. نتایج حاصل با مطالعات هرات و همکاران مبنی بر تأثیر بایوچار بر بهبود زهکشی خاک، هسو و همکاران مبنی بر تأثیر بایوچار بر بهبود ویژگی‌های فیزیکی و تخلخل خاک همخوانی داشت (۱۰ و ۱۱).

نتایج جدول ۳ نشان داد که مقادیر هدررفت خاک در تیمار فاقد بایوچار در رطوبت‌های هواخشک، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درصد به‌ترتیب ۲۸۷/۶۸، ۱۶۰/۵۲، ۲۵۹/۸۹ و ۵۳۳/۳۷ گرم و غلظت رسوب ۸۱/۹۰، ۳۵/۰۹، ۵۵/۱۵ و ۹۶/۹۰ گرم بر لیتر بود که این روند نشان می‌دهد که بیشترین هدررفت خاک و غلظت رسوب مربوط به رطوبت ۳۰ درصد است که این نتایج با نتایج خالدی درویشان و همکاران مبنی بر افزایش هدررفت خاک با افزایش سطح رطوبتی هم‌سو بود (۱۴). اما با نتایج منگیستو و همکاران مبنی بر اینکه هرچه رطوبت خاک افزایش یابد مقدار غلظت رسوب کاهش می‌یابد، مغایرت داشت (۲۲). نتایج ارائه شده در جدول ۳ نشان می‌دهد که میانگین هدررفت خاک بعد از استفاده از بایوچار در رطوبت‌های استفاده شده به‌ترتیب ۲۵/۳۲، ۲۴/۰۰، ۳۷/۲۲ و ۶۶/۶۵ گرم بود بود که با توجه به جدول ۴ و شکل ۵ (الف) نسبت به تیمارهای شاهد به‌ترتیب ۹۱/۱۹، ۸۵/۰۵، ۸۵/۶۳ و ۸۸/۰۶ درصد کاهش یافته است. نتایج جدول ۵ نیز حاکی از آن است که تأثیر بایوچار بر هدررفت خاک و غلظت رسوب در رطوبت‌های مختلف خاک در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار است. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان بیان کرد که بایوچار به‌علت مقدار بالای کربن باعث اتصال ذرات خاک و مانع از جداشدن خاکدانه‌های خاک می‌شود (۲۷) و درنتیجه هدررفت خاک را کاهش می‌دهد که با نتایج صادقی و همکاران مطابقت داشت (۲۷). همچنین میانگین غلظت بعد از استفاده از بایوچار در رطوبت‌های بیان شده به‌ترتیب ۱۲/۹۴، ۱۱/۷۴، ۱۳/۱۴و ۱۹/۷۸ گرم بر لیتر بود که با توجه به جدول ۴ نسبت به شاهد به‌ترتیب ۸۴/۱۹۱۹، ۶۶/۵۳، ۷۶/۱۷ و ۷۹/۵۹ درصد کاهش یافته است. نتایج حاصل از کاهش در مقادیر غلظت رسوب بعد از کاربرد بایوچار با نتایج صادقی و همکاران همخوانی داشت (۲۷). بررسی نتایج بعد از از کاربرد بایوچار در سطوح مختلف رطوبتی نشان داد که اثر رطوبت خاک بر مؤلفه‌های زمان شروع، حجم و ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بود. تفکیک و همگن‌بندی با استفاده از آزمون دانکن در سطوح مختلف رطوبتی بعد از کاربرد بایوچار نشان

داد که برای مؤلفه زمان شروع رواناب، سطوح رطوبتی ۳۰، ۲۰، ۱۵ و هواخشک به‌ترتیب در زیرگروه‌های یک، دو، سه و چهار قرار داشتند. این نتیجه نشان داد که بیشترین زمان شروع رواناب مربوط به زیرگروه چهار و سطح رطوبتی هواخشک است و کمترین زمان شروع رواناب مربوط به زیرگروه یک و رطوبت ۳۰ درصد بود که نشان‌دهنده روند کاهشی زمان شروع رواناب با افزایش سطوح رطوبتی خاک است. بنابراین با افزایش سطح رطوبتی زمان شروع رواناب کاهش یافت. نتایج حاصل با نتایج آئرسولد و همکاران، خالدی درویشان و همکاران، هاوکه و همکاران و سیگر، مبنی بر رابطه معکوس و معنی‌دار رطوبت پیشین خاک با زمان شروع همخوانی داشت (۱، ۸، ۱۴ و ۲۸). تفکیک و همگن‌بندی حجم رواناب و ضریب رواناب در سطوح رطوبتی استفاده شده نشان داد که سطوح رطوبتی هواخشک، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ به‌ترتیب در زیرگروه‌های یک، دو، سه و چهار قرار داشتند که این ترتیب تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف رطوبتی بر حجم رواناب و ضریب رواناب را تأیید کرد. به عبارتی کمترین حجم رواناب و ضریب رواناب مربوط به زیرگروه یک (رطوبت هواخشک) و بیشترین حجم رواناب و ضریب رواناب مربوط به زیرگروه چهار (رطوبت ۳۰ درصد) بود که نشان‌دهنده روند افزایشی حجم رواناب با افزایش سطح رطوبتی بود و هرچه سطح رطوبتی افزایش یافت، حجم رواناب و ضریب رواناب هم افزایش یافته است که با نتایج آئرسوالد و همکاران، خالدی درویشان و همکاران و لی و همکاران مبنی بر رابطه مستقیم و معنی‌دار رطوبت پیشین خاک بر حجم رواناب و ضریب رواناب هم‌سو بود (۱، ۱۴ و ۱۸). تفکیک و همگن‌بندی سطوح رطوبتی هواخشک، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درصد بر هدررفت خاک با استفاده از آزمون دانکن نشان داد که سطح رطوبتی ۱۵ درصد در زیرگروه یک قرار گرفت و نشان داد که کمترین هدررفت خاک مربوط به رطوبت ۱۵ درصد بود و زیرگروه دو شامل رطوبت هواخشک و ۲۰ درصد و زیرگروه سه که بیشترین هدررفت خاک را دارا بود مربوط به رطوبت ۳۰ درصد بود. این امر نشان می‌دهد که با افزایش رطوبت خاک میزان هدررفت خاک نیز افزایش یافته است (۲۳). اما دلیل اینکه رطوبت هواخشک با رطوبت ۲۰ درصد در یک زیرگروه قرار داشت را می‌توانند به دلیل فرایند تخریب و شکسته شدن خاکدانه‌های سریع‌تر آن در رطوبت ۱۵ درصد باشد (۱۴). تفکیک و همگن‌بندی سطوح رطوبتی هواخشک، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درصد بر غلظت رسوب نشان داد که رطوبت‌های ۱۵، ۲۰، هواخشک و ۳۰ به‌ترتیب در زیرگروه‌های یک، دو، سه و چهار قرار گرفتند. این موضوع تأثیر معنی‌دار سطوح رطوبتی خاک را بر غلظت رسوب تأیید کرد. کمترین غلظت رسوب مربوط رطوبت ۱۵ درصد و بیش‌ترین غلظت رسوب مربوط به رطوبت ۳۰ درصد بود. دلیل اینکه رطوبت هواخشک در زیرگروه سه قرار گرفته و میزان غلظت رسوب آن از سطح رطوبتی ۲۰ درصد بیشتر شد، می‌توان به سله بستن سطح خاک در این رطوبت و در نتیجه افزایش مقدار غلظت رسوب به‌دلیل افزایش مقدار رواناب و در نتیجه کاهش مقدار نفوذ نسبت داد.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر بایوچار به مقدار ۱/۶ تن بر هکتار در رطوبت‌های هواخشک، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درصد بر تغییرات مؤلفه‌های زمان شروع رواناب، حجم و ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب در شرایط آزمایشگاهی و در مقیاس کرت‌های آزمایشی انجام شد. امروزه با توجه به افزایش روز افزون لجن صنعتی تولیدی از کارخانه‌ها که منجر به آلودگی محیط زیست می‌شود، تبدیل این ماده به یک نوع حفاظت‌کننده خاک نه تنها منجر به کاهش رواناب و هدررفت خاک می‌شود بلکه باعث رفع مشکلات محیط زیستی نیز می‌شود. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که نتایج پژوهش حاضر حاکی از آن بود که قبل از استفاده از بایوچار با افزایش سطوح رطوبتی از هواخشک تا رطوبت خاک ۳۰ درصد، مقادیر زمان شروع رواناب کاهش و ضریب و حجم رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب افزایش یافت. اما بعد از استفاده از بایوچار در رطوبت‌های هواخشک، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درصد مقادیر

زمان شروع رواناب در مقایسه با قبل از استفاده از بایوچار به‌طور چشم‌گیری افزایش یافت و مقادیر حجم و ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب در مقایسه با قبل از استفاده از بایوچار در رطوبت‌های مذکور به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بنابراین استفاده از بایوچار تهیه شده از لجن کارخانه جوجه‌کشی علاوه بر کاهش آلاینده‌های محیط زیستی، راهکاری مفید، مطمئن و مقرون به‌صرفه برای افزایش زمان شروع رواناب و کاهش حجم و ضریب رواناب، هدررفت خاک و غلظت رسوب است.

منابع مورد استفاده

1. Auerswald, K. 1993. Influence of initial moisture and time since tillage on surface structure breakdown and erosion of a loessial soil. *Catena* 24: 93-101.
2. 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.). *European Journal of Agronomy* 53: 38-44.
3. Briggs, C. M., J. Breiner, R. and C. Graham. 2005. Contributions of Pinus Ponderosa charcoal to soil chemical and physical properties. In: Proceeding of the ASACSSA-SSSA International Annual Meetings. Salt Lake City, USA.
4. Cammeraat, E. L. H. 2004. Scale dependent thresholds in hydrological and erosion response of a semi-arid catchment in southeast spain.agriculture. *Ecosystems and Environment* 104: 317-332.
5. Fliebach, A., R. Martens and H. H. Reber. 1994. Soil microbial biomass and microbial activity in soils treated with heavy metal contaminated sewage sludge. *Soil Biologr and Biochemistry* 26: 1201–1205.
6. 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.
7. 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.
8. Hawke, R. M., A. G. Price and R. B. Bryan. 2006. The effect of initial soil water content and rainfall intensity on near-surface soil hydrologic conductivity: a laboratory investigation. *Catena* 65: 237-246.
9. Haynes, R. J. and R. Naidu. 1998. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. *Nutrient Cycle in Agroecosystems* 51: 123–137.
10. 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.
11. Hseu, Z., Sh. 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 p.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. Khaledi Darvishan, A., K. Banasik, S. H. R. Sadeghi, L. Gholami and L. Hejduk. 2015. Effects of rain intensity and initial soil moisture on hydrological responses in laboratory conditions. *International Agrophysics* 29: 165-173.
16. 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 Midwestern agricultural soil. *Geoderma* 158: 443-449.
17. 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 .
18. Li, J., F. Zhang, Sh. Wang and M. Yang. 2015. Combined influences of wheat-seedling cover and antecedent soil moisture on sheet erosion in small-flumes. *Soil & Tillage Research* 151: 1–8.
19. Luk, S. H. 1985. Effect of antecedent soil moisture content on rainwash erosion. *Catena* 12: 129-139.
20. Luk, S. H. and H. Hamilton. 1986. Experimental effects of antecedent moisture and soil strength on rainwash erosion of two luvisols, ontario. *Geoderma* 37: 29-43.
21. Madejon, E., R. Lopez, J. M. Murillo and F. Cabrera. 2001. Agricultural use of three (sugar-beet) vinasse composts: effect on crops and chemical properties of a Cambisol soil in the Guadalquivir river valley (SW Spain). *Agriculture & Ecosystems Environment* 84: 53–65.
22. Mengistu, B., M. Defersha and M. Melesse. 2012. Effect of rainfall intensity, slope and antecedent moisture content

on sediment concentration and sediment enrichment ratio. *Catena* 90: 47–52.
23. Pappas, E. A., D. R.Smith, C. Huang, W. D. Shuster and J. V. Bonta. 2008. Impervious surface impacts to runoff and sediment discharge under laboratory rainfall simulation. *Catena* 72: 146–152.
24. Peter, P. Ch. 2018. Biochar and conservation agriculture nexus: synergy and research gaps for enhanced sustainable productivity in degraded soils-review. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 49(3): 389-403.
25. 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.
26. Sachs, E. and P. Sarah. 2017. Combined effect of rain temperature and antecedent soil moisture on runoff and erosion on loess. *Catena* 158: 213–218 .
27. 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.
28. Seeger, M. 2007. Uncertainty of factors determining runoff and erosion processes as quantified by rainfall simulations. *Catena* 71: 56-67.
29. Tejada, M. and J. L. Gonzalez. 2003. Effects of the application of a compost originating from crushed cotton gin residues on wheat yield under dryland conditions. *European Journal Agronomy* 19: 357– 368.
30. Trinsoutrot, J., B. Nicolardot, E. Justes and S. Recous. 2000. Decomposition in the field of residues of oilseed rape grown at two levels of nitrogen fertilization. Effects on the dynamics of soil mineral nitrogen between successive crops. *Nutrient Cycle in Agroecosystems* 56: 125–137.
31. Truman, C. C., T. L. Potter, R. C. Nuti, D. H. Franklin and D. D. Bosch. 2011. Antecedent water content effects on runoff and sediment yields from two Coastal Plain Ultisols. *Agricultural Water Management* 198: 1196-1189.
32. Uzoma, K. C., M. Inoue, H. Andry, A. Zahoor and E. Nishihara. 2011. Influence of biochar application on sandy soil hydraulic properties and nutrient retention. *Food, Agriculture and Environment* 9:1137-1143.
33. Vermang, J., V. Demeyer, W. M. Cornelis and D. Gabriels. 2009. Effect of antecedent soil-water content on aggregate stability and erodibility of a loess soil. *Soil Science Society of America Journal* 73: 718-726.
34. Zhang, F., Yang, M., Zhang, J. and Xie, Y. 2019. Impacts of biochar application rates and particle sizes on runoff and soil loss in small cultivated loess plots under simulated rainfall. *Science of the Total Environment* 1(649): 1403-1413.

Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)
Vol. 23, No. 3, Fall 2019, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Protective Role of Biochar in Different Soil Moisture for Prevent Soil Loss in Laboratory Conditions

N. Karimi, L. Gholami* and A. Kavian[1]

(Received: February 27-2018; Accepted: November 17-2018)

Abstract

The using of soil conditioners to water and soil conservation is essential and also, the effect study of soil moisture on the soil conservation process and its role on changing runoff, soil erosion and sediment yield is necessary for understanding and simulating the hydrologic response of soil. Therefore, the present study was carried with the aim of investigating the effect of biochar with amount of 1.6 t ha-1 on the components of time to runoff, runoff volume, runoff coefficient, soil loss and sediment concentration in different soil moisture including air-dried, 15, 20 and 30 percent with three replications in plot scale. The results showed that after application of biochar conditioner, time to runoff compared with control treatment at soil moistures of air-dried of 15, 20 and 30 percent happened later 66.66, 186.6, 150.5, and 475.47 respectively. The results also showed that the runoff volume at soil moistures of air-dried of 15, 20 and 30 percent decreased 44.49, 55.65, 36.47 and 41.08 percent, respectively, and the runoff coefficient reduced 55.71, 66.39, 48.44 and 37.82 percent, respectively. The adding biochar caused the decreasing soil loss with rates of 91.19, 85.055, 85.63 and 88.066 percent, respectively, and the sediment concentration with amounts of 84.19, 66.53, 76.57 and 79.59 percent, respectively. Also the results showed that the changes of soil moisture had the significant effect on changing the time to runoff, runoff volume, and soil loss and sediment concentration in level of 99 percent.

Keywords: Initial Soil Moisture, Laboratory Plot, Soil Erosion, Soil Organic Conditioner

1. Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
*: Corresponding Author, Email: l.gholami@sanru.ac.ir