

اثرات بارندگی پیشین بر فرسایش پاشمانی در یک خاک مارنی تحت شبیه‌ساز باران

علی‌رضا واعظی^{۱*}، شکوه کریمی^۲، مجید فرومدی^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۱۴)

چکیده

فرسایش پاشمانی از اشکال اصلی و مهم فرسایش آبی است. پاشمان ذرات خاک می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلف از جمله باران پیشین قرار بگیرد. تاکنون پژوهشی در زمینه علل تأثیر باران پیشین بر مقدار فرسایش پاشمانی در اثر باران بعدی انجام نشده است. این پژوهش به منظور بررسی اثر باران پیشین بر پاشمان ذرات خاک انجام گرفت. برای این منظور خاکدانه‌های با قطر ۶ تا ۸ میلی‌متری از یک خاک مارنی تحت آیش در غرب زنجان در سال ۱۳۹۵ جمع‌آوری شد. خاکدانه‌ها در ۲۴ جعبه پلاستیکی به ابعاد ۴۰ × ۳۰ سانتی‌متر و عمق ۱۰ سانتی‌متر برای بررسی اثر هشت تداوم باران در سه تکرار ریخته شدند. باران شبیه‌سازی شده با تداوم صفر، ۷، ۱۴، ۲۱، ۲۸، ۳۵، ۴۲ و ۴۹ دقیقه به نمونه‌های خاک اعمال گردید. تخریب خاکدانه و محتوای رطوبتی خاک در نمونه‌های خاک پس از یک روز اندازه‌گیری شدند. پس از یک روز، جعبه‌های خاک تحت باران یکسان با شدت ثابت ۴۰ میلی‌متر بر ساعت به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفتند. فرسایش پاشمانی با اندازه‌گیری جرم ذرات پاشمان یافته در واحد سطح جعبه به دست آمد. بر اساس نتایج، تداوم باران پیشین اثری معنی‌دار بر تخریب خاکدانه‌ها و افزایش محتوای رطوبتی خاک داشت. بیش‌ترین شدت تخریب خاکدانه (۲۱/۷۲ درصد) و بالاترین محتوای رطوبتی خاک (۲۹/۰۸ درصد) در طولانی‌ترین تداوم باران (۴۹ دقیقه) حاصل شد. میزان فرسایش پاشمانی در رخداد باران بعدی تحت تأثیر دو متغیر تخریب خاکدانه ($P < 0/05$) و محتوای رطوبتی خاک ($P < 0/01$) ناشی از باران پیشین قرار گرفتند. تجزیه رگرسیونی چندگانه خطی نشان داد که از بین این دو متغیر، رطوبت پیشین خاک مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده تغییرات فرسایش پاشمانی در رخداد باران بعدی می‌باشد ($P < 0/01$ و $R^2 = 0/83$). مقدار فرسایش پاشمانی در هر رخداد باران را می‌توان با اطمینان با استفاده از تعیین رطوبت پیشین خاک برآورد کرد.

واژه‌های کلیدی: پاشمان ذرات، تخریب خاکدانه، تداوم بارندگی، محتوای رطوبتی خاک

واعظی ع.ر.، کریمی ش.، فرومدی م. ۱۳۹۸. اثرات بارندگی پیشین بر فرسایش پاشمانی در یک خاک مارنی تحت شبیه‌ساز باران. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۷ شماره ۱. ص: ۸۳-۹۴.

۱- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان (مکاتبه کننده)

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

۳- دانشجوی دکتری، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

* پست الکترونیک: vaezi.alireza@gmail.com

مقدمه

(Nearing *et al.*, 1989) تأثیر رطوبت پیشین خاک بر مقدار فرسایش خاک مورد توجه دقیق قرار نگرفته است. در پژوهش‌های مختلف نتایج متفاوتی درباره چگونگی تأثیر محتوای رطوبتی پیشین خاک بر فرسایش خاک گزارش شده است. لوک (Luk, 1985) بیان کرد که با افزایش مقدار رطوبت پیشین خاک از نزدیک نقطه پژمردگی به رطوبت اشباع، هدررفت خاک از کرتی با مساحت ۰/۸۵ متر مربع پنج برابر افزایش یافت. کمپر و همکاران (Kemper *et al.*, 1978) بیان کردند که پیامد افزایش رطوبت پیشین خاک، کاهش چسبندگی ذرات خاک است. مورگان (Morgan, 2005) بیان کرد که رطوبت خاک قبل از هر رخداد بارندگی بر فرسایش‌پذیری خاک تأثیر دارد. اسکندری و چرخابی (Eskandari & Charkhabi, 2005) عقیده دارند که رطوبت اولیه خاک نقش مؤثری در میزان تخریب خاکدانه‌ها دارد. آن‌ها بیان داشتند زمانی که باران بر روی خاک خشک می‌بارد و فرصتی برای خارج شدن هوای به دام افتاده در خاکدانه‌ها نیست، فشار ناشی از پدیده حبس هوا تأثیر زیادی بر متلاشی شدن خاکدانه‌ها و کاهش اندازه آن‌ها دارد.

در آزمایشی روز-سینوگا و رومرو دیاز (Ruiz-Sinoga & Romero Diaz, 2010) با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران به بررسی میزان تخریب خاکدانه‌ها پرداختند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش مقدار رطوبت خاک، قدرت قطرات باران برای تخریب خاکدانه افزایش می‌یابد. سلطانی گردفرامری و همکاران (Soltani *et al.*, 2014) در پژوهش خود دریافتند که با تداوم بارندگی، میزان پاشمان در شدت‌های مختلف به دنبال تخریب خاکدانه‌ها افزایش یافت به گونه‌ای که در شدت ۱۲۰ میلی‌متر بر ساعت و زمان ۳۰ دقیقه بیش‌ترین میزان پاشمان مشاهده شد. ودیویرا و همکاران (Wuddivira *et al.*, 2009) در پژوهشی با بررسی تأثیر متقابل رس و ماده آلی بر پایداری خاکدانه‌ها در برابر پاشمان در تیمارهای رطوبتی با استفاده از باران شبیه‌سازی شده نشان دادند که مقاومت خاکدانه‌ها در برابر قطرات باران دارای رابطه معنی‌داری با محتوای رس و ماده آلی در نمونه‌های خاک داشت. یوسفی و همکاران (Yusefi *et al.*, 2015) نشان دادند که با افزایش مدت زمان بارش، میزان پاشمان و تخریب

فرسایش پاشمانی یا بارانی^۱ از اشکال اصلی و مهم فرسایش آبی است که بستر را برای ایجاد سایر اشکال فرسایش آبی فراهم می‌کند. بسیاری از دانشمندان و متخصصین خاک معتقد هستند درک درست از فرسایش ناشی از قطرات باران به عصر مبارزات بی‌حاصل با فرسایش خاک پایان خواهد داد (Morgan, 2005). میزان فرسایش در هر رخداد بارندگی تحت تأثیر شرایط خاک سطحی قرار دارد. محتوای رطوبتی خاک و وضعیت خاکدانه‌ها (اندازه و پایداری) از عوامل مهم تعیین‌کننده میزان فرسایش در هر رخداد بارندگی هستند. تغییرات این دو عامل، عمدتاً تحت تأثیر رخداد بارندگی پیشین قرار دارد. ویژگی‌های باران پیشین به‌ویژه از نظر شدت و مدت بر تخریب خاکدانه و محتوای رطوبتی خاک مؤثر هستند. یکی از مهم‌ترین اثرات برخورد قطرات باران بر سطح خاک، تخریب خاکدانه‌ها می‌باشد. قطرات باران پس از برخورد با خاک خشک، قسمتی از خاکدانه‌ها و کلوخه‌های خاک را تخریب کرده و خود جذب خاک می‌گردند. برخورد قطرات باران علاوه بر شکستن خاکدانه‌ها، باعث پراکندگی رس‌ها و به دنبال آن تشکیل سله می‌گردد (Mengistu *et al.*, 2012). بررسی‌ها نشان می‌دهد که قطرات باران پس از برخورد با سطح خاک به دلیل ضربه مکانیکی خود باعث تخریب خاکدانه، ایجاد سله، کاهش نفوذپذیری خاک و در نتیجه افزایش فرسایش خاک می‌شوند (Valettea *et al.*, 2006).

رطوبت پیشین خاک^۲ تحت تأثیر بارندگی پیشین و سایر شرایط آب و هوایی مانند درجه حرارت و باد قرار دارد و نقش مهمی در میزان تخریب خاکدانه‌ها (Loch & Pocknee, 1995) و در نتیجه فرسایش خاک دارد. ویشمایر و اسمیت (Wischmeier & Smith, 1978) با وجود آن‌که بیان کردند که رطوبت پیشین تأثیر معنی‌داری بر مقدار فرسایش خاک دارد، اثر آن را در معادله جهانی فرسایش خاک^۳ (USLE) مستقیماً اعمال نکردند. در سایر مدل‌های برآورد فرسایش نیز، از جمله مدل پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی^۴ (WEPP)

1- Splash or rainfall erosion

2- Antecedent soil moisture

3- Universal Soil Loss Equation

4- Water Erosion Prediction Project

زمینه را برای تشدید فرسایش در رخدادهای بارندگی بعدی نیز فراهم می‌آورد. از این رو ویژگی‌های باران پیشین عاملی مهم در پیش‌بینی میزان فرسایش خاک در رخدادهای بارندگی آتی می‌باشد. بررسی پژوهش‌ها نشان می‌دهد که اگرچه پژوهش‌هایی در مورد نقش رطوبت پیشین خاک بر فرسایش آبی انجام گرفته است، لیکن تأثیر بارندگی پیشین بر فرسایش آبی مورد تحقیق دقیق قرار نگرفته است. در این ارتباط تاکنون پژوهشی در خاک‌های مازنی حساس به فرسایش آبی انجام نگرفته است. به نظر می‌رسد میزان فرسایش در این سازندها، عمدتاً تحت تأثیر خصوصیات خاک سطحی قرار دارد. بارندگی پیشین به‌ویژه در فصول پرباران (اوایل بهار و اواسط پاییز)، عاملی مهم در تغییر ویژگی‌های خاک سطحی می‌باشد. با توجه به حساسیت خاک‌های مازنی به فرآیندهای فرسایش آبی (Vaezi et al., 2011) و اهمیت باران پیشین در میزان فرسایش خاک در رخدادهای بعدی، این تحقیق به منظور بررسی اثر تداوم رخدادهای بارندگی پیشین بر میزان تخریب خاکدانه و فرسایش پاشمانی در خاک مازنی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و نمونه‌برداری خاک

در این پژوهش خاکی مازنی با کاربری کشاورزی تحت آیش از مناطق تحت فرسایش شدید در ۵۰ کیلومتری مسیر زنجان به سمت میانه در پیرامون روستای ایده‌لو شناسایی گردید. این منطقه در ارتفاع ۱۳۲۹ متری از سطح دریا با طول جغرافیایی $35^{\circ} 5' 48'' E$ و عرض جغرافیایی $39^{\circ} 39' 36'' N$ قرار دارد. میانگین بارندگی سالانه ۳۱۵ میلی‌متر و اقلیم منطقه به روش دمارتن، نیمه‌خشک می‌باشد. از نظر زمین‌شناسی این منطقه بر روی رسوبات کواترنری واقع شده است (Abdinezhad et al., 2013). سازندهای مازنی، گستره وسیعی از منطقه شمالی زنجان رود را در بر گرفته‌اند. خاک منطقه به‌شدت تحت تأثیر فرسایش پاشمانی است و سه‌لکه^۲ که از پیامدهای این نوع فرسایش می‌باشد، سرتاسر سطح آن را در بر گرفته است (شکل ۱). در بسیاری از زمین‌های شیب‌دار فرسایش شیبی و خندقی نیز به چشم می‌خورد. این منطقه یکی از منابع مهم تولید رسوب در

خاکدانه‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($P < 0.01$). همچنین مقدار فرسایش پاشمانی در دو نوع کاربری کشاورزی و جنگل تفاوت معنی‌داری داشتند ($P < 0.01$). واعظی و حسن‌زاده (Vaezi & Hasanzadeh, 2016) در پژوهشی به بررسی هدررفت خاک در رخدادهای پیاپی باران پرداختند. نتایج نشان داد که حدود ۸۴ درصد از تغییرات هدررفت خاک طی رخدادهای باران بر اساس رطوبت پیشین خاک قابل بیان بود. یافته‌های ژو و وو (Zhou & Wu, 2008) نیز در حوزه‌های آبخیز شمال چین نشان داد که با افزایش رخدادهای بارندگی، غلظت رسوب افزایش یافت و میزان ذرات انتقال‌یافته نیز بیش‌تر شد. آن‌ها رطوبت اولیه خاک را عاملی مهم در این موضوع دانستند. نتایج بررسی‌های بایوا و همکاران (Baihua et al., 2010) نشان داد که رخدادهای بارندگی عاملی مهم در تولید رواناب و رسوب بوده و با افزایش رواناب طی پنج رخداد بارندگی، رسوب نیز افزایش پیدا کرد.

مارن‌ها^۱ به دلیل دارا بودن ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاص، در اغلب مناطق خشک و نیمه‌خشک از پوشش گیاهی بسیار فقیری برخوردار بوده و استقرار پوشش گیاهی در آن‌ها با محدودیت‌های متعددی همراه است. این سازندها در مقایسه با سایر سازندهای زمین‌شناسی دارای میزان فرسایش زیادی می‌باشند (Bagherkalat et al., 2007). در خاک‌های مازنی سرعت نفوذ آب به خاک کم، زمان شروع و ضریب آبدوی و نیز میزان فرسایش بالا می‌باشد (Hamidi & Nahrani & Vaezi, 2013). با توجه به ضعف پوشش گیاهی و ناپایداری ساختمان خاک در سازندهای مازنی، نقش فرسایش بارانی یا پاشمانی در تخریب خاک سطحی و حساس نمودن آن به فرآیندهای فرسایشی حائز اهمیت می‌باشد. سازندهای مازنی در اکثر نقاط ایران از جمله استان‌های خوزستان، ایلام، لرستان، کرمانشاه و زنجان قابل مشاهده می‌باشند (Feiznia et al., 2007). بنابراین مطالعه و بررسی عوامل مؤثر بر فرسایش خاک در مارن‌ها حائز اهمیت می‌باشد.

افزایش شدت و مدت بارندگی در هر رخداد منجر به تخریب شدید ساختمان خاک و بالا رفتن محتوای رطوبتی خاک در آن رخداد می‌شود. وقوع این شرایط

(Morgan, 1981) برای بررسی اثر هشت تداوم باران در سه تکرار تهیه شدند. قبل از قرار دادن خاکدانه‌ها در جعبه‌ها، از یک فیلتر شنی با قطر ۴-۲ میلی‌متر به ضخامت حدود دو سانتی‌متر برای زهکشی بهتر آب نفوذیافته باران استفاده شد. مقداری خاک عبور داده شده از الک دو میلی‌متر نیز برای انجام آزمایش‌های معمول فیزیکی و شیمیایی تهیه گردید و به آزمایشگاه منتقل شد.



شکل ۱- تشکیل سله در خاک مارنی متأثر از فرسایش پاشمانی
Figure 1. Crust formation in the marl soil affected by splash erosion

بر ساعت و قطر قطره ۲/۵ میلی‌متر در هشت تداوم زمانی مختلف شامل $T_1=0$ ، $T_2=7$ ، $T_3=14$ ، $T_4=21$ ، $T_5=28$ ، $T_6=35$ ، $T_7=42$ و $T_8=49$ دقیقه به جعبه‌های حاوی خاکدانه‌ها اعمال شد. تداوم باران صفر به‌منزله تیمار شاهد بود که در آن هیچ بارانی به نمونه خاک اعمال نشد. سپس جعبه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در محیطی بسته قرار داده شدند تا توزیع رطوبتی در توده خاک درون جعبه‌ها یکنواخت گردد. با ایجاد باران‌های مذکور به جعبه‌ها، تغییرات اندازه خاکدانه و نیز رطوبت خاک پس از ۲۴ ساعت مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. تغییرات اندازه خاکدانه با مقایسه میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها پیش و پس از باران محاسبه شد (Vaezi et al., 2011). به‌منظور اندازه‌گیری میزان تخریب خاکدانه‌ها، ابتدا نمونه‌ای از خاک جعبه‌ها با استفاده از سیلندر فلزی با قطر ۶ سانتی‌متر و ارتفاع ۸ سانتی‌متر برداشت شد. جای خالی نمونه‌های برداشت‌شده، با

حوزه آبخیز سفیدرود می‌باشد (Vaezi & Gharedaghi, 2013).

نمونه‌های خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری برداشت و با الک‌های ۶ و ۸ میلی‌متری غربال شدند. در نمونه خاک گذرانده از الک، ذرات اولیه (سنگریزه) به‌صورت دستی برداشت شدند و تنها خاکدانه‌های با قطر ۶ تا ۸ میلی‌متر برای انجام آزمایش‌های فرسایش مورد نظر قرار گرفتند. نمونه‌های خاکدانه در ۲۴ جعبه پلاستیکی به ابعاد ۴۰×۳۰ سانتی‌متر و عمق ۱۰ سانتی‌متر

اعمال باران پیشین

از دستگاه شبیه‌ساز باران جهت اعمال باران پیشین به نمونه‌های خاک استفاده شد. این روش به‌دلیل شبیه بودن به آنچه در طبیعت رخ می‌دهد، مناسب‌ترین روش برای اعمال باران پیشین تشخیص داده شد. دستگاه شبیه‌ساز باران مورد استفاده در این پژوهش از یک صفحه بارش به ابعاد ۱ متر در ۱/۲ متر مشتمل بر ۵۰۰ قطعه نازل تشکیل شده که در ارتفاع ۲۸۰ سانتی‌متری از سطح زمین قرار گرفته است. این دستگاه توانایی تولید قطراتی با قطر حدود ۳ میلی‌متر با شدت‌های متغیر (از ۴۰ تا ۱۲۰ میلی‌متر بر ساعت) را داراست. آب تحت فشار ثابت از داخل تانکر آب به صفحه بارش وارد شده و به واسطه نازل‌ها به‌صورت قطراتی در آمده و به‌صورت بارانی مصنوعی به‌طور یکنواخت بر سطح خاک تحت آزمایش برخورد می‌نماید (Vaezi & Vatani, 2014). برای این کار بارانی با شدت ثابت ۴۰ میلی‌متر

۱۵ دقیقه قرار گرفتند. این مدت بر مبنای پیش آزمایش روی نمونه خاکدانه‌ای انجام گرفت که ۲۴ ساعت پیش تحت بارانی با تداوم ۴۹ دقیقه قرار گرفته بود. در این شرایط، با اعمال باران ۱۵ دقیقه‌ای، لایه‌ای از آب باران روی سطح خاک ظاهر نشد تا منجر به کاهش پاشمان ذرات خاک شود. برای اندازه‌گیری میزان پاشمان ذرات، جعبه‌ها توسط حفاظ فلزی (گالوانیزه) پوشش داده شدند. در زیر جعبه‌ها ورقه‌ای پلاستیکی برای جمع‌آوری ذرات پاشمان یافته قرار گرفت (شکل ۲). سپس ذرات خاک پاشمان یافته از هر جعبه، جمع‌آوری و پس از خشک شدن در آون 105°C وزن گردید. شدت فرسایش پاشمانی بر اساس جرم خاک پاشمان یافته در واحد سطح جعبه و واحد زمان به‌دست آمد.

استفاده از نمونه‌های خاکدانه اولیه پر شد و به رطوبتی معادل با مقدار باران پیشین رسانده شد. سپس نمونه‌های برداشت‌شده در معرض هوای آزاد خشک شدند و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) در حالت خشک با استفاده از سری الک‌ها (۲، ۴، ۶ و ۸ میلی‌متر) تعیین گردید (Kemper & Rosenau, 1986). هم‌چنین پس از گذشت یک روز، رطوبت جرمی نمونه‌ها با نمونه‌برداری از خاک و خشک‌کردن در آون (دمای 105°C درجه سلسیوس به مدت ۲۴ ساعت) تعیین شد.

$$(1) \times 100 = \left(1 - \frac{\text{قطر متوسط خاکدانه بعد از باران}}{\text{قطر متوسط خاکدانه قبل از باران}}\right) = \text{تخریب خاکدانه } (\%)$$

اندازه‌گیری پاشمان

برای بررسی اثر باران پیشین بر فرسایش پاشمانی، جعبه‌های خاکدانه متأثر از باران اول، تحت رخدادرخداد باران دیگر با شدت ثابت ۴۰ میلی‌متر بر ساعت به مدت



شکل ۲- اندازه‌گیری پاشمان ذرات خاک

Figure 2. Measuring splash rate of soil particles

چگالی ظاهری به روش سیلندر فلزی در صحرا (Carter & Gregorich, 2008)، گچ به روش استون (Burt, 2009)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی کل کربنات‌های خاک با اسید استیک ۰/۵ نرمال (Goh et al., 1993) و درصد سدیم تبدلی (ESP) به روش استات آمونیوم (Lujan, 2006) اندازه‌گیری شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای مقایسه اثر بارندگی پیشین بر فرآیندهای تخریب خاکدانه و پاشمان ذرات خاک از روش تجزیه واریانس با آزمون دانکن استفاده شد. هم‌چنین به‌منظور بررسی

تعیین ویژگی‌های خاک مارنی

ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک مارنی در آزمایشگاه مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. برای این منظور، فراوانی نسبی ذرات خاک به روش هیدرومتر (Gee & Bauder, 1986)، پایداری خاکدانه‌ها به روش الک تر (Angers & Mehuys, 1993)، pH گل اشباع با استفاده از pH متر و EC عصاره گل اشباع با استفاده از EC متر (Rhoades, 1996)، محتوای ماده آلی به روش والکی-بلاک (Nelson & Sommer, 1982)، هدایت هیدرولیکی اشباع به روش بار ثابت (Kemper & Rosenau, 1986).

موضوع به دلیل فراوانی زیاد ذرات رس در خاک، میزان اندک ماده آلی و حضور نسبتاً زیاد گچ در خاک بود. تحقیقات ترمودینامیکی انجام شده نشان داد که در سازندهای مارنی با حضور آب و سولفات ممکن است کانی‌های ایتترینگیت (سولفات آلومینیوم کلسیم آبدار) و یا تومازیت (سولفات آلومینوسیلیکات کلسیم آبدار) تشکیل گردد. این عامل سبب تغییر در میزان پایداری و فرسایش خاک در مارن‌ها می‌شود (Mohamed, 2000). بررسی‌ها نشان داد که در سازندهای مارنی وجود ترکیباتی مانند مواد آلی و اکسیدهای آهن و آلومینیوم در افزایش پایداری خاکدانه‌ها نقشی مهم دارد. حضور کاتیون‌های سدیم به دلیل پخش کردن ذرات رس و کاهش پایداری خاکدانه‌ها، در افزایش شدت فرسایش در مارن‌ها نقش مؤثر دارند (Greenland & Payne, 1975).

رابطه فرآیندهای تخریب خاکدانه و پاشمان ذرات با رطوبت پیشین خاک از توابع مختلف ریاضی (خطی، نمایی و غیره) که دارای بالاترین ضریب تبیین (R^2) بودند استفاده شد. همچنین از روش تجزیه رگرسیون تک‌گانه به‌منظور بررسی رابطه فرسایش پاشمانی با تخریب خاکدانه و رطوبت پیشین استفاده شد. برای این منظور از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ استفاده گردید.

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک مارنی

در جدول ۱ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مارنی منطقه مورد آزمایش ارائه شده است. خاک مورد بررسی با بافت رسی و دارای مقدار کمی ماده آلی بود. وجود گچ و آهک بالا، خاک منطقه را از نظر شیمیایی در گروه خاک‌های گچی-آهکی قرار داد. خاکدانه‌ها پایداری اندکی در برابر آب داشتند ($MWD=0.76mm$). این

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مارنی

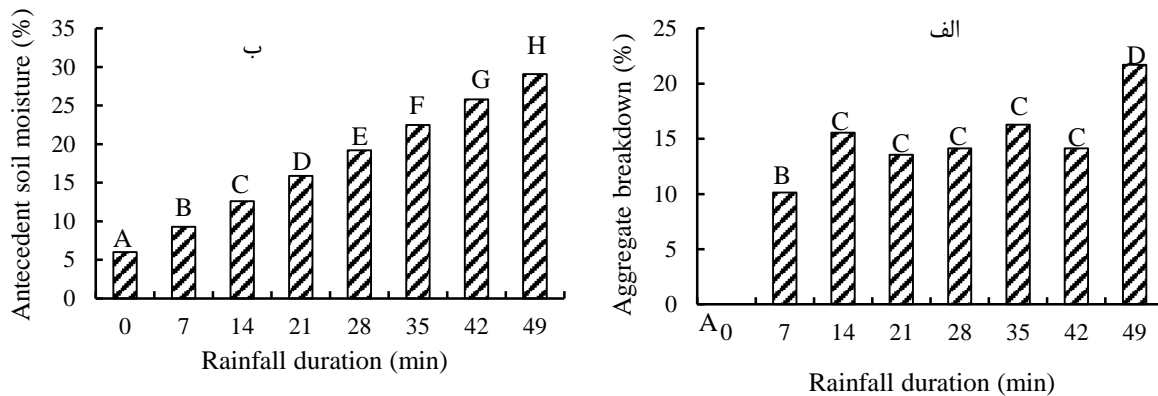
Table 1. Physicochemical properties of the marl soil

Physical properties	Mean	S.D	Chemical properties	Mean	S.D
Sand (%)	17.38	1.02	pH	8.12	0.02
Silt (%)	22.50	0.08	EC (dS m ⁻¹)	2.05	0.03
Clay (%)	60.12	2.65	ESP	22.01	1.20
Bulk density (g cm ⁻³)	1.44	0.04	Organic matter (%)	0.78	0.08
Mean weight diameter (mm)	0.76	0.10	CaCO _{3,eqv} (%)	16.38	0.27
Saturated hydraulic conductivity (cm h ⁻¹)	2.78	0.93	CaSO _{4.2H₂O} (%)	11.61	1.91

به دست آمد که تفاوتی قابل‌ملاحظه با سایر تداوم‌های باران (۴۲ دقیقه) داشت. درصد رطوبت جرمی خاک در هشت دوره زمانی بارندگی از ۶ تا ۲۹/۰۸ متغیر بود (شکل ۳-ب). کم‌ترین محتوای رطوبتی خاک در شرایطی بود که خاک تحت تأثیر باران قرار نگرفته و در شرایط هوا خشک بود. بیش‌ترین محتوای رطوبتی خاک در شرایطی بود که خاک به مدت ۴۹ دقیقه تحت تأثیر باران قرار گرفت که می‌تواند به دلیل افزایش تداوم باران، افزایش تأمین آب در سطح خاک و در نتیجه افزایش مقدار رطوبت خاک باشد.

تخریب خاکدانه و رطوبت پیشین خاک تحت تأثیر باران پیشین

بررسی اثر باران‌های پیشین بر میزان تخریب خاکدانه‌ها و رطوبت خاک با استفاده از روش تجزیه واریانس نشان داد که اثر تداوم بارندگی، بر تخریب خاکدانه‌ها و رطوبت ذخیره‌شده در خاک معنی‌دار است. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کم‌ترین میزان تخریب خاکدانه در باران بعدی (صفر درصد) در شرایطی بود که خاکدانه‌ها تحت تأثیر باران قبلی قرار نگرفته بودند (شکل ۳-الف). بیش‌ترین میزان تخریب خاکدانه (۲۱/۷۲ درصد) در طولانی‌ترین تداوم باران (۴۹ دقیقه)

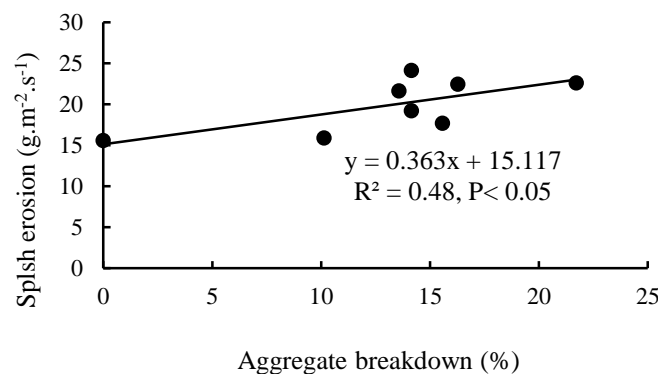


شکل ۳- مقایسه میانگین میزان تخریب خاکدانه (الف) و رطوبت خاک (ب) تحت تأثیر باران با تداوم‌های مختلف
Figure 3. Comparing means of aggregate breakdown (a) and soil moisture (b) in different rainfall durations

رابطه‌ای معنی‌دار بین آن دو به دست آمد ($P < 0.05$, $R^2 = 0.48$). این نتیجه نشان می‌دهد که میزان پاشمان در هر رخداد بارندگی به‌نوبه خود تحت تأثیر میزان تخریب ساختمان خاک در باران قبلی قرار دارد. در برخی تحقیقات نیز نقش تداوم باران بر میزان پاشمان ذرات در آن باران مورد بررسی قرار گرفته است. برای مثال سلطانی گردفرامرز و همکاران (Soltani, 2014) در پژوهش خود گزارش کردند که با افزایش تداوم بارندگی، میزان پاشمان در شدت‌های مختلف به دنبال تخریب خاکدانه‌ها افزایش یافت به‌گونه‌ای که در شدت ۱۲۰ میلی‌متر بر ساعت و زمان ۳۰ دقیقه بیش‌ترین میزان پاشمان مشاهده شد.

رابطه بین فرسایش پاشمانی و تخریب خاکدانه

شکل ۴ رابطه بین تخریب خاکدانه‌ها طی باران پیشین و پاشمان ذرات طی باران بعدی را نشان می‌دهد. مطابق شکل، خاکدانه‌ها تحت تأثیر بارندگی پیشین قرار گرفت و متوسط قطر آن‌ها دچار کاهش شد. یوسفی و همکاران (Yusefi et al., 2015) در پژوهشی که به بررسی ارتباط بین تخریب خاکدانه‌ها و فرسایش پاشمانی در شرایط آزمایشگاهی پرداختند نشان دادند که با افزایش مدت زمان بارش، میزان تخریب خاکدانه‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($P < 0.01$). پژوهش حاضر نشان داد که با تخریب بیش‌تر خاکدانه‌ها و تبدیل آن‌ها به ذرات اولیه، شرایط برای وقوع فرسایش پاشمانی طی باران بعدی فراهم شد. از این‌رو با افزایش میزان تخریب خاکدانه‌ها، میزان پاشمان ذرات نیز افزایش یافت به‌طوری‌که

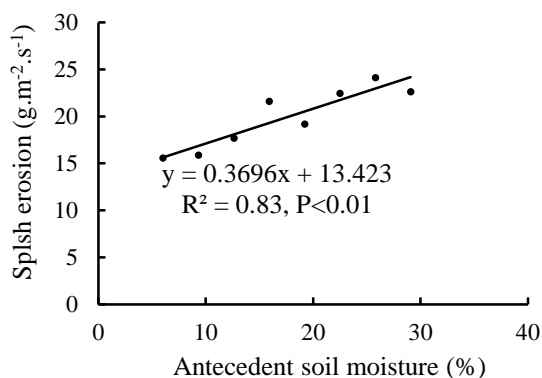


شکل ۴- رابطه بین فرسایش پاشمانی و تخریب خاکدانه
Figure 4. The relationship between splash erosion and aggregate breakdown

پیشین خاک به‌طور مستقیم تحت تأثیر تداوم باران قبلی قرار دارد (شکل ۳-ب). با افزایش رطوبت پیشین خاک، میزان فرسایش پاشمانی در رخداد باران بعدی

رابطه بین فرسایش پاشمانی و رطوبت پیشین خاک شکل ۵ رابطه بین فرسایش پاشمانی و رطوبت پیشین خاک را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که مقدار رطوبت

میزان کمتری با مقدار رطوبت اولیه خاک اثر متقابل دارد.



شکل ۵- رابطه بین فرسایش پاشمانی و رطوبت پیشین خاک

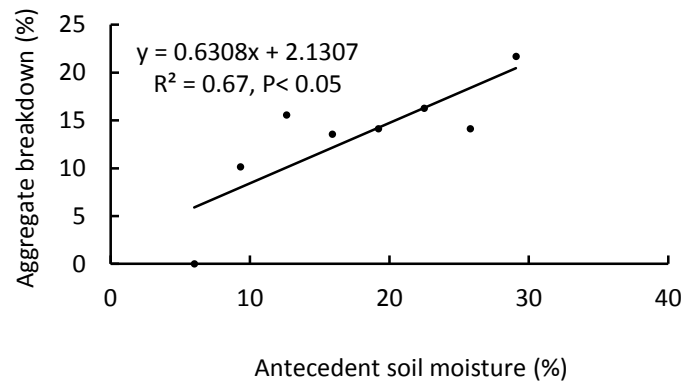
Figure 5. The relationship between splash erosion and antecedent soil moisture

اثرات هم‌زمان تخریب خاکدانه و رطوبت پیشین بر فرسایش پاشمانی

به نظر می‌رسد میزان فرسایش پاشمانی در هر رخداد رخداد باران از یک‌سو تحت تأثیر میزان تخریب خاکدانه در باران قبلی و از سوی دیگر متأثر از افزایش محتوای رطوبتی خاک بر اثر باران قبلی بود. برای بررسی این موضوع، تجزیه رگرسیون خطی چندگانه بین فرسایش پاشمانی و دو عامل مؤثر بر آن (تخریب خاکدانه و رطوبت پیشین خاک) انجام گرفت. پیش از این موضوع، هم‌خطی بین این دو متغیر (تخریب خاکدانه و رطوبت پیشین خاک) مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۶). نتایج نشان داد که رابطه خطی معنی‌دار بین این دو متغیر وجود دارد ($P < 0.05$) و $R^2 = 0.67$. از این رو، تنها یکی از این دو متغیر به‌عنوان مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده شدت فرسایش پاشمانی در هر رخداد رخداد باران بود. استفاده از روش تجزیه رگرسیونی و بررسی ضریب تبیین رابطه‌ها (R^2) نشان داد که فرسایش پاشمانی تنها تحت تأثیر رطوبت پیشین خاک قرار می‌گیرد به‌طوری‌که بین فرسایش پاشمانی و رطوبت پیشین خاک رابطه خطی معنی‌دار ($P < 0.01$ و $R^2 = 0.83$) برقرار می‌باشد.

به‌شدت افزایش یافت به‌طوری‌که رابطه قوی بین شدت فرسایش پاشمانی و محتوای رطوبتی پیشین خاک برقرار بود ($R^2 = 0.83$, $P < 0.01$). افزایش فرسایش پاشمانی به دلیل تخریب بیش‌تر خاکدانه‌ها و کاهش نیروی همدوستی^۱ در اثر افزایش رطوبت خاک بود. با افزایش محتوای رطوبتی خاک، پایداری خاکدانه‌ها کاهش‌یافته و در نتیجه تخریب خاکدانه‌ها در اثر ضربه قطرات باران بیش‌تر شد (Eskandari & Charkhabi, 2005). در تحقیقات پیشین نتایج متفاوتی از تأثیر رطوبت پیشین خاک بر فرسایش پاشمانی به‌دست‌آمده است. برای مثال ترومن و همکاران (Truman *et al.*, 1990) با بررسی اثر مقدار رطوبت اولیه خاک بر جدا شدن و پاشمان ذرات در پنج سری خاک با بافت‌های مختلف از لوم شنی تا رسی تحت باران شبیه‌سازی‌شده با شدت ۶۴ میلی‌متر بر ساعت در دو سطح رطوبتی نزدیک اشباع و هوا خشک نشان دادند که از پیش خیس بودن خاک سرعت جدا شدن و پاشمان ذرات را برای همه خاک‌ها به‌جز خاک لومی سیلتی کاهش داد و بیش‌ترین کاهش مربوط به خاک رسی بود. آن‌ها نشان دادند که با افزایش رطوبت پیشین خاک، مقاومت خاکدانه‌ها در برابر نیروهای ناشی از قطرات باران افزایش یافت. مارتینز و همکاران (Martinez-Mena *et al.*, 1998) در پژوهشی که به بررسی نقش مقدار رطوبت اولیه خاک بر پایداری خاکدانه‌ها در یک منطقه نیمه‌خشک پرداختند، از بارانی با شدت ۴۵ میلی‌متر بر ساعت و سه سطح رطوبتی نزدیک به اشباع، ظرفیت مزرعه‌ای و هوا خشک استفاده نمودند. نتایج نشان داد که پایداری خاکدانه‌ها در ۸۵ درصد از نمونه‌های مورد آزمایش در وضعیت‌های خیس بیش‌تر از خشک بود. واتونگ و همکاران (Watung *et al.*, 1996) اثر مقدار رطوبت اولیه خاک بر جدا شدن ذرات توسط پاشمان را در یک خاک اکسی‌سول به کمک شبیه‌ساز باران بررسی نمودند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که مقدار رطوبت اولیه خاک تأثیر معنی‌داری روی پاشمان کل و نیز روی دسته‌های مختلف خاکدانه (از نظر اندازه) نداشت. این پژوهشگران بیان کردند که پاشمان یک فرآیند وابسته به زمان است که در وهله اول تحت تأثیر انرژی باران و به

1- Cohesion



شکل ۶- رابطه بین تخریب خاکدانه و رطوبت پیشین خاک

Figure 6. The relationship between aggregate breakdown and antecedent soil moisture

جدول ۲- نتایج تجزیه رگرسیونی چندگانه رابطه بین فرسایش پاشمانی و رطوبت پیشین خاک

Table 2. The results of multiple regression analysis of the relationship between splash erosion and antecedent soil moisture

Model	Unstandardized coefficients		Standardized coefficients	t	Significance
	B		Beta		
Constant	13.42	1.28	-----	10.41	0.000
Antecedent soil moisture (%)	0.37	0.07	0.91	5.47	0.002

عاملی مهم می‌باشد که باعث می‌شود ساختمان خاک حتی در تداوم‌های پایین باران نیز دست‌خوش تخریب قرار بگیرد. به‌رحال این دو متغیر (تخریب ساختمان خاک و محتوای رطوبتی خاک) به‌عنوان عواملی مهم هستند که بر شدت فرسایش پاشمانی در رخداد باران بعدی اثر می‌گذارند. نتایج تجزیه رگرسیونی نشان داد که از بین این دو متغیر، رطوبت پیشین خاک مهم‌ترین عامل مؤثر بر تغییرات فرسایش پاشمانی در رخداد باران بعدی می‌باشد به‌طوری‌که رابطه معنی‌دار قوی بین آن دو برقرار می‌باشد ($R^2=0/83$ و $P<0/01$). افزایش محتوای رطوبتی خاک، باعث کاهش نیروهای چسبندگی بین ذرات و در نتیجه تضعیف خاکدانه‌ها می‌شود. این موضوع باعث می‌شود خاکدانه‌ها در اثر ضربه قطرات باران به‌آسانی متلاشی‌شده و تبدیل به ذرات اولیه می‌شوند که بسیار حساس به فرآیند پاشمان می‌باشند. بر اساس معادله به‌دست‌آمده بین فرسایش پاشمانی و رطوبت پیشین خاک می‌توان، مقدار فرسایش پاشمانی در هر رخداد باران را با اندازه‌گیری محتوای رطوبتی پیشین خاک برآورد نمود.

بر اساس نتایج جدول ۲، رابطه بین فرسایش پاشمانی و رطوبت پیشین خاک را به‌صورت زیر می‌توان نوشت:
 $Splash\ erosion = 0.37(Antecedent\ soil\ moisture) + 13.42$
 $(R^2=0/83, P<0/01)$ (۲)
 که در آن: Splash erosion مقدار فرسایش پاشمانی ($g.m^{-2}.s^{-1}$) و Antecedent soil moisture محتوای رطوبت پیشین جرمی خاک (درصد) می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

این پژوهش نشان داد که ساختمان خاک و رطوبت ذخیره‌شده در خاک به‌شدت تحت تأثیر بارندگی قرار دارد. در هر رخداد بارندگی از یک‌سو خاکدانه‌ها تخریب‌شده و متوسط قطر خاکدانه‌ها کاهش می‌یابد و از سوی دیگر محتوای رطوبتی خاک افزایش پیدا می‌کند. شدت تخریب خاکدانه و افزایش محتوای رطوبتی خاک به‌نوبه خود به تداوم باران بستگی دارد. با افزایش تداوم باران، هر دو متغیر به‌شدت افزایش پیدا می‌کنند. با این‌وجود افزایش رطوبت خاک به‌مراتب بیش‌تر از شدت تخریب ساختمان خاک می‌باشد. پایداری ضعیف خاکدانه‌ها در خاک ماری، به‌عنوان

Reference

- Abdinezhad P., Feiznia S., and Peirovan H. 2013. Compare marl soil erodibility in Zanjan province using simulators rain. *Iranian Journal of Soil Research*, 28(2): 408-419. (In Persian)
- Angers D.A., and Mehuys G.R. 1993. Aggregate stability to water. In: Carter M.R. (Ed.), *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers, Boca Raton, pp. 651-657.
- Bagheriankalat A., Ghodousi J., Angoshtari H., and Gazanchian G.A. 2007. Investigation of the relationship between electrical conductivity and vegetation in marl soil. *The 10th Iranian Soil Science Congress*, Karaj. (In Persian)
- Burt, R. 2009. Soil survey field and laboratory methods manual. Soil Survey Investigations Report No. 51. Lincoln, Nebraska. 84-99.
- Carter M.R., and Gregorich E.G. 2008. Soil sampling and methods of analysis, second edition. *Canadian Society of Soil Science Publisher*, ISBN10: 0-8493-3586-8.
- Cerda A. 2002. The effect of season and parent material on water erosion on highly eroded soils in Eastern Spain. *Journal of Arid Environment*, 52: 319-337.
- Eskandari Z., and Charkhabi A.H. 2005. Comparison of aggregate sustainability in the horizontal horizons of Sorshian lands soil profile. *The 9th Iranian Soil Science Congress*, Tehran. (In Persian)
- Feiznia S., Heshmat M., Ahmadi H., and Ghodousi J. 2007. Study marl gully erosion Aghajari formation in Qasr-e Shirin. *Journal of Construction Research*, 74: 40-33. (In Persian)
- Fu B., Newham L.T., and Ramos-Scharron C.E. 2010. A review of surface erosion and sediment delivery models for unsealed roads. *Environmental Modelling and Software*, 25(1), pp.1-14.
- Morgan R.P.C. 1981. Field measurement of Splash Erosion. Erosion and Sediment Transport Measurement. Proceeding of the Florence Symposium, IAHS Pub.
- Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Particle size analysis. In: *Methods of soil analysis, Part1*. 2nd Ed. Klute, A. (Ed). Agronomy Monograph, 9. Madison. WI. pp. 383-411.
- Goh T.B., Arnaud R.J.S., and Mermut A.R. 1993. Aggregate stability to water. In: Carter M.R. (Ed.), *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Canadian Society of Soil Science, Lewis Publishers, Boca Raton, pp. 177-180.
- Greenland G.J., and Payne D. 1975. Determination of the structural stability class of English and Welsh soil using a water coherence test. *Journal of Soil Science*, 46: 294-303.
- Hamidi Nehrani S., and Vaezi A.R. 2013. Effect of polyvinyl acetate on hydraulic conductivity, runoff and sediment production in a marl soil. *Journal of Water and Soil*, 27(4): 792-801. (In Persian)
- Keamper W.D., Rosenau R.C., and Dexter A.R. 1987. Cohesion development in disrupted soils as affected by clay and organic matter content and temperatures. *Soil Science American Journal*, 51: 860-867.
- Kemper W.D., and Rosenau R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. In: Klute A. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. 2nd Edition, Agronomy Monograph, 9. ASA and SSSA, Madison, WI. pp. 425-442.
- Kemper W.D., and Rosenau R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution, In: Klute A. *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*, pp. 425-442.
- Loch R.J., and Pocknee C. 1995. Effect of aggregation on soil erodibility: Australian experience. *Journal Soil Water Conserve*, 50: 504-506.
- Lujan D.L. 2006. Soil physical properties affecting soil erosion in tropical soils. Invited Presentations, College on Soil Physics, 232-245.
- Luk S.H. 1985. Effect of antecedent soil moisture content on rainwash erosion. *Catena*, 12: 129-139.
- Martinez-Mena M., Williams A.G., Ternan J.L., and Fitzjohn C. 1998. Role of antecedent soil water content on aggregates stability in a semi-arid environment. *Soil and Tillage Research*, 48: 71-80.
- Mengistu B., Defersha A., and Melesse M. 2012. Effect of rainfall intensity, slope and antecedent moisture content on sediment concentration and sediment enrichment ratio. *Catena*, 90: 47-52.
- Mohamed A.M.O. 2000. The role of clay minerals in marly soils on its stability. *Engineering*, 57: 130-193.

- Morgan R.P.C. 2005. Soil Erosion and Conservation, 3rd Edition, Blackwell Publishing, 304p.
- Nearing M.A., Foster G.R., Lane L.J., and Finkner S.C. 1989. A process-based soil erosion model for USDA-water erosion prediction project technology. *Transactions of the ASAE* 32:1587–1593.
- Nelson D.W., and Sommer L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter, *In: Page A.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis: Chemical and Microbiological Properties*, ASA Monograph, 9 (2). American Society Agronomy, Madison, pp. 539–579.
- Rhoades J.D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *In: Page A.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Chemical Methods*, pp.417-435.
- Ruiz-Sinoga J.D., and Romero Diaz A. 2010. Soil degradation factors along a Mediterranean pluviometric gradient in southern Spain. *Geomorphology*, 118: 359-368.
- Soltani Gerdefaramarzi S., Ghezelseflu N., and Boroghani M. 2014. Change of splash erosion rate in rainfall different duration and intensity on marl soils. *Environmental Erosion Research Journal*, 4(15): 72-84. (In Persian)
- Truman C.C., and Bradford J.M. 1990. Effect of antecedent soil moisture on splash detachment under simulated rainfall. *Soil Science American Journal*, 150: 787-798.
- Truman C.C., Bradford J.M. and Ferris J.E. 1990. Antecedent water content and rainfall energy influence on soil aggregate breakdown. *Soil Science American Journal*, 54: 1385-1392.
- Vaezi A. R., and Vatani A. 2014. Determination of rill erodibility in some Zanjan soils under rain simulated. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 71: 59-67. (In Persian)
- Vaezi A.R., and Gharehdaghi H. 2013. Quantification of rill erosion development in Marl soils of Zanjanroud watershed in North West of Zanjan, Iran. *Journal of Water and Soil*, 27(5): 872-881. (In Persian)
- Vaezi A.R., and Hasanzadeh H. 2016. Investigation of soil loss from small plots with different soil textures in sequential simulated rainfall events. *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 20(75): 201-210. (In Persian)
- Vaezi A.R., Rostami A., and Mohammadi M.H. 2011. Time variations of degradation and splash processes in marl soil under simulated rain. *Iranian Journal of Soil Research*, 25(4): 362-371. (In Persian)
- Valettea S., Prevosta L., and Lucasa L. 2006. SODA project: A simulation of soil surface degradation by rainfall. *Gilles Computers and Graphics*, 30: 494-506.
- Watung R.L., Sutherland R.A., and El-Swaify S.A. 1996. Influence of rainfall energy flux density and antecedent soil moisture content on splash transport and aggregate enrichment ratios for a Hawaiian Oxisol. *Soil Technology*, 9: 251-272.
- Wischmeier W.H., and Smith D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning. *Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning*. 58p.
- Wuddivira M.N., Stone R.J., and Ekwue E.I. 2009. Clay, organic matter, and wetting effects on splash detachment and aggregate breakdown under intense rainfall. *Soil Science Society of America Journal*, 73(1): 226-232.
- Yusefi A., Farrokhian Firouzi A., and Khalili Moghaddm B. 2015. Experimental investigation of the aggregate breakdown and splash erosion in different conditions duration and rainfall intensity in selected soil of Dashtegol watershed of Masjed Soleyman. *Journal of Water and Soil Conservation*, 22(2): 175-187. (In Persian)
- Zhou W., and Wu B. 2008. Assessment of soil erosion and sediment delivery ratio using remote sensing and GIS: a case study of upstream Chaobaihe River catchment, North China. *International Journal Sediment Research*, 23(2): 167-173.

The Effects of Antecedent Rainfall on Splash Erosion in a Marl Soil under Rainfall Simulator

Ali Reza Vaezi^{1*}, Shokouh Karimi², Majid Foroumadi³

(Received: August 2017

Accepted: December 2017)

Abstract

Splash erosion is one of the most important kinds of water erosion. Splash of soil particles may be affected by some factors especially antecedent rainfall event. Up to now, there isn't any study on the effects of antecedent rainfall on splash erosion in the next rainfall. This study was conducted to investigate the effect of antecedent rainfall on the particles splash in a marl soil. Toward this, aggregates with a diameter of 6-8mm were taken from a marl soils under fallow condition in 2016. Aggregates were packed in 24 boxes with 30cm×40cm dimensions and 30cm depth to investigate effect of eight rainfall durations levels at three replications. Simulated rainfall was applied to soil samples with eight durations (0, 7, 14, 21, 28, 35, 42 and 49 min). Aggregate breakdown and soil water content were determined in the soil samples after one day. After one day, soil boxes were placed under the same rainfall with a constant intensity of 40 mm h⁻¹ for 15 min. Based on results, duration of antecedent rainfall significantly affected the aggregate breakdown and increased the soil water content. The longest rainfall duration (49 min) appeared the highest aggregate breakdown (21.72%) as well as soil moisture content (29.08%). The amount of splash erosion in the next rain event was significantly influenced by the changes in two soil variables, i.e. aggregate breakdown ($P < 0.05$) and soil water content ($P < 0.01$), implied by the antecedent rainfall. Multiple linear regression analysis showed that among the two soil variables, antecedent soil water content is the most important factor determining the splash erosion variation in the next rain event ($R^2 = 0.83$, $P < 0.01$). The splash erosion in each rain event could be reliably estimated by determining the antecedent soil water content.

Keywords: Aggregate breakdown, Particles splash, Rainfall duration, Soil water content

Vaezi A.R., Karimi Sh. and Foroumadi M. 2019. The effects of antecedent rainfall on splash erosion in a marl soil under rainfall simulator. *Applied Soil Research*, 7(1): 83-94.

1- Full Professor of Soil Science, Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Zanjan (Corresponding author)

2- Former M.Sc. Student of Soil Science, Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Zanjan

3- Ph.D. Student of Soil Science, Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Zanjan

* Corresponding Author Email: vaezi.alireza@gmail.com