اثرات کاربری زمین بر فرایندهای فرسایش بارانی در یک خاک مارنی تحت باران شبیه‌سازی شده در غرب زنجان

علیرضا واعظی*، شکوه کریمی و مجید فرومدی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۷/۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۴)

چکیده

فرسایش بارانی نخستین شکل فرسایش آبی در طبیعت است که تحت تأثیر عوامل مختلف از جمله بارندگی پیشین و کاربری زمین قرار می‌گیرد. این مطالعه به‌منظور بررسی اثر بارندگی پیشین بر فرایندهای فرسایش بارانی در دو نوع کاربری زمین در خاک مارنی تحت باران شبیه‌سازی شده انجام گرفت. برای این منظور از خاکدانه‌های با قطر شش تا هشت میلی‌متری از دو نوع خاک مارنی (مرتع و تبدیل شده به کشاورزی) از عرصه‌های مارنی غرب زنجان نمونه‌برداری تصادفی شد. خاکدانه‌ها در ۴۸ جعبه پلاستیکی به ابعاد ۴۰×۳۰ سانتی‌متر برای بررسی اثر هشت سطح تداوم باران در سه تکرار آماده‌سازی شدند. برای اعمال باران‌ها، از بارانی با شدت ۴۰ میلی‌متر بر ساعت به‌کمک شبیه‌ساز باران با تداوم‌های صفر، ۷، ۱۴، ۲۱، ۲۸، ۳۵، ۴۲ و ۴۹ دقیقه استفاده شد. باران‌های اعمال شده باعث ایجاد هشت سطح رطوبتی شامل ۶/۰۰، ۹/۳۰، ۱۲/۶۰، ۱۵/۸۹، ۱۹/۱۹، ۲۲/۴۹، ۲۵/۷۹ و ۲۹/۰۸ درصد در خاک شدند. به‌منظور بررسی میزان پاشمان از بارانی با شدت ثابت ۴۰ میلی‌متر بر ساعت به‌مدت ۱۵ دقیقه در همه تیمارها استفاده شد. براساس نتایج، میزان تخریب خاکدانه‌ها در خاک مرتع، تحت تأثیر بارندگی‌های پیشین قرار نگرفت، درحالی‌که در خاک کشاورزی باران‌های پیشین اثری معنی‌دار بر میزان تخریب خاکدانه‌ها داشت (P<۰/۰۵). پاشمان ذرات پس از باران دوم در هر دو خاک مرتع و کشاورزی تحت تأثیر بارندگی پیشین قرار گرفت (P<۰/۰۵). مقدار تخریب خاکدانه و فرسایش پاشمانی در خاک کشاورزی به‌ترتیب ۱/۴۱ و ۱/۳۱ برابر بیشتر از مقادیر آنها در خاک مرتع بود و این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار بود. این موضوع را می‌توان به ناپایداری خاکدانه‌ها در خاک کشاورزی مرتبط دانست که حساسیت خاک را به فرایندهای فرسایش بارانی افزایش داد. به‌طور کلی این پژوهش نشان داد که تغییر کاربری زمین در خاک‌های مارنی منجر به افزایش حساسیت آنها به فرایندهای فرسایش بارانی می‌شود. شدت فرسایش خاک در هر رخداد باران، به‌مقدار بارندگی پیشین نیز بستگی دارد. افزایش تخریب خاکدانه و محتوای رطوبت خاک در اثر باران پیشین، بر شدت فرسایش پاشمانی در خاک مارنی اثر می‌گذارد.

واژه‌های کلیدی: پاشمان ذرات، تخریب خاکدانه، تراکم خاک، کاربری زمین، سازندهای مارنی

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: vaezi.alireza@gmail.com

مقدمه

فرسایش قطره باران (Raindrop erosion) از اشکال مهم فرسایش آبی است که بستر را برای ایجاد سایر اشکال فرسایش فراهم می‌کند. تخریب خاکدانه، تراکم خاک و پاشمان ذرات مهم‌ترین فرایندهای فرسایش قطره باران هستند (۲۴). نخستین پیامد برخورد قطرات باران بر سطح خاک، تخریب خاکدانه‌ها است. پایداری خاکدانه که مقاومت ذرات آن را در برابر جدا شدن نشان می‌دهد در میزان تخریب خاکدانه در اثر قطرات باران نقش مهمی دارد. پایداری اندک خاکدانه‌ها منجر به تخریب آسان آنها، تراکم خاک، ایجاد سله، کاهش سرعت نفوذ آب به خاک، افزایش رواناب و فرسایش خاک می‌شود (۲۲). پاشمان ذرات به‌عنوان پیامد دیگر برخورد قطرات باران بر سطح خاک است. هنگامی که قطره باران به سطح خاک برخورد می‌کند، اولین مرحله فرسایش یعنی جداسازی ذرات خاک شروع می‌شود. در ادامه به‌دلیل خیس شدن ذرات و کاهش چسبندگی آنها، جدا شدن ذرات به‌وسیله قطرات باران آسان می‌شود. فرایند پرتاب ذرات خاک به پیرامون، بر اثر برخورد قطرات باران بر سطح خاک، پاشمان ذرات خاک نامیده می‌شود که منجر به تراکم و کاهش نفوذپذیری خاک می‌شود.

فرایندهای فرسایشی در هر رخداد بارندگی به‌نوبه خود به شرایط خاک به‌هنگام بارندگی بستگی دارد. شرایط خاک می‌تواند تحت تأثیر بارندگی پیشین تغییر کند. بارندگی پیشین با تأثیر بر ساختمان خاک و محتوای رطوبتی خاک، شرایط خاک را برای فرایندهای فرسایشی در باران بعدی حساس می‌کند. با برخورد قطرات باران بر سطح خاک، خاکدانه‌ها تخریب شده و خاک متراکم می‌شود. از سوی دیگر مقدار رطوبت خاک پیش از هر رخداد بارندگی به‌نوبه خود تحت تأثیر میزان بارندگی پیشین قرار دارد. رطوبت پیشین خاک یکی از مشخصه‌های اصلی و مهم اثرگذار بر فرایند فرسایش است که از راه‌های گوناگون فرسایش خاک را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. رطوبت پیشین خاک نقشی مهم در پایداری خاکدانه‌ها (۱۷) و تراکم‌پذیری خاک دارد و در نتیجه بر حساسیت خاک به فرسایش اثر می‌گذارد. رطوبت پیشین خاک باوجود اهمیت بالایی که دارد در هیچ یک از معادلات براورد فرسایش خاک ذکر نشده است. ویشمایر و اسمیت (۱۹۷۸) با وجود آنکه بیان کردند که رطوبت پیشین خاک تأثیر معنی‌داری بر فرسایش خاک دارد، اثر آن را در معادله جهانی فرسایش خاک (Universal Soil Loss Equation) مستقیماً اعمال نکردند (۲۹). در سایر مدل‌های براورد فرسایش و رسوب نیز، از جمله مدل پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی (Water Erosion Prediction Project) تأثیر رطوبت پیشین خاک بر مقدار فرسایش نادیده گرفته شده است.

اگرچه رطوبت خاک در مقادیر بسیار جزئی در مقاومت ذرات خاک نسبت به فرسایش بارانی نقش ایفا می‌کند، اما در مقادیر زیاد، عاملی مهم در کاهش پایداری خاکدانه و افزایش حساسیت آنها به فرسایش بارانی است. در پژوهشی والتا و همکاران تأثیر قطرات باران را بر میزان تخریب خاک بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که قطرات باران پس از برخورد با سطح خاک به‌دلیل ضربه مکانیکی باعث تخریب خاک، ایجاد سله و کاهش نفوذپذیری خاک می‌شوند (۲۶). روز – سینوگا و رومرو دیاز با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران به این نتیجه رسیدند که با افزایش مقدار رطوبت خاک، میزان تخریب خاکدانه به‌وسیله قطرات باران افزایش می‌یابد (۲۰). واعظی و همکاران با بررسی فرایندهای فرسایش قطره باران که روی خاک‌های مارنی غرب زنجان انجام دادند دریافتند که این فرایندها دست‌خوش تغییرات زمانی طی بارندگی می‌شوند. با افزایش تداوم بارندگی و تخریب بیشتر خاکدانه‌های سطح، ذرات بیشتری در معرض پاشمان قرار گرفت و فرسایش پاشمانی افزایش می‌یابد. با تخریب کامل خاکدانه‌های سطح و ظهور اندوده در سطح خاک، پاشمان ذرات خاک تغییر زیادی پیدا نمی‌کند (۲۴). سلطانی گردفرامرزی و همکاران در پژوهشی که روی خاک‌های حوضه آبخیز طالقان انجام دادند دریافتند که با تداوم بارندگی، میزان پاشمان در شدت‌های مختلف به‌دنبال تخریب خاکدانه‌ها افزایش یافت (۲۱). کیانی

هرچگانی و صادقی در پژوهشی به بررسی اثر رگبارهای متوالی بر مؤلفه‌های فرسایش پاشمانی طی دو شدت مختلف بارندگی (۳۰ و ۹۰ میلی‌متر بر ساعت) در شرایط آزمایشگاهی پرداختند. نتایج آنها بیان‌کننده افزایش ۲/۵ برابری ضریب تغییرات پاشمان خالص و کل در شدت ۳۰ میلی‌متر بر ساعت نسبت به ۹۰ میلی‌متر بر ساعت بود (۱۵). بلیانی و واعظی در پژوهشی به بررسی حساسیت خاک‌ها با بافت متفاوت (شن، سیلت و رس) به فرسایش پاشمانی تحت تأثیر شدت باران (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌متر بر ساعت) پرداختند. آنها دریافتند که تفاوت‌های معنی‌دار در فرسایش پاشمانی در بین بافت‌های خاک وجود دارد ($P<0/001$). بیشترین فرسایش پاشمانی در بافت سیلت مشاهده شد و خاک شنی مقاوم‌ترین بافت خاک از نظر فرسایش پاشمانی بود (۳).

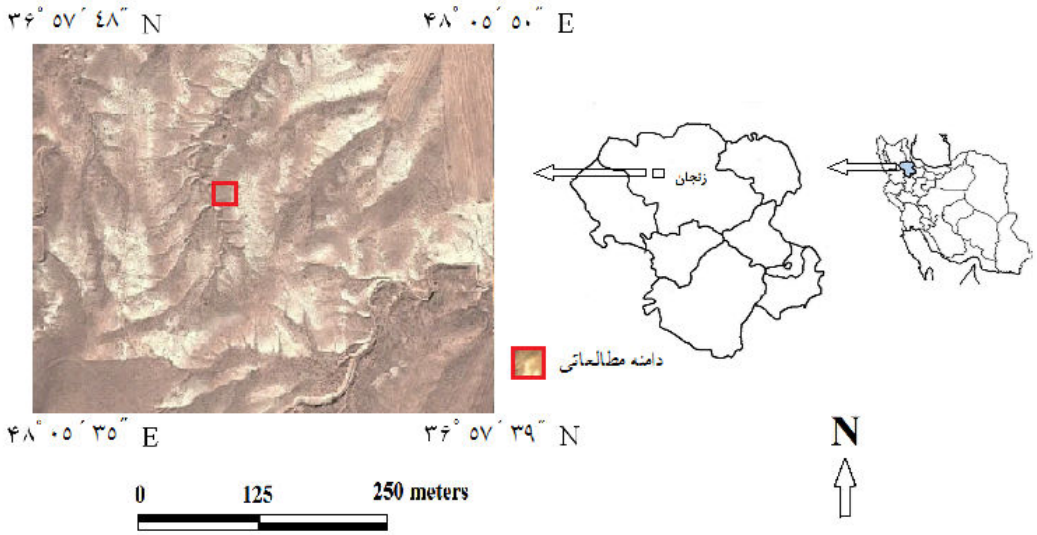
تغییر کاربری مرتع به زراعت رایج‌ترین شکل تغییر کاربری زمین در دنیا است (۵). قطع درختان جنگل و تبدیل مراتع به کشاورزی باعث تخریب یا اخلال در زیست‌بوم‌های طبیعی، افزایش فرسایش خاک و کاهش ظرفیت تولید خاک می‌شود. دنر و همکاران اثر تغییر کاربری زمین را بر ویژگی‌های وابسته به ساختمان خاک در یک خاک اندی‌سول در ژاپن مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آنان نشان داد که تغییر در نوع استفاده از زمین از جنگل به مرتع، خاک را در معرض تنش‌های آبی و مکانیکی قرار داد و باعث تغییر رفتار دینامیکی خاک می‌شود (۷). خلیل مقدم و همکاران نیز اثر تغییر کاربری اراضی را بر فرسایش پاشمانی بررسی کردند. نتایج مطالعه آنها بیان‌کننده تأثیرپذیری فرسایش پاشمانی از نوع کاربری اراضی و شیوه مدیریت خاک بود (۱۴).

خاک‌های مارنی به‌دلیل دارا بودن ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاص، در اغلب مناطق خشک و نیمه‌خشک از پوشش گیاهی بسیار کمی برخوردار بوده و استقرار پوشش گیاهی در آنها با محدودیت‌های زیادی روبه‌رو است. این سازندها در مقایسه با سایر سازندهای زمین‌شناسی دارای حساسیت زیادی به فرسایش هستند. وجود سدیم و املاح با قابلیت انحلال بالا و کانی‌های تورم‌پذیر از علل اصلی فرسایش‌پذیری زیاد خاک‌های مارنی هستند. فرسایش شدید خاک و عدم‌وجود رطوبت کافی در خاک طی دوره رشد به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک موجب می‌شود پوشش گیاهی مناسبی در خاک‌های مارنی به‌وجود نیاید. این مسئله به‌نوبه خود میزان فرسایش آبی در این سازندها را به‌شدت بالا می‌برد (۲۳). تغییر کاربری زمین در عرصه‌های مارنی، تخریب شدید خاک را به‌دنبال دارد. جایگزینی پوشش گیاهی طبیعی با پوشش زراعی مانند گندم دیم و انجام عملیات خاک‌ورزی موجب می‌شود ساختمان خاک بیش از پیش ناپایدار و خاک به‌شدت حساس به فرسایش آبی شود. اهمیت این موضوع به‌ویژه در شرایط آیش که سطح عرصه‌ها بدون هر نوع پوششی است، دوچندان است. از این‌رو مطالعه و بررسی عوامل مؤثر بر فرسایش خاک در مارن‌ها با توجه به حساسیت خاک‌های مارنی به فرسایش و اهمیت باران در میزان فرسایش دارای اهمیت ویژه‌ای است، بنابراین پژوهش حاضر به‌منظور بررسی اثر بارندگی پیشین بر فرایندهای فرسایش بارانی در یک خاک مارنی تحت باران شبیه‌سازی شده در دو کاربری مرتع و خاک کشاورزی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و نمونه‌برداری خاک

برای اجرای این پژوهش دو خاک مارنی با کاربری‌های مرتع و کشاورزی تحت آیش از مناطق تحت فرسایش شدید در ۵۰ کیلومتری مسیر زنجان به سمت میانه، پیرامون منطقه ایده‌لو – سرچم شناسایی شد. این منطقه در ارتفاع ۱۳۲۹ متری از سطح دریا با طول جغرافیایی ″۳۵ ′۵ °۴۸ تا ″۵۰ ′۵ °۴۸ شرقی و عرض جغرافیایی ″۳۹ ′۵۷ °۳۶ تا ″۴۸ ′۵۷ °۳۶ شمالی بود. از نظر زمین‌شناسی این منطقه روی رسوبات کوارتزی واقع شده است. سازندهای مارنی، گستره وسیعی از منطقه را در برگرفته‌اند. مارن پلیوسن بیشترین وسعت را در دو سوی رودخانه زنجان‌رود فرا گرفته است. این واحد به‌صورت رخنمون‌هایی از مارن و کنگلومرا به‌صورت تپه‌های به‌هم

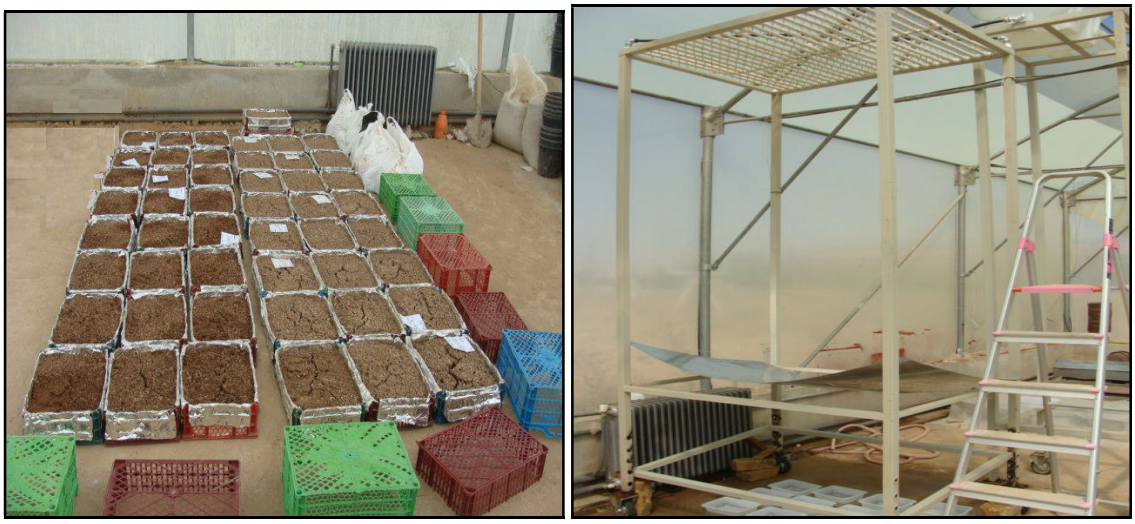


(الف)

(ج) (ب)

شکل ۱. الف) موقعیت جغرافیایی خاک مارنی مورد مطالعه در غرب زنجان، ب) تصویر خاک مرتع با پوشش گیاهی طبیعی و ج) خاک کشاورزی زیر کشت گندم دیم

چسبیده گسترش دارد که از دو بخش میانی شامل مارن و سیلت که به رنگ‌های قرمز، زرد، صورتی و قهوه‌ای و حاشیه‌های آن از کنگلومرا، ماسه‌سنگ و مارن تشکیل شده‌اند. منطقه اغلب به‌صورت مرتعی با پوشش گیاهی ضعیف است و در مناطق کم‌ارتفاع برخی از اراضی مرتعی به اراضی دیم تغییر کاربری پیدا کرده‌اند. شکل (۱) نمایی از خاک مرتع و کشاورزی نمونه‌برداری شده در غرب زنجان و دامنه‌های مطالعاتی را نشان می‌دهد. زمین‌های کشاورزی در سال‌های پرباران زیر کشت گندم دیم می‌روند و در سال‌های کم‌باران به‌صورت آیش باقی می‌مانند. اشکال مختلف فرسایش در زمین‌های شیب‌دار مانند فرسایش ورقه‌ای، شیاری و خندقی به‌چشم می‌خورد. خاک منطقه به‌شدت تحت‌تأثیر فرسایش پاشمانی بود و سله که از پیامدهای این نوع فرسایش است، سراسر سطح عرصه‌ها را فرا گرفته است. بیش از ۲۴ درصد حوضه را شیب‌های بالاتر از ۲۰ درصد تشکیل داده است. متوسط بارندگی سالیانه منطقه ۲۵۵/۴ میلی‌متر گزارش شده است. متوسط درجه حرارت گرم‌ترین ماه سال ۲۰/۶ درجه سانتی‌گراد در تیرماه و متوسط درجه حرارت سردترین ماه سال



(ب) (الف)

شکل ۲. الف) نمایی از واحدهای آزمایشی حاوی خاکدانه‌های مارنی و ب) نمایی از دستگاه شبیه‌ساز باران مورد استفاده در آزمایش

۰/۵ درجه سانتی‌گراد در دی‌ماه گزارش شده است. اقلیم منطقه براساس روش طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه نیمه‌خشک سرد است. رژیم حرارتی و رطوبتی منطقه به‌ترتیب مزیک و زریک است. این خاک جزء خاک‌های Typic Calcixerepts است. از نظر زمین‌شناسی شیل‌های آهکی میکادار در این منطقه مشاهده می‌شوند.

روش پژوهش

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در دو نوع کاربری در هشت تیمار بارندگی پیشین در سه تکرار، یعنی مجموعاً در ۴۸ واحد آزمایشی در یک خاک مارنی انجام گرفت شکل (۲). نمونه‌های خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری از خاک کشاورزی و نیز از خاک مرتع واقع در ۵۰ کیلومتری غرب زنجان برداشت شد و با الک‌های شش و هشت میلی‌متری غربال شدند. اگرچه آزمایش فرسایش بارانی روی خاک طبیعی (دست‌نخورده) به شرایط طبیعی نزدیک است اما بررسی فرایندهای فرسایش بارانی مانند تخریب خاکدانه در خاک طبیعی کاری آسان نیست؛ چرا که نیازمند آگاهی از فراوانی خاکدانه‌ها و متوسط اندازه خاکدانه در خاک طبیعی است. انجام آزمایش با استفاده از خاکدانه‌های با قطر معین این امکان را فراهم می‌آورد تا شدت تخریب خاکدانه پس از بارندگی تعیین شود و تأثیر آن را بر سایر فرایندها مانند پاشمان مورد مطالعه قرار گیرد. در هر دو نوع خاک (مرتع و کشاورزی)، خاکدانه‌های با قطر شش تا هشت میلی‌متری در ۴۸ جعبه پلاستیکی به ابعاد ۴۰×۳۰ سانتی‌متر و عمق ۱۰ سانتی‌متر برای بررسی اثر هشت تداوم باران (صفر، ۷، ۱۴، ۲۱، ۲۸، ۳۵، ۴۲ و ۴۵ دقیقه) در سه تکرار تهیه شدند. قبل از قرار دادن خاکدانه‌ها در جعبه‌ها، از یک فیلتر شنی با قطر دو تا چهار میلی‌متر به ضخامت حدود دو سانتی‌متر برای زهکشی بهتر آب نفوذ یافته باران استفاده شد. مقدار دو کیلوگرم از خاک عبور داده شده از الک دو میلی‌متر نیز برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی تهیه شد و به آزمایشگاه انتقال داده شد.

تجزیه خاک مارنی

ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک مارنی در آزمایشگاه اندازه‌گیری شدند. برای این منظور فراوانی نسبی ذرات خاک به روش هیدرومتر (۱۰)، پایداری خاکدانه‌ها به روش الک تر (۲) به‌مدت یک دقیقه، pH گل اشباع با استفاده از pH متر و هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع با استفاده از EC متر (۱۹)، محتوای ماده آلی به روش والکی – بلاک (۲۷)،

هدایت هیدرولیکی اشباع به روش بار ثابت (۱۹)، جرم مخصوص ظاهری به روش سیلندر فلزی در صحرا (۴)، جرم مخصوص حقیقی به روش پیکنومتر (۴)، گچ به روش استون (۱۹)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی‌سازی کل کربنات‌های خاک با اسید استیک ۰/۵ نرمال (۱۱) و درصد سدیم تبادلی (ESP) به روش استات آمونیوم (۱۶) اندازه‌گیری شدند. تخلخل خاک به مقدار جرم مخصوص ظاهری و حقیقی خاک وابسته است. چگالی ظاهری نمونه خاکدانه‌های مورد آزمایش پیش از اعمال باران اول با استفاده از سیلندر فلزی در سه تکرار تعیین شد و با تعیین جرم مخصوص حقیقی خاک، مقدار تخلخل نمونه‌های خاکدانه با استفاده از رابطه (۱) به دست آمد:

$$\text{تخلخل خاک} = 1 - \frac{B.D}{P.D} \qquad (1)$$

که در آن: B.D جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب) و P.D جرم مخصوص حقیقی (گرم بر سانتی‌متر مکعب) است.

اعمال بارندگی پیشین

از دستگاه شبیه‌ساز باران برای اعمال بارندگی پیشین به نمونه‌های خاک استفاده شد. برای این کار بارانی با شدت ثابت ۴۰ میلی‌متر بر ساعت و قطر قطره ۲/۵ میلی‌متر در هشت تداوم زمانی مختلف شامل T_1=۰، T_2=۷، T_3=۱۴، T_4=۲۱، T_5=۲۸، T_6=۳۵، T_7=۴۲ و T_8=۴۹ دقیقه به جعبه‌های حاوی خاکدانه‌ها اعمال شد. انتخاب چنین تداوم‌هایی برای باران، بر اساس تحلیل منحنی‌های شدت – مدت باران در منطقه غرب زنجان بود. تداوم باران صفر به‌عنوان تیمار شاهد بود که در آن هیچ بارانی به نمونه خاک اعمال نشد. 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 سه میلی‌متر با شدت‌های متغیر (از ۴۰ تا ۱۲۰ میلی‌متر در ساعت) را داراست. آب تحت فشار ثابت از داخل تانکر آب به صفحه بارش وارد شد و به واسطه نازل‌ها به‌صورت قطراتی درآمد و به‌صورت بارانی مصنوعی به‌طور یکنواخت بر سطح خاک تحت آزمایش برخورد می‌کند. شکل (۲–ب) نمایی از دستگاه شبیه‌ساز مورد استفاده در آزمایش را نشان می‌دهد.

تعیین شرایط خاک پس از اعمال باران اولیه

پس از اعمال باران پیشین، شرایط خاک در سه بخش شامل تخریب خاکدانه، تراکم خاک و رطوبت خاک بررسی شد. با ایجاد باران‌های مذکور به جعبه‌ها، تغییرات اندازه خاکدانه و نیز رطوبت خاک اندازه‌گیری شدند. تغییرات اندازه خاکدانه با مقایسه متوسط وزنی قطر خاکدانه‌ها پیش و پس از باران محاسبه شد (۲۴). به‌منظور اندازه‌گیری میزان تخریب خاکدانه‌ها، ابتدا یک تکرار از سه تکرار جعبه‌ها در معرض هوای آزاد خشک شدند. سپس درصد تخریب خاکدانه با مقایسه میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD) پس از بارندگی با پیش از بارندگی در حالت خشک با استفاده از سری الک‌ها (۲، ۴، ۶ و ۸ میلی‌متر) و با استفاده از رابطه (۲) تعیین شد (۲۴):

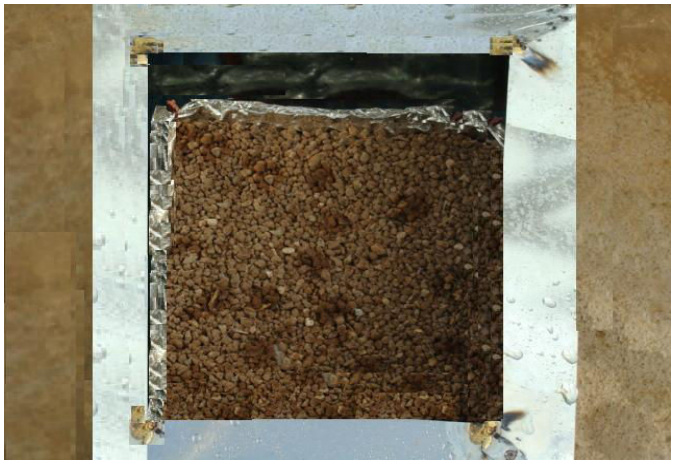
(۲)

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

با اعمال باران و تخریب خاکدانه‌ها و درنتیجه وقوع تراکم خاک، مقدار تخلخل نمونه‌های خاکدانه تغییر پیدا کرد. با بررسی مقدار تخلخل خاک در نمونه‌های خاکدانه پیش و پس از باران، نقش باران در ایجاد تراکم خاک نمایان شد. برای این منظور قطعه‌هایی از خاک تخریب یافته بر اثر باران، از سطح خاک یکی از جعبه‌ها به آرامی با کاردک برداشته شد (در سه تکرار). برای تعیین جرم مخصوص ظاهری قطعه‌های تخریب یافته از روش پارافین مذاب (۱۲) استفاده شد. تراکم خاک بر اساس میزان کاهش تخلخل خاک در اثر باران با استفاده از رابطه (۳) به‌دست آمد (۲۴):

(۳)

$$\text{تغییرات تخلخل خاک (٪)} = (1 - \frac{\text{تخلخل خاک بعد از باران}}{\text{تخلخل خاک قبل از باران}}) \times 100$$



شکل ۳. نمایی از حفاظ فلزی در پیرامون جعبه پاشمان برای نگهداری ذرات پاشمان یافته

همچنین پس از گذشت یک روز، رطوبت جرمی نمونه‌ها با نمونه‌برداری از خاک و خشک کردن در آون (دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت) تعیین شد. این تداوم باران‌ها باعث ایجاد هشت سطح رطوبتی به‌ترتیب به‌مقدار ۶/۰۰، ۹/۳۰، ۱۲/۶۰، ۱۵/۸۹، ۱۹/۱۹، ۲۲/۴۹، ۲۵/۷۹ و ۲۹/۰۸ درصد جرمی در خاک‌ها شد.

تعیین فرسایش پاشمانی در باران بعدی

پس از اعمال باران پیشین، جعبه‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در محیطی بسته قرار داده شدند تا توزیع رطوبتی درون توده خاک داخل جعبه‌ها یکنواخت شود. برای بررسی فرسایش پاشمانی در تیمارهای متأثر از بارندگی پیشین، جعبه‌های خاکدانه، تحت رخداد باران دیگر با شدت ثابت ۴۰ میلی‌متر بر ساعت به‌مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفتند. دو تکرار از سه تکرار جعبه خاکدانه که برای اندازه‌گیری شدت تخریب خاکدانه مورد نمونه‌برداری قرار نگرفته بودند، برای بررسی فرسایش پاشمانی آزمایش شدند. برای اندازه‌گیری میزان پاشمان ذرات، جعبه‌ها توسط حفاظ فلزی (گالوانیزه) پوشش داده شدند (شکل ۳). پوشش فلزی به‌عنوان مانعی کامل در برابر ذرات پاشمان یافته به‌صورت متمایل و هوایی عمل می‌کرد. در زیر جعبه‌ها ورقه‌ای پلاستیکی برای جمع‌آوری ذرات پاشمان یافته قرار گرفت. سپس ذرات خاک پاشمان یافته از هر جعبه که بر دیواره حفاظ فلزی چسبیده یا روی ورقه پلاستیکی ریخته بودند، جمع‌آوری و پس از خشک شدن در آون ۱۰۵ درجه سلسیوس وزن شد. شدت فرسایش پاشمانی براساس جرم خاک پاشمان یافته در واحد سطح جعبه و واحد زمان به‌دست آمد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های به‌دست آمده قبل از انجام تجزیه و تحلیل از نظر توزیع نرمال به‌روش هیستوگرام بررسی شدند. در مواردی که داده‌ها فاقد توزیع نرمال بودند با روش‌های رایج (لگاریتم‌گیری و غیره) دارای توزیع نرمال شدند. مقایسه اثر سطوح رطوبتی بر فرایندهای تخریب، تراکم و پاشمان به‌کمک آزمون دانکن انجام گرفت. برای مقایسه بین دو کاربری زمین از لحاظ متغیرهای مورد بررسی از آزمون t نمونه‌های جفتی استفاده شد. برای این منظور از نرم‌افزار SPSS استفاده شد، همچنین برای رسم نمودارها نیز از محیط نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک مرتع و کشاورزی

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مرتع و خاک کشاورزی در جدول (۱) ارائه شده است. خاک مارنی مرتع و کشاورزی دارای درصد بالایی رس (به‌ترتیب ۶۰/۱۲ درصد و ۵۷/۲۳ درصد) هستند و در گروه بافت رسی قرار می‌گیرند. خاک‌ها دارای مقدار اندکی ماده آلی هستند. با این وجود ترکیبات نمکی

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مرتع و خاک کشاورزی در غرب زنجان

ویژگی‌های فیزیکی	خاک مرتع	خاک کشاورزی	ویژگی‌های شیمیایی	خاک مرتع	خاک کشاورزی
درصد شن	۱۷/۳۸	۱۸/۵۰	واکنش خاک	۸/۱۲	۸/۰۱
درصد سیلت	۲۲/۵۰	۲۴/۲۷	هدایت الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)	۲/۰۵	۲/۳۹
درصد رس	۶۰/۱۲	۵۷/۲۳	درصد ماده آلی	۰/۷۸	۱/۱۱
جرم مخصوص ظاهری ($g\ cm^{-3}$)	۱/۴۴	۱/۴۵	درصد آهک	۱۶/۳۸	۱۶/۴۱
جرم مخصوص حقیقی ($g\ cm^{-3}$)	۲/۴۶	۲/۵۱	درصد سدیم تبادلی	۲۲/۰۱	۱۹/۰۹
تخلخل کل (٪)	۴۱/۴۶	۴۲/۲۳	درصد گچ	۱۱/۶۱	۲۳/۷۵
میانگین وزنی قطر خاکدانه در الک خشک (mm)	۴/۷۸	۴/۸۳			
پایداری خاکدانه در الک تر (mm)	۱/۰۴	۰/۷۶			
هدایت هیدرولیکی اشباع ($cm\ h^{-1}$)	۲/۸۷	۲/۴۵			

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای بارندگی پیشین بر تخریب خاکدانه‌ها و تراکم خاک در خاک مرتع و کشاورزی

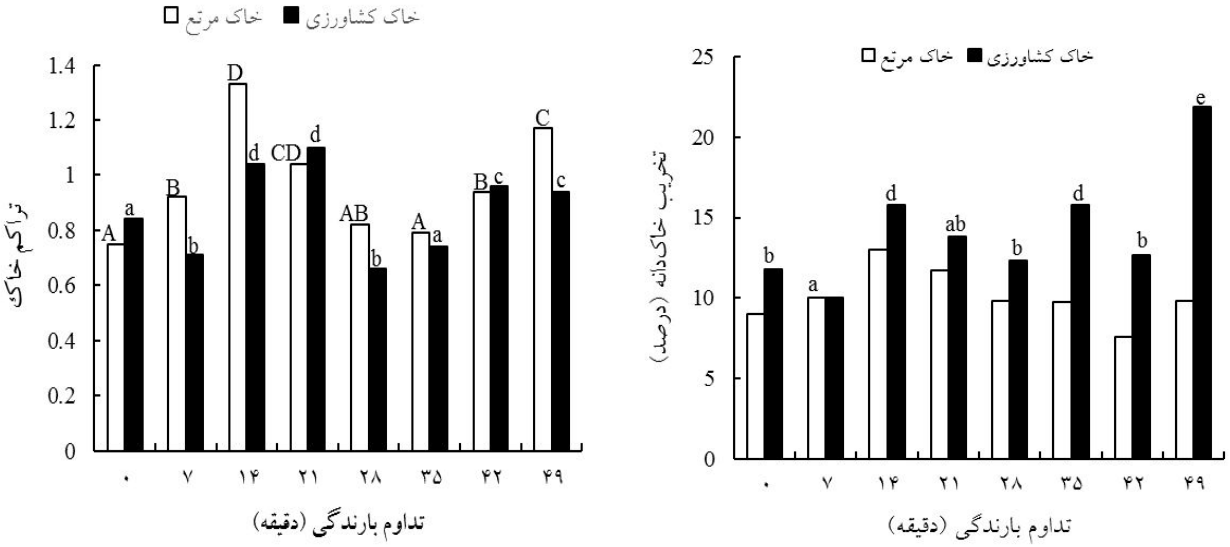
منبع تغییر	کاربری زمین	درجه آزادی	میانگین مربعات
تخریب خاکدانه	مرتع	۷	۰/۰۳
	کشاورزی	۷	۰/۱۹*
تراکم خاک	مرتع	۷	۰/۳۷**
	کشاورزی	۷	۰/۲۲*

*: معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد و **: معنی‌دار در سطح احتمال ۹۹ درصد

از جمله کربنات کلسیم و گچ در هر دو خاک بالا بود و نشان می‌دهد که عرصه‌های مارنی از نوع آهکی - گچی هستند. خاک مرتع و کشاورزی اگرچه در ظاهر دارای واحدهای خاکدانه‌ای درشت هستند (به‌ترتیب با میانگین قطر ۴/۷۸ و ۴/۸۳ میلی‌متر) لیکن پایداری خاکدانه‌ها در آب در مدت یک دقیقه بسیار پایین (به‌ترتیب ۱/۰۴ میلی‌متر و ۰/۷۶ میلی‌متر) است. زمانی‌که هم‌آوری ذرات رس و تشکیل خاکدانه به‌دلیل حضور یون‌های کلسیم یا مواد آلی باشد، رس‌ها نمی‌توانند در پیوند ذرات چندان مؤثر باشند و بنابراین مقدار کل رس، اثر قابل‌توجهی بر مقاومت خاکدانه‌ها نمی‌گذارد. نبود ساختمان مناسب عاملی برای پایین بودن نسبی تخلخل خاک‌ها است. مقدار تخلخل در خاک مرتع و کشاورزی به‌ترتیب ۴۱/۴۶ درصد و ۴۲/۲۳ درصد است. خاک‌های رسی به‌دلیل چسبندگی زیادی که دارند عملیات کشت‌وکار را تا حدودی با مشکل مواجه می‌کنند. این خاک‌ها در حالت خیس لغزنده شده و به همه چیز می‌چسبند و در حالت خشک بسیار سخت و سفت هستند. از این‌رو، هنگام انجام عملیات مکانیکی بایستی میزان رطوبت خاک به اندازه‌ای باشد که خاک آسیب نبیند. ترکیب کانی‌شناسی رس در مارن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. وجود رس‌های انبساط‌پذیر همچون مونتموریلونیت، حساسیت مارن‌ها را به فرسایش افزایش می‌دهد. هدایت هیدرولیکی اشباع خاک نیز به‌دلیل رسی بودن خاک و ساختمان ناپایدار، پایین (به‌ترتیب ۲/۸۷ و ۲/۴۵ سانتی‌متر در ساعت) است.

تفاوت تخریب خاکدانه و تراکم خاک تحت تأثیر باران پیشین

بررسی آماری تأثیر هشت تیمار بارندگی پیشین (صفر، ۷، ۱۴، ۲۱، ۲۸، ۳۵، ۴۲ و ۴۹ دقیقه) بر فرایند تخریب خاکدانه‌ها و تراکم خاک در دو خاک مارنی در جدول (۲) نشان داده شده است. میزان تخریب خاکدانه‌ها در خاک مرتع، تحت تأثیر بارندگی پیشین قرار نگرفت. در خاک کشاورزی باران پیشین،



(الف) (ب)

شکل ۴. الف) تراکم خاک و ب) تغییرات تخریب خاکدانه تحت تأثیر بارندگی پیشین در خاک مرتع و کشاورزی (حروف انگلیسی کوچک نتیجه انجام مقایسه‌های میانگین بین سطوح تداوم بارندگی در خاک کشاورزی و حروف انگلیسی بزرگ نتیجه انجام مقایسه‌های میانگین بین سطوح تداوم بارندگی در خاک مرتع هستند.)

اثری معنی‌دار بر تخریب خاکدانه‌ها (P<۰/۰۵) داشت. همچنین نتایج نشان داد که بارندگی پیشین اثری معنی‌دار بر میزان تراکم خاک در هر دو نوع خاک مرتع (P<۰/۰۱) و کشاورزی (P<۰/۰۵) داشت. به‌عبارت دیگر می‌توان نتیجه گرفت که مقدار بارندگی پیشین از ویژگی‌های مهم و مؤثر بر میزان تراکم خاک در خاک‌های مارنی مورد بررسی بود.

تغییرات تخریب خاکدانه و تراکم خاک تحت تأثیر باران پیشین

شکل (۴-الف) تغییرات تخریب خاکدانه‌ها در تیمارهای مختلف تداوم بارندگی در خاک مرتع و کشاورزی را نشان می‌دهد. در خاک کشاورزی، تخریب خاکدانه‌ها با افزایش مدت بارندگی، روندی افزایشی داشت. افزایش ضربه قطرات باران بر خاکدانه‌ها با افزایش تداوم بارندگی به‌عنوان عامل مکانیکی مهم در تخریب بیشتر خاکدانه‌ها بود. میزان خیس شدن خاکدانه‌ها نیز به‌نوبه خود در تخریب فیزیکی خاکدانه‌ها نقش دارد. گرچه در مقادیر پایین رطوبت، ذرات خاک به همدیگر چسبیده و تشکیل خاکدانه بیشتر می‌شود اما افزایش مقدار بارندگی و در نتیجه افزایش محتوای رطوبتی خاک، موجب کاهش نیروهای هم‌آور در خاک می‌شود. برخلاف این نتیجه، مارتینزمنا و همکاران در پژوهشی با بررسی نقش مقدار رطوبت اولیه خاک بر پایداری خاکدانه‌ها تحت بارانی با شدت ۴۵ میلی‌متر بر ساعت و سه سطح رطوبتی (نزدیک به اشباع، ظرفیت مزرعه‌ای و هواخشک) نشان دادند که پایداری خاکدانه‌ها در ۸۵ درصد از نمونه‌های مورد آزمایش در وضعیت‌های خیس بیشتر از خشک است (۱۸). اکبری و واعظی با بررسی تخریب خاکدانه‌ها تحت تأثیر ضربه قطرات باران و رابطه آن با پایداری خاکدانه در برخی خاک‌های منطقه نیمه‌خشک در زنجان نشان دادند که تفاوتی معنی‌دار بین خاک‌های مختلف از نظر میزان تخریب خاکدانه‌ها در اثر باران وجود داشت (P <۰/۰۰۱). همچنین تخریب خاکدانه‌ها تحت تأثیر پایداری خاکدانه‌ها در روش الک تر قرار نگرفت. با این وجود، تخریب خاکدانه‌ها همبستگی منفی معنی‌داری با پایداری خاکدانه‌ها در آزمون قطره داشت (۱).

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر بارندگی پیشین بر پاشمان ذرات خاک در باران بعدی در خاک مرتع و کشاورزی

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	معنی‌داری
خاک مرتع	۷	۳۷/۵۶	۲/۵۴	۰/۰۴۸*
خاک کشاورزی	۷	۱۵۶/۳۷	۳/۱۹	۰/۰۲۶*

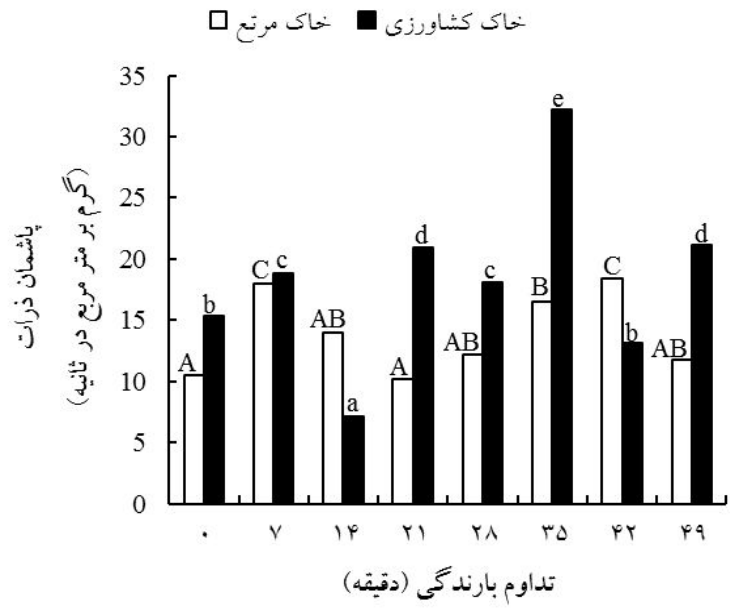
*: معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد

شکل (۴–ب) تغییرات تراکم خاک در تیمارهای مختلف تداوم بارندگی در دو خاک مرتع و کشاورزی را نشان می‌دهد. در خاک مرتع، بیشترین میزان تراکم (۱/۳۳) در تداوم باران ۱۴ دقیقه مشاهده شد. در این خاک، در تداوم‌های (از صفر تا ۱۴ دقیقه) با افزایش رطوبت، میزان تراکم خاک به‌شدت افزایش یافت که دلیل این امر را می‌توان ناپایداری خاکدانه‌های خشک و حساسیت بالای آنها در تماس با آب دانست؛ به‌طوری‌که در این دامنه رطوبتی، مقدار تخریب خاکدانه‌ها نیز روندی افزایشی نشان داد. در تداوم‌های بیشتر باران، روند مشخصی در تراکم خاک مشاهده نشد. علت این موضوع را می‌توان حساسیت بالای خاکدانه‌ها به تخریب در اثر آب دانست. در خاک کشاورزی، الگوی مشخصی از نظر تأثیر تداوم بارندگی پیشین بر تراکم خاک مشاهده نشد شکل (۴–ب). بیشترین مقدار تراکم (۱/۱۰) در تداوم باران ۲۱ دقیقه و کمترین آن (۰/۶۶) در تداوم باران ۲۸ دقیقه مشاهده شد. به‌نظر می‌رسد رفتار خاک‌های مارنی آهکی – گچی در برابر آب و بارندگی بسیار پیچیده است و این پیچیدگی در خاک‌های دست‌خورده (کشاورزی) دوچندان است.

تغییرات پاشمان ذرات تحت تأثیر باران پیشین

در نمونه‌های خاک مارنی مرتع و کشاورزی که تحت تأثیر هشت تداوم باران پیشین قرار گرفته بودند، مقدار پاشمان ذرات در معرض بارانی با شدت ۴۰ میلی‌متر بر ساعت بررسی شد و بررسی آماری اثر هشت تداوم بارندگی پیشین بر فرایند پاشمان ذرات خاک نشان داد که میزان پاشمان ذرات خاک در هر دو خاک تحت تأثیر تداوم بارندگی پیشین قرار گرفت ($P<0/05$) جدول (۳). این نتیجه نشان می‌دهد که از یک‌سو مقدار فرسایش بارانی در هر رخداد بارندگی متأثر از میزان رطوبت خاک ناشی از باران پیشین قرار دارد و از سوی دیگر بارندگی پیشین با تخریب خاکدانه‌ها و تبدیل آنها به ذرات اولیه، شرایط را برای وقوع پدیده پاشمان فراهم می‌کند (در خاک مارنی کشاورزی). همچنین افزایش تراکم خاک در اثر تخریب خاکدانه‌ها عاملی برای خیس شدن بیشتر لایه سطحی و تسهیل فرایند پاشمان است. گرچه رطوبت خاک در مقادیر بسیار اندک (هیگروسکوپیک)، عاملی در پیوند ذرات خاک به ویژه ذرات رس به‌یکدیگر است اما در مقادیر بیشتر مانند شرایط بارندگی، عاملی در گسست ذرات از یکدیگر است. ذرات گسسته از یکدیگر در برابر پاشمان قطرات حساس هستند. فراوانی بیشتر ذرات رس در خاک مارنی حساسیت آن را به فرسایش پاشمانی افزایش می‌دهد.

شکل (۵) تغییرات پاشمان ذرات خاک در تیمارهای مختلف تداوم بارندگی در خاک مرتع و کشاورزی را نشان می‌دهد. در خاک مرتع با افزایش تداوم بارندگی، تغییرات مقدار پاشمان از الگوی مشخص افزایشی یا کاهشی پیروی نکرد. بیشترین مقدار پاشمان (۱۸/۴ گرم بر مترمربع در ثانیه) در تداوم بارندگی ۴۲ دقیقه مشاهده شد. در خاک کشاورزی نیز با افزایش تداوم بارندگی، مقدار پاشمان از روند افزایشی یا کاهشی مشخصی پیروی نکرد. بیشترین مقدار پاشمان (۳۲/۲ گرم بر مترمربع در ثانیه) در تداوم باران ۳۵ دقیقه و کمترین مقدار آن (۷/۱ گرم بر مترمربع در ثانیه) در تداوم بارندگی ۱۴ دقیقه بود. به‌طورکلی می‌توان گفت که تفاوت سطوح تداوم بارندگی تأثیر متفاوتی بر میزان پاشمان ذرات خاک دارد که می‌توان آن را ناشی از حساسیت بالای خاک‌های مارنی به تخریب ساختمان در اثر ضربه مکانیکی قطرات باران، خیس

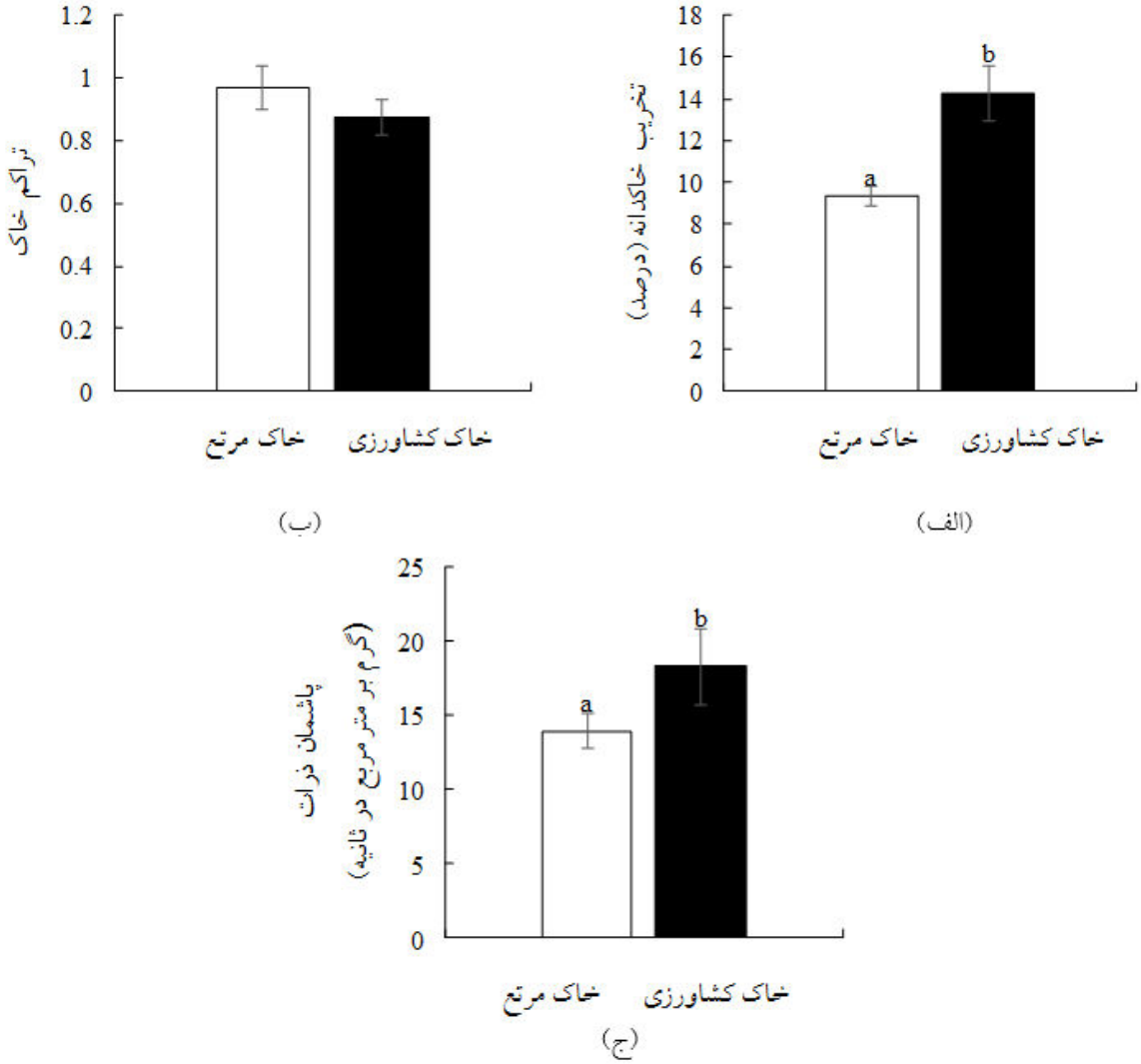


شکل ۵. تغییرات پاشمان ذرات خاک در تیمارهای مختلف رطوبتی در خاک مرتع و کشاورزی (حروف انگلیسی کوچک نتیجه انجام مقایسه‌های میانگین بین سطوح تداوم بارندگی در خاک کشاورزی و حروف انگلیسی بزرگ نتیجه انجام مقایسه‌های میانگین بین سطوح تداوم بارندگی در خاک مرتع هستند.)

شدن سریع و در دسترس قرارگرفتن بیشتر ذرات اولیه مانند رس دانست. در پژوهشی واتونگ و همکاران نشان دادند که مقدار رطوبت اولیه خاک تأثیر معنی‌داری روی پاشمان کل و نیز روی پاشمان اندازه‌های مختلف خاکدانه‌ها ندارد، همچنین تفاوت معنی‌داری بین مقدار کل پاشمان ذرات در حالت‌های خشک و تر مشاهده نشد (۲۸).

اثرات کاربری زمین بر فرایندهای فرسایش بارانی

مقایسه شدت فرایندهای تخریب خاکدانه، تراکم خاک و پاشمان ذرات بین دو خاک با کاربری متفاوت (مرتع و کشاورزی) نشان داد که مقدار تخریب خاکدانه و پاشمان ذرات در خاک کشاورزی به‌ترتیب ۱/۴۱ و ۱/۳۱ برابر مقدار آنها در خاک مرتع بود با این وجود مقدار تراکم خاک در خاک کشاورزی ۱۱ درصد کمتر از خاک مرتع شد شکل (۶). مقایسه آماری مقادیر تخریب خاکدانه، تراک خاک و پاشمان ذرات بین دو کاربری زمین (مرتع و کشاورزی) با استفاده از آزمون t جفتی نشان داد جدول (۴) که کاربری زمین اثری معنی‌دار بر مقدار تخریب خاکدانه ($P<۰/۰۱$) و پاشمان ذرات ($P<۰/۰۵$) در اثر باران داشت درحالی که اثر کاربری زمین بر مقدار تراکم خاک در اثر باران معنی‌دار نبود. این نتیجه بیانگر آن است که در خاک مارنی مورد بررسی، کاربری زمین عاملی مهم در تخریب فیزیکی و پاشمان ذرات خاک داشت. همچنین این موضوع بیانگر آن است که تغییر کاربری زمین در مارن‌ها و انجام عملیات کشاورزی روی این خاک‌ها که به‌طور کلی دارای ساختمان ضعیف و ناپایدار هستند، باعث افزایش تخریب خاکدانه و در نتیجه افزایش پاشمان ذرات خاک می‌شوند. پایین بودن جزئی مقدار تراکم در خاک مرتع را می‌توان به افزایش مقدار پاشمان ذرات ریز از سطح دانست. با از دست رفتن این ذرات از سطح، ذرات ریز کمتری موجود است که بتوانند منافذ درشت را پر کرده و موجب افزایش تراکم خاک سطحی شوند. دنر و همکاران اثر تغییر کاربری زمین را بر ویژگی‌های وابسته به ساختمان خاک در یک خاک اندی‌سول در ژاپن مطالعه



شکل ۶. نقش کاربری زمین روی الف) تراکم خاک، ب) تخریب خاکدانه و ج) پاشمان ذرات در خاک مارنی
حروف a و b بیانگر وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد (p <۰/۰۵) است.

کردند. نتایج نشان داد که تغییر کاربری جنگل به مرتع، خاک را در معرض تنش‌های آبی و مکانیکی قرار داده و باعث تغییر رفتار دینامیکی خاک شده است. همچنین نتایج نشان‌دهنده حساسیت زیاد جرم مخصوص ظاهری، توزیع اندازه منافذ و هدایت هیدرولیکی به تغییر کاربری اراضی بود (۷). خلیل مقدم و همکاران نیز اثر تغییر کاربری اراضی را بر فرسایش پاشمانی بررسی کردند. نتایج مطالعه آنها بیان‌کننده تأثیرپذیری فرسایش پاشمانی از کاربری اراضی و شیوه مدیریت خاک بود (۱۴).

نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که تغییر کاربری زمین در عرصه‌های مارنی منجر به افزایش حساسیت خاک عرصه‌ها به فرایندهای فرسایش بارانی می‌شود. به‌طور کلی مقدار تخریب خاکدانه و پاشمان ذرات در خاک کشاورزی به‌ترتیب ۱/۴۱ و ۱/۳۱ برابر مقدار آنها در خاک مرتع بود و این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار بود. مقدار تراکم خاک در خاک کشاورزی ۱۱ درصد کمتر از خاک مرتع بود. با این حال این تفاوت معنی‌دار نبود. میزان حساسیت به فرایندهای فرسایش بارانی، به شرایط خاک

جدول ۴. مقایسه تخریب خاکدانه، تراکم خاک و پاشمان ذرات بین دو کاربری زمین (مرتع و کشاورزی)

منبع تغییرات	درجه آزادی	اختلاف میانگین	t	معنی‌داری
تخریب خاکدانه	۴۶	-۴/۹۲	-۳/۵۸	۰/۰۰۳**
تراکم خاک	۴۶	۰/۰۹	۱/۰۵	۰/۳۱
پاشمان ذرات	۴۶	-۴/۳۸	-۱/۵۵	۰/۰۴*

*: معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد و **: معنی‌دار در سطح احتمال ۹۹ درصد

پیش از بارندگی بستگی دارد. باران‌های پیشین با تخریب خاکدانه‌ها و افزایش محتوای رطوبتی خاک، زمینه را برای وقوع فرایندهای فرسایش بارانی در باران بعدی تسهیل می‌کنند. در خاک‌های کشاورزی به‌دلیل عملیات کشاورزی، پایداری خاکدانه‌ها در آب کاهش پیدا می‌کند. از این‌رو تأثیر باران بعدی بر میزان فرایندهای تخریب و پاشمان در آن بیشتر از خاک مرتع است. به‌طورکلی این پژوهش مؤید آن است که تغییر شرایط طبیعی عرصه‌های مارنی، منجر به ناپایداری خاکدانه‌ها و تشدید فرایندهای فرسایش بارانی می‌شود. رطوبت پیشین خاک یکی از عوامل مهم در پیش‌بینی شدت وقوع این فرایندها در هر بارندگی است.

منابع مورد استفاده

1. Akbari, S. and A. R. Vaezi. 2015. Investigating aggregates stability against raindrops impact in some soils of a semi-Arid region, North West of Zanjan. *Water and Soil Science* 25(2): 65-77. (In Farsi).
2. Angers, D. A. and G. R. Mehuys. 1993. Aggregate stability to water. *Soil Sampling and Methods of Analysis* 651-657.
3. Baliani, A. and A. R. Vaezi. 2017. The susceptibility of different texture soils to splash erosion under different rainfall intensity and antecedent water content. *Journal of Water and Soil Conservation* 24(2): 67-85. (In Farsi).
4. Carter, M. R. and E. G. Gregorich. 2008. Soil Sampling and Methods of Analysis. Second Edition. Canadian Soc. of Soil Sci. Pub. ISBN10: 0-8493-3586-8.
5. Celik, M. 2005. Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. *Soil and Tillage Research* 83: 270–277.
6. Chen, L., Z. Huang, J. Gong, B. Fu and Y. Huang. 2007. The effect of land cover/vegetation on soil water dynamic in the hilly area of the loess plateau, China. *Catena* 70(2): 200-208.
7. Dorner J., D. Dec, X. Peng and R. Horn. 2010. Effect of land use change on the dynamic behavior of structural properties of an Andisol in southern Chile under saturated and unsaturated hydraulic conditions. *Geoderma* 159: 189-197.
8. Eugenia, G. G., V. Andreu and J. L. Rubio. 2007. Influence of vegetation recovery on water erosion at short and medium-term after experimental fires in a Mediterranean shrubland. *Catena* 69: 150-160.
9. Fu, S., B. Liu, H. Liu and L. Xu. 2011. The effects of slope on interrill erosion at short slopes. *Catena* 84: 29-34.
10. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle-Size Analysis. PP. 381-411. *In:* Klute A. (Ed.), Methods of Soil Analysis: Part 1-Physical and Mineralogical Methods, Society of Agronomy, U.S.A.
11. Goh, T. B., R. J. S. Arnaud and A. R. Mermut. 1993. Aggregate stability to water. Pp: 177–180. *In:* Carter, M. R. (Ed.), Soil Sampling and Methods of Analysis. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers, Boca Raton
12. Grossman, R. B. and T. G. Reinsch. 2002. 2.1 Bulk Density and Linear Extensibility. PP. 201-228. *In:* A. Dane, and G.C. Topp (Eds.), Methods of Soil Analysis: Part 4- Physical Methods. Society of Agronomy, U.S.A.
13. Jiao, J. Y., J. Tzanopoulos, P. Xofis and J. Mitchley. 2008. Factors affecting distribution of vegetation types on abandoned cropland in the hilly-gullied Loess Plateau region of China. *Pedosphere* 18: 24-33.
14. Khalili Moghadam, B., M. Jabarifar, M. Bagheri and E. Shahbazi. 2015. Effects of land use change on soil splash erosion in the semi-arid region of Iran. *Geoderma* 241: 210-220.
15. Kiani-Harchegani, M. and S. H. R. Sadeghi. 2017. Effects of consecutive storms on splash erosion components for two different rainfall intensities under laboratory conditions. *Iranian Journal of Ecohydrology* 4(3): 837-846. (In Farsi).

16. Klute, A. and C. H. Dirksen. 1986. Hydraulic Conductivity and Diffusivity. PP. 687-734. *In:* A. Klute (Ed.) Methods of Soil Analysis: part 1-Physical and Mineralogical Methods, Society of Agronomy, U.S.A.
17. Loch, R. J. and C. Pocknee. 1995. Effect of aggregation on soil erodibility: *Australian experience Journal of Soil and Water Conservation* 50: 504-506.
18. Martinez-Mena, M., A. G. Williams, J. L. Ternan and C. Fitzjohn. 1998. Role of antecedent soil water content on aggregates stability in a semi-arid environment. *Soil and Tillage Research* 48: 71-80.
19. Page, A. L. 1982. Method of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Oroperties. Soil Science Society of American Madison, Wisconsin, USA.
20. Ruiz-Sinoga, J. D. and A. Romero Diaz. 2010. Soil degradation factors along a Mediterranean pluviometric gradient in southern Spain. *Geomorphology* 118(3): 359-368.
21. Soltani-Gerdefaramarzi, S., N. Ghezelseflue and M. Boroghani. 2014. Change of splash erosion rate in rainfall different duration and intensity on marl soils. *Environmental Erosion Research Journal* 15(3): 72.84. (In Farsi).
22. Steiner, K. G. 1996. Causes of soil degradation and development approaches to sustainable soil management. (English version by Richard Williams). CTZ, Margraf Verlag.
23. Vaezi A. R. and H. Gharehdaghli. 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 Farsi).
24. Vaezi, A. R., A. Rostami and M. H. Mohammadi. 2012. Temporal variation of soil degradation and splash processes in Marl under Simulated rainfall. *Journal of Soil Research* 25(4): 362-371. (In Farsi).
25. Vaezi, A. R., S. H. R. Sadeghi, H. A. Bahrami and M. H. Mahdian. 2008. Modeling the USLE K-factor for calcareous soils in northwestern Iran. *Geomorphology* 97: 414-423.
26. Valettea, S., L. Prevosta, Laurent and J. Lucasa. 2006. SoDA project: A simulation of soil surface degradation by rainfall. *Gilles Computers & Graphics* 30: 494–506.
27. Walkley, A. and A. Black. 1947. Determination of organic matter in the soil by chromic acid digestion. *Soil Science* 63: 251–264.
28. Watung, R. L., R. A. Sutherland and S. A. El-Swaify. 1996. Influence of rainfall energy flux density and antecedent soil moisture content on splash transport and aggregate enrichment ratios for a Hawaiian Oxisol. *Soil Science* 9: 251-272.
29. Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses : a guide to conservation planning. Agriculture Handbook No.537.US Department of Agriculture, Washington DC.

Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources) Vol. 23, Special Issue of Flood and Soil Erosion, Winter 2020, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

The Effects of Land Use Change on the Rainfall Erosion Processes in a Marl Soil under Simulated Rainfalls in the West of Zanjan

A. R. Vaezi*, Sh. Karimi and M. Foroumadi[1]

(Received: September 23-2017; Accepted: January 24-2018)

Abstract

Rainfall erosion is the first type of water erosion on the land which is affected by various factors such as land use change and previous rainfall. This study was carried out to investigate the influence of previous rainfalls on the process of rainfall erosion in two marl soils (pasture and that changed to agriculture) under the simulated rainfall. Toward this goal, aggregate samples with the diameters of 6 to 8 mm were randomly collected from the marl areas in the west of Zanjan. Soil aggregates were packed into 48 boxes with the dimension of 30×40 cm to examine the effects of eight rainfall durations with three replications. Eight simulated rainfalls with the duration of 0, 7, 14, 21, 28, 35, 42 and 49 min and a constant intensity of 40 mm h^{-1} were used in the experiment. The soils were exposed to another simulated rainfall with 40 mm h^{-1} in terms of intensity for 15 min to study the rainfall erosion processes. The results showed that the aggregate breakdown was significantly affected by the previous rainfalls in the pasture soil ($P<0.01$), while there was no significant difference among the previous rainfalls in the case of agriculture soil. Soil compaction and particles splash were significantly affected by previous rainfalls ($P<0.05$). Aggregate breakdown and particles splash were 1.41 and 1.31 times bigger than their values in the pasture soil. This study, therefore, revealed that the land use change in the mal areas increases the soil vulnerability to rainfall erosion processes. The rate of rainfall erosion processes in each rainfall event depends on the amount of previous rainfall. Increasing aggregate break down and soil water content by the previous rainfall could significantly influence the splash erosion rate in a marl soil.

Keywords: Particles splash, Aggregate breakdown, Soil compaction, Land use change, Marl formations

1. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: vaezi.alireza@gmail.com