



ISSN 2251-7480

بررسی شاخص‌های فرسایش سطحی خاک و ارتباط آن‌ها با خصوصیات دامنه در مراتع منطقه نیمه‌خشک

علی‌رضا واعظی^{۱*}، زهرا بیات^۲ و مجید فرومدی^۳

^{۱*} دانشیار؛ گروه علوم خاک؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه زنجان؛ زنجان؛ ایران

^۲ نویسنده مسئول مکاتبات: Vaezi.alireza@gmail.com

^۳ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد؛ گروه علوم خاک؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه زنجان؛ زنجان؛ ایران

^۳ دانشجوی دکتری؛ گروه علوم خاک؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه زنجان؛ زنجان؛ ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۲۷

چکیده

فرسایش سطحی یکی از مهم‌ترین عوامل تخریب خاک و کاهش تدریجی باروری خاک می‌باشد. مطالعات اندکی در مورد شاخص‌های فرسایش سطحی در دامنه‌های مرتعی منطقه نیمه‌خشک انجام گرفته است. این مطالعه به منظور بررسی شاخص‌های فرسایش سطحی و رابطه آن‌ها با خصوصیات دامنه در منطقه‌ای نیمه‌خشک انجام شد. برای این منظور پنج دامنه جنوبی تحت فرسایش سطحی با شیب‌های متفاوت (۹، ۱۳، ۱۷، ۳۱ و ۳۳ درصد) در زنجان مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌های خاک از دو عمق (صفر تا ۵ و ۵ تا ۱۵ سانتی‌متر) در چهار موقعیت با فاصله دو متر در طول شیب در دو تکرار تهیه و در کل ۸۰ نمونه خاک برای آزمایش‌های توزیع اندازه ذرات برداشت شدند. شاخص‌های فرسایش سطحی بر اساس نسبت قطر ذرات خاک در فراوانی ۴۰، (d₄₀/d₄₀)، ۵۰، (d₅₀/d₅₀)، ۶۰، (d₆₀/d₆₀) و ۷۰ درصد (d₇₀/d₇₀) به دست آمد. هم‌چنین نسبت میانگین وزنی قطر ذره (MWD_{p1}/MWD_{p2})، میانگین هندسی (dg₁/dg₂) و انحراف معیار هندسی (δg₁/δg₂) در خاک سطحی به خاک زیرسطحی تعیین شد. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش تفاوت‌های معنی‌دار بین دامنه‌ها از نظر شاخص‌های فرسایش سطحی وجود داشت اما بین موقعیت‌ها روی دامنه، تفاوت چشم‌گیری مشاهده نگردید. در دامنه‌های با شیب بالا، فراوانی ذرات ریزدانه (سیلت و رس) و مواد آلی در خاک سطحی به شدت کم بود. تجزیه و تحلیل نتایج رگرسیون خطی نشان داد که نسبت میانگین وزنی قطر ذرات (MWD_{p1}/MWD_{p2}) رابطه‌ای قوی با شیب دامنه (R²=۰/۵۱ و P<۰/۰۰۱) دارد. این پژوهش نشان داد که نسبت میانگین وزنی قطر ذرات (MWD_{p1}/MWD_{p2}) شاخصی مناسب برای ارزیابی فرسایش سطحی در دامنه‌های منطقه نیمه‌خشک مورد بررسی است.

کلیدواژه‌ها: پوشش گیاهی؛ تخریب خاک؛ درجه شیب؛ فرسایش دامنه

مقدمه

خاک به دلیل انرژی جنبشی بالای آن‌ها، نقش مؤثرتری در مقایسه با رواناب دارند. این در حالی است که، رواناب عامل اصلی انتقال ذراتی است که در اثر عوامل مختلف مانند ضربه قطرات باران و شخم از خاک‌دانه‌ها جدا شده و به صورت ناپایدار درآمد‌اند. بررسی‌ها نشان می‌دهد فرسایش سطحی در اثر رواناب سطحی کم‌عمق رخ

فرسایش سطحی^۱ به فرآیند جدا شدن ذرات از لایه نازک خاک سطحی در اثر ضربه قطرات باران یا جریان سطحی کم‌عمق اطلاق می‌شود (Descroix et al., 2008). قطرات باران در تخریب ساختمان خاک و جداسازی ذرات

¹ Surface erosion

می‌دهد (Dlamini et al., 2011). جریان‌های سطحی کم‌عمق، ذرات حساس خاک را از سطح تخلیه نموده و این مواد با توجه به اندازه، چگالی، شکل و شرایط حاکم بر جریان به شکل‌های مختلف به سمت پایین‌دست منتقل می‌شوند (Kinnell, 2006). در طولانی‌مدت در اثر وقوع فرسایش سطحی، خاک دامنه از نظر دانه‌بندی، درشت‌تر شده و خاک مناطق رسوب‌گذاری شده نیز ریزتر می‌شود (Morgan et al., 1998) که تجمع سنگ‌ریزه‌ها و قلوه‌سنگ‌ها در سطح خاک، نشان‌دهنده وقوع این نوع فرسایش می‌باشد (Riss and Faucette, 2002). فرسایش سطحی از اشکال مهم فرسایش آبی در دامنه‌های با شیب کم و پوشش گیاهی ضعیف است و وقوع رگبارهای شدید طی فصول خشک، از عوامل مهم در وقوع این نوع فرسایش در منطقه خشک و نیمه‌خشک می‌باشد (Defersha et al., 2011).

فرسایش سطحی توسط پژوهشگران مختلفی در سراسر جهان مورد بررسی قرار گرفته است. در مطالعه‌ای Celso (۱۹۹۷) به تهیه مدل فرسایش سطحی در مناطق نیمه‌خشک برزیل پرداخت. نتایج نشان داد که مقدار فرسایش سطحی تحت تأثیر شدت بارندگی، درجه و طول شیب قرار گرفته و با افزایش این عوامل، سرعت جریان آب، شدت جداسازی ذرات و انتقال آن‌ها روی شیب افزایش یافت. Dennis و Rorke (۱۹۹۹) به بررسی رابطه بین هدررفت خاک و درجه شیب در فرسایش سطحی پرداختند. نتایج نشان داد که فرسایش سطحی به شدت تحت تأثیر درجه شیب دامنه قرار دارد. نتایج بررسی‌های Kinnell (۲۰۰۰) نشان داد که با افزایش شیب به‌خصوص در مقادیر بیش از ۱۰ درصد، غلظت رسوب افزایش چشم‌گیری می‌یابد. Mamedov و همکاران (۲۰۰۲) به بررسی اثرات رطوبت و سدیمی بودن خاک بر فرسایش سطحی در خاک‌های نیمه‌خشک فلسطین اشغالی پرداختند. نتایج نشان داد که با افزایش رطوبت و درصد سدیم تبادل، میزان فرسایش سطحی افزایش یافت. یافته‌های Zhang و همکاران

(۲۰۰۳) نشان داد که با افزایش شیب، شدت جریان و تنش برشی آب افزایش یافت و منجر به تشدید جدا شدن ذرات به‌وسیله جریان سطحی شد. Ekwue و همکاران (۲۰۰۹) در پژوهشی آزمایشگاهی، با بررسی اثر نوع خاک (لوم سنی، لوم رسی و رسی) و اصلاح‌کننده‌های خاک (پیت و کود حیوانی) تحت جریان روزمینی در درجات مختلف شیب (۹ تا ۳۰ درصد) نشان دادند که با افزایش درجه شیب، شستشوی خاک سطحی افزایش یافته و با مصرف اصلاح‌کننده‌ها مقدار فرسایش سطحی کاهش می‌یابد. هم‌چنین اثر اصلاح‌کننده‌های خاک به نوع خاک و درجه شیب آن بستگی دارد. Dlamini و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی عوامل مؤثر بر فرسایش سطحی در زمین‌های شیب‌دار (۱۸ تا ۲۶ درصد) در زیمباوه نشان دادند که پوشش گیاهی تأثیر غالبی بر کاهش فرسایش سطحی خاک دارد. Kateb و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که با افزایش شیب به‌دلیل افزایش قدرت جریان، فرسایش سطحی و میزان فرسایش سطحی افزایش می‌یابد. Liu و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی به بررسی اثر کاه و کلش برای کنترل مقدار رسوب و فرسایش سطحی در مزارع کائوچو در چین پرداختند. نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها نشان داد که مقدار رسوب و فرسایش سطحی در خاک‌های پوشانده شده با کاه و کلش به ترتیب ۱/۷ و ۲/۳ برابر کم‌تر از خاک‌های فاقد پوشش کاه و کلش بود.

فرسایش سطحی توسط پژوهشگران ایرانی نیز مورد بررسی قرار گرفته است. محمودآبادی و سیرجانی (۱۳۹۱) به بررسی فرآیندها انتقال ذرات در فرسایش سطحی در دو خاک با توزیع اندازه ذرات متفاوت و با استفاده از فلوم آزمایشگاهی پرداختند. آزمایش‌ها از طریق ایجاد ترکیب‌های مختلف شیب (۱/۵ و دو درصد) و دبی جریان (۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵، ۱۵۰، ۱۷۵ و ۲۰۰ میلی‌لیتر در ثانیه) انجام شد. نتایج نشان داد که شرایط هیدرولیکی جریان و هم‌چنین خاک، نقش مهمی در انتقال انتخابی ذرات رسوب ایفاء می‌کند. صادقی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی به

بررسی توزیع اندازه ذرات پاشمان تحت تأثیر شیب‌ها و شدت‌های مختلف بارندگی پرداختند. نتایج نشان داد که شدت بارندگی تأثیر معنی‌داری بر همه مؤلفه‌ها غیر از ذرات کوچک‌تر از ۲ میکرون و چولگی ذرات رسوبی در بالادست فنجان پاشمان داشت. در پایین‌دست فنجان پاشمان همه مؤلفه‌ها غیر از D_{10} جورشدگی و کشیدگی ذرات رسوبی نسبت به شدت‌های مختلف بارندگی، شیب‌های مختلف و تعامل آنها دارای اختلاف معنی‌دار ($P < 0.05$) بودند. واعظی و عبادی (۱۳۹۶) به بررسی انتقال‌پذیری ذرات اولیه خاک به‌وسیله فرسایش سطحی روی یک خاک میان‌بافت در نه شدت باران (از ۱۰ تا ۹۰ میلی‌متر بر ساعت) و پنج درجه شیب (از صفر تا ۴۰ درصد) پرداختند. نتایج نشان داد که انتقال‌پذیری ذرات توسط جریان سطحی نیز به‌شدت تحت تأثیر شدت باران و شیب سطح قرار گرفت ($P < 0.001$). کیانی‌هرچگانی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی به بررسی تغییرپذیری برخی مؤلفه‌های توزیع اندازه ذرات رسوب تحت باران شبیه‌سازی شده پرداختند. نتایج بیان‌گر وابستگی بیش‌تر غلظت رسوب به درجه شیب نسبت به شدت بارندگی بود. همچنین، مقایسه مقادیر درصد ذرات کوچک‌تر از دو میکرون و مؤلفه D_{10} در شیب‌های مختلف بیان‌گر اختلاف معنی‌دار آن‌ها در شیب ۵ درصد در شدت بارندگی ۶۰ و ۹۰ میلی‌متر بر ساعت بود.

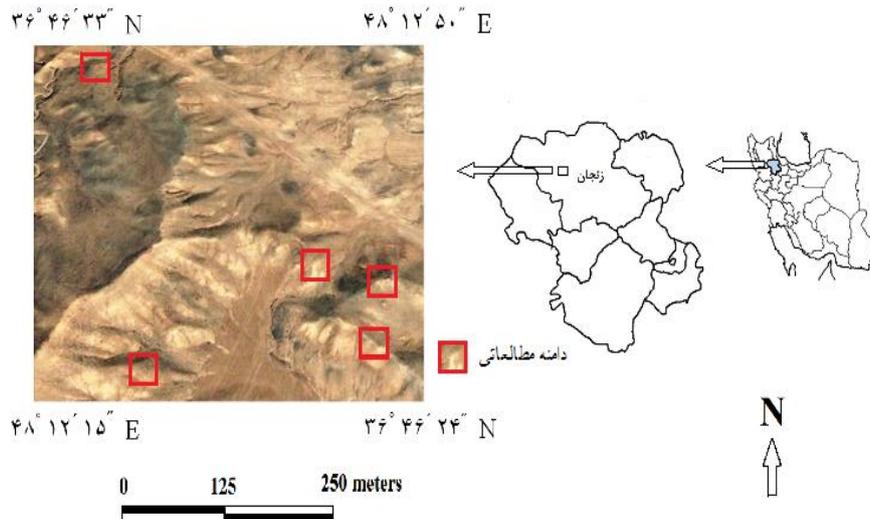
بررسی منابع نشان می‌دهد که اغلب مطالعات پیشین در ارتباط با عوامل مؤثر بر فرسایش سطحی (شدت باران، درجه شیب و ...) بوده و در مقیاس آزمایشگاهی و تحت باران شبیه‌سازی شده انجام گرفته است. در برخی مطالعات نیز به بررسی دانه‌بندی ذرات رسوب و مقایسه آن با خاک اصلی پرداخته شده است. با این حال هنوز اطلاعات کافی در مورد عوامل مؤثر بر فرسایش سطحی و شدت وقوع فرسایش سطحی در دامنه‌های مرتعی منطقه نیمه‌خشک که اغلب دارای پوشش گیاهی ضعیف می‌باشند، وجود ندارد.

اگر چه برای مطالعه فرسایش سطحی روی دامنه می‌توان از دستگاه شبیه‌ساز باران استفاده کرد، با این حال به‌کارگیری این سامانه در ابعاد بزرگ و در سراسر دامنه امکان‌پذیر نیست. از این‌رو به‌ناچار می‌توان با بررسی پیامدهای فرسایش سطحی، به شدت وقوع فرسایش سطحی در دامنه پی برد. یکی از این روش‌ها در این زمینه، مطالعه توزیع اندازه ذرات در خاک سطحی و زیرسطحی است. خاک سطحی به‌عنوان بالاترین بخش نیم‌رخ خاک در معرض فرآیندهای فرسایشی می‌باشد درحالی‌که خاک زیرسطحی تحت فرآیندهای فرسایشی مانند جدا شدن و انتقال قرار نمی‌گیرد. تغییرات توزیع اندازه ذرات خاک بین این دو بخش عمدتاً به شیب دامنه، ویژگی‌های خاک و پوشش گیاهی وابسته است. بنابراین در دامنه‌هایی که متأثر از فرسایش سطحی می‌باشند، می‌توان با بررسی دانه‌بندی ذرات خاک سطحی و زیرسطحی، چشم‌اندازی از وضعیت فرسایش سطحی در دامنه‌ها را به دست آورد و بر اساس دانه‌بندی ذرات خاک می‌توان شاخص‌هایی را برای فرسایش سطحی (d_{40} ، d_{50} و ...) مورد ارزیابی قرار داد. از این‌رو هدف از این مطالعه تعیین شاخص‌های مختلف دانه‌بندی ذرات خاک برای فرسایش سطحی و بررسی رابطه آن‌ها با ویژگی‌های دامنه (شیب و سایر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک) بود. در این راستا مطالعه حاضر در دامنه‌های مرتعی با پوشش گیاهی ضعیف واقع در منطقه‌ای نیمه‌خشک انجام گرفت تا تأثیر پوشش گیاهی بر تغییرات توزیع اندازه ذرات و فرسایش سطحی ناچیز باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در غرب استان زنجان در اطراف روستای یامچی که در ۲۵ کیلومتری جاده قدیم زنجان به میانه واقع شده است، قرار دارد. مختصات جغرافیایی منطقه نمونه‌برداری در ۴۸ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۴۶ دقیقه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱).

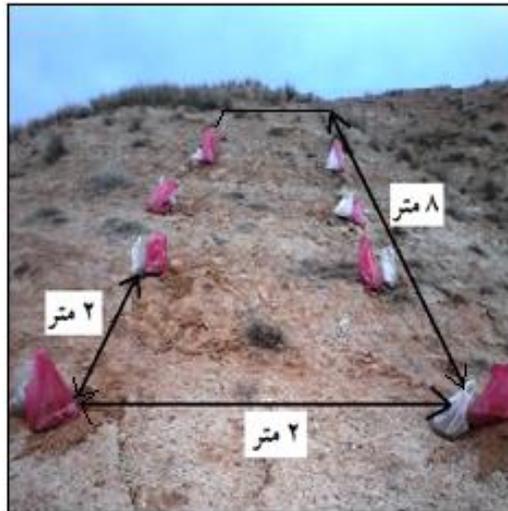


شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و محل نمونه‌برداری خاک

نمونه‌برداری خاک

در این پژوهش، پنج تپه با شیب‌های متفاوت شامل ۹، ۱۳، ۱۷، ۳۱ و ۳۳ درصد در جهت جنوبی مورد بررسی قرار گرفت. در انتخاب دامنه‌های مذکور هدف، دستیابی به دامنه‌هایی با شیب یکنواخت، با پوشش گیاهی بسیار ضعیف و بدون چرای دام یا عملیات کشاورزی بود. در دامنه‌های شمالی با توجه به حفظ رطوبت در خاک، فرآیندهای فرسایشی ضعیف‌تر از دامنه‌های جنوبی هستند (Vaezi et al., 2008). از این‌رو تمام دامنه‌های مورد بررسی در جهت رو به جنوب انتخاب شدند. دامنه‌های مورد مطالعه دارای طول شیب کوتاه از ۸ تا ۱۲ متر بودند. برای نمونه‌برداری خاک در امتداد شیب دو خط (به عنوان تکرار) با فاصله ۲ متر در بخشی از عرض دامنه که درجه شیب یکنواخت بود، در نظر گرفته شد. بر روی هر خط، طول دامنه به چهار قسمت با طول ۲ متر تقسیم شد. علت انتخاب ۲ متر، مشاهده نشانه‌های فرسایش سطحی (تغییرات دانه‌بندی ذرات) در فواصل کوتاه روی دامنه بود. نمونه‌های خاک از دو عمق صفر تا ۵ سانتی‌متر و ۵ تا ۱۵ سانتی‌متر در چهار موقعیت بر روی هر خط برداشت شدند (شکل ۲).

متوسط درجه حرارت گرم‌ترین ماه سال ۲۰/۶ درجه سانتی‌گراد در تیر و متوسط درجه حرارت سردترین ماه سال ۰/۵ درجه سانتی‌گراد در دی بود. متوسط بارندگی سالانه منطقه در دوره ۳۰ ساله (۱۳۶۰-۱۳۸۹)، ۳۷۸ میلی‌متر (عبدی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۰) و اقلیم منطقه بر اساس روش طبقه‌بندی دومارتن به صورت نیمه‌خشک بود. متوسط ارتفاع منطقه مورد مطالعه ۱۵۳۶ متر از سطح دریاست. بیش از ۲۴ درصد منطقه شامل شیب‌های بالاتر از ۲۰ درصد و تیپ فیزیوگرافی غالب منطقه مورد مطالعه فلات می‌باشد که شامل اراضی فرسایش‌یافته سایر تیپ‌های فیزیوگرافی از جمله تپه است. در این اراضی فرآیند فرسایش هم‌چنان با شدت کم تا متوسط فعال می‌باشد. تشکیلات زمین‌شناسی به صورت عمده، کواترنری و مربوط به رسوبات دوران چهارم می‌باشد. خاک‌های منطقه تحت رده کلسی‌زرپت طبقه‌بندی می‌شوند. کاربری زمین به صورت مرتع ضعیف می‌باشد که اغلب در اوایل بهار دارای پوشش سبز پراکنده می‌باشد. فرسایش آبی در منطقه فعال بوده و شکل‌های مختلف فرسایش خاک به‌ویژه فرسایش سطحی در کنار فرسایش شیاری و آب‌کنندی قابل مشاهده است.



شکل ۲. نمایی از نقاط نمونه‌برداری خاک در امتداد دامنه مرتعی

خاک (Bulk density) در نمونه خاک برداشت شده به وسیله سیلندر فلزی به قطر پنج سانتی‌متر و ارتفاع ۴/۹ سانتی‌متر در صحرا (Blake and Hartge, 1986)، پایداری خاک‌دانه در خاک‌دانه‌های با قطر شش تا هشت میلی‌متر بر اساس میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌های پایدار در آب به روش الک تر (Angers and Mehuys, 1993) برای مدت واسنجی شده یک دقیقه (واعظی و قره داغلی، ۱۳۹۲) تعیین شدند.

شاخص‌های ارزیابی فرسایش سطحی

چندین شاخص بر اساس نسبت قطر ذره در فراوانی معین در خاک سطحی به قطر ذره در همان فراوانی در خاک زیرسطحی مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس در کنار دو شاخص قبلی در این مورد یعنی شاخص قطر ذره در خاک سطحی به خاک زیرسطحی در فراوانی ۴۰ (d_{40_1}/d_{40_2}) (Bennett, 1995) و شاخص قطر ذره در خاک سطحی به خاک زیرسطحی در فراوانی ۵۰ (d_{50_1}/d_{50_2}) (Zhang et al., 2010)، شاخص‌هایی جدید شامل قطر ذره در خاک سطحی به خاک زیرسطحی در فراوانی ۶۰ (d_{60_1}/d_{60_2}) و قطر ذره در خاک سطحی به خاک زیرسطحی در فراوانی ۷۰ (d_{70_1}/d_{70_2}) نیز در خاک عبور داده شده از الک دو میلی‌متر به منظور بررسی دقیق‌تر موضوع تعیین شدند. شاخص‌های مذکور با استفاده از

انتخاب عمق صفر تا ۵ سانتی‌متر برای خاک سطحی، بر اساس مشاهده انتقال ذرات ریز و تشکیل بافت درشت و سنگی در خاک بود. خاک زیرسطحی که تحت فرآیندهای فرسایشی نمی‌تواند قرار بگیرد، از عمق ۵ تا ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در مجموع ۸۰ نمونه خاک از پنج دامنه مورد بررسی در دو امتداد و چهار موقعیت با دو تکرار برداشت شد.

تعیین ویژگی‌های خاک

در این مطالعه، ویژگی‌هایی از خاک مورد توجه قرار گرفتند که اغلب تحت تأثیر شیب دامنه و موقعیت روی دامنه قرار می‌گیرند. در این راستا، دانه‌بندی ذرات (Khan et al., 2013)، ساختمان و ماده آلی خاک (Tsui et al., 2004) مورد بررسی قرار گرفتند. برای این منظور ابتدا نمونه‌های خاک در هوای آزاد خشک و کوبیده شدند و سپس از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند (Tejada and Gonzalez, 2007). توزیع اندازه ذرات خاک شامل درصد شن (۲-۰/۰۵ میلی‌متر)، سیلت (۰/۰۵ - ۰/۰۰۲ میلی‌متر) و رس (کوچک‌تر از ۰/۰۰۲ میلی‌متر) به روش هیدرومتری تعیین شد (Jordan and Martinez-Zavala, 2008)، درصد سنگریزه (قطر دو تا هشت میلی‌متر) به روش وزنی و ماده آلی به روش اکسیداسیون تر (Walkely and Black, 1947) تعیین شدند. همچنین چگالی ظاهری

موقعیت‌های مختلف روی شیب با استفاده از تجزیه واریانس به روش آزمون دانکن انجام گرفت. از بین شاخص‌های متعدد فرسایش سطحی، شاخصی که قوی‌ترین رابطه را با درصد شیب و ویژگی‌های خاک داشت، انتخاب و رابطه بین متغیرها به روش ماتریس هم‌بستگی (r) مورد بررسی قرار گرفت (Pearson, 1896). از روش رگرسیون چندگانه خطی، برای دستیابی به رابطه بین شاخص فرسایش سطحی با مشخصات دامنه‌ها (شیب و ویژگی‌های خاک) استفاده شد (Stolzenberg, 2004). کلیه تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ انجام گرفت.

نتایج و بحث

ویژگی‌های خاک دامنه‌ها

نتایج تجزیه و تحلیل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی دامنه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. دامنه‌های مورد بررسی به‌طور میانگین دارای ۲۴/۹۹ درصد رس، ۴۸/۹۸ درصد سیلت و ۲۶/۰۳ درصد شن و بافت آن‌ها لومی‌رسی بود. خاک دامنه‌ها از نظر ماده آلی فقیر (کم‌تر از یک درصد) بود. هدایت الکتریکی خاک‌ها پایین ($EC = 1.24 \text{ dS.m}^{-1}$) بوده و خاک‌ها دارای ماهیت شور (Dahnke and Whitney, 1988) نبودند. درصد سدیم تبادلی (ESP) نسبتاً بالا (۱۳/۱۴) می‌باشد. وجود ESP بالا عاملی مهم برای تضعیف پیوند بین رس‌ها و فروپاشی خاک‌دانه‌ها است چرا که سدیم تبادلی موجب افزایش نیروهای دافعه بین رس‌های خاک می‌شود (Mamedov *et al.*, 2001). پایین بودن پایداری خاک‌دانه‌ها (MWD برابر ۰/۴۷ میلی‌متر) بیانگر ناپایداری ساختمان خاک بوده و از این رو تصور می‌رود خاک دامنه‌ها، مقاومت کم‌تری در برابر عوامل فرساینده از جمله ضربه قطرات باران داشته باشند.

منحنی دانه‌بندی ذرات خاک سطحی و زیرسطحی محاسبه شدند. بر روی منحنی دانه‌بندی خاک سطحی (خاک ۱)، قطر ذره در فراوانی معین به دست آمد و به مقدار به دست آمده از روی منحنی دانه‌بندی خاک زیرسطحی (خاک ۲) تقسیم شد. هم‌چنین میانگین وزنی قطر ذره^۱ (MWD_p)، میانگین هندسی قطر ذره^۲ (dg) و انحراف معیار هندسی قطر ذره^۳ (δg) با استفاده از روابط زیر تعیین شدند:

$$MWD_p = \sum f_i d_i \times \frac{(2+0.05)}{2} \times \frac{(0.05+0.002)}{2} \times \frac{(0.002+0)}{2} \quad (1)$$

که در آن: MWD_p میانگین قطر ذرات خاک (میلی‌متر) و f_i فراوانی نسبی جزء شن، سیلت و رس می‌باشد. متوسط قطر شن، سیلت و رس به ترتیب ۱/۰۲۵، ۰/۰۲۶ و ۰/۰۰۱ میلی‌متر در نظر گرفته شد.

$$dg = \exp(a) \quad (2)$$

$$a = \sum f_i \ln(M_i) \quad (3)$$

که در آن: dg میانگین هندسی قطر ذرات (میلی‌متر)، f_i فراوانی نسبی هر جزء و M_i میانگین قطر هر ذره (میلی‌متر) می‌باشد.

$$\delta g = \exp(b) \quad (4)$$

$$b^2 = (\sum [f_i (\ln M_i)]^2 - a^2)^{0.5} \quad (5)$$

که در آن: δg انحراف معیار هندسی قطر (میلی‌متر)، f_i فراوانی نسبی هر جزء و M_i میانگین قطر هر ذره می‌باشد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

پیش از تحلیل داده‌ها، نرمال بودن توزیع آماری داده‌ها با استفاده از تحلیل چولگی داده‌ها (Berthouex and Brown, 1994) و آزمون شاپیرو-ویلک (Shapiro and Wilk, 1965) مورد بررسی قرار گرفت. علت استفاده از آزمون مذکور، محدود بودن تعداد داده‌های مورد بررسی (۸۰ داده برای هر ویژگی) بود. شدت فرسایش سطحی بین دامنه‌های با درجات مختلف شیب و نیز بین

¹ Mean weight diameter of particle

² Geometric mean diameter

³ Geometric standard diameter

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی در شیب‌های مختلف

انحراف معیار	میانگین	شیب دامنه (درصد)					ویژگی خاک
		۳۳	۳۱	۱۷	۱۳	۹	
۴/۶۹	۲۶/۰۳	۴۹/۹۸	۳۵/۵۲	۲۸/۷۱	۳۰/۲۹	۱۰/۶۷	شن (درصد)
۰/۶۹	۴۸/۹۸	۳۳/۶۴	۴۴/۰۷	۵۱/۵۲	۴۵/۷۲	۵۴/۶۳	سیلت (درصد)
۸/۱۷	۲۴/۹۹	۱۶/۳۸	۲۰/۴۱	۱۹/۷۷	۲۳/۹۹	۳۵/۰۶	رس (درصد)
۰/۰۹	۵/۵۷	۱۷/۵۳	۱۳/۳۰	۴/۲۸	۳/۸۹	۳/۸۲	سنگریزه (درصد)
۰/۰۲	۱/۵۳	۱/۸۱	۱/۵۳	۱/۵۴	۱/۴۷	۱/۳۹	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)
۰/۷۲	۲/۰۴	۱/۲۸	۱/۴۳	۲/۰۱	۲/۱۶	۲/۲۸	اندازه خاک‌دانه (میلی متر)
۰/۱۵	۰/۴۷	۰/۳۳	۰/۳۶	۰/۴۱	۰/۵۴	۰/۵۸	پایداری خاک‌دانه (میلی متر)
۰/۰۴	۰/۵۴	۰/۲۱	۰/۲۳	۰/۶۱	۰/۶۴	۰/۶۹	ماده آلی (درصد)
۰/۸۵	۱۲/۰۷	۱۳/۶۴	۱۳/۸۱	۱۲/۳۲	۱۱/۲۵	۱۰/۹۲	کربنات کلسیم معادل (درصد)
۴/۲۱	۱۳/۱۴	۱۶/۲۷	۱۶/۶۳	۱۳/۱۹	۱۱/۴۳	۱۱/۲۸	درصد سدیم تبادل

تغییرات شاخص‌های فرسایش سطحی بین دامنه‌ها

بررسی مقادیر شاخص‌های فرسایش سطحی (dg_1/dg_2 , $d70_1/d70_2$, $d60_1/d60_2$, $d50_1/d50_2$, $d40_1/d40_2$) و $(\delta g_1/\delta g_2)$ در پنج دامنه با شیب متفاوت نشان داد که کم‌ترین مقدار شاخص‌های فرسایش سطحی در کم‌ترین درجه شیب (۹ درصد) و بیش‌ترین مقدار آن‌ها در بالاترین درجه شیب (۳۳ درصد) بود؛ به طوری که روندی افزایشی بین هر یک از شاخص‌های فرسایش سطحی و درجه شیب دامنه برقرار بود (شکل ۳). نتایج پژوهش حاضر در مورد افزایش شاخص $d40_1/d40_2$ با افزایش درصد شیب با یافته‌های Bennett (۱۹۹۵) مطابقت داشت. این پژوهشگر با بررسی میزان $d40$ در خاک سطحی روی دامنه‌های شیب‌دار نشان داد که خاک سطحی به دلیل داشتن ذرات درشت نسبت به خاک عمقی، مقدار $d40$ بیش‌تری داشت. یافته‌های Kateb و همکاران (۲۰۱۳) در

چنین نیز نشان داد که با افزایش درصد شیب، مقدار شاخص $d50$ افزایش می‌یابد که علت آن از بین رفتن ذرات ریز سطحی در اثر فرسایش و به جا ماندن ذرات درشت روی سطح خاک بود. نتایج پژوهش حاضر هم‌چنین نشان داد که شاخص MWD_{p1}/MWD_{p2} با افزایش درصد شیب افزایش می‌یابد ($P < 0.001$). بررسی‌ها نشان می‌دهد که با افزایش درصد شیب، فرسایش سطحی بیش‌تر شده و انتقال‌پذیری ذرات ریز روی شیب بیش‌تر می‌شود؛ در صورتی که خاک عمقی توسط خاک سطحی حفظ می‌شود و در نتیجه دارای ذرات ریز بیش‌تری می‌باشد (Gomez, 2013).

نتایج تجزیه و تحلیل واریانس یک طرفه تغییرات شاخص‌های فرسایش سطحی بین دامنه‌های مورد بررسی در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان داد که تفاوتی

بررسی رابطه بین درجه شیب دامنه و شاخص‌های فرسایش سطحی بر مبنای بالاترین ضریب تبیین (R^2) و سطح معنی‌داری (P -level) نشان داد که درجه شیب دامنه رابطه‌ای معنی‌دار با شاخص‌های $d50_1/d50_2$ ($R^2=0.28$)، MWD_{p1}/MWD_{p2} داشت ($P<0.01$) و $R^2=0.51$ ($P<0.001$) (شکل ۳).

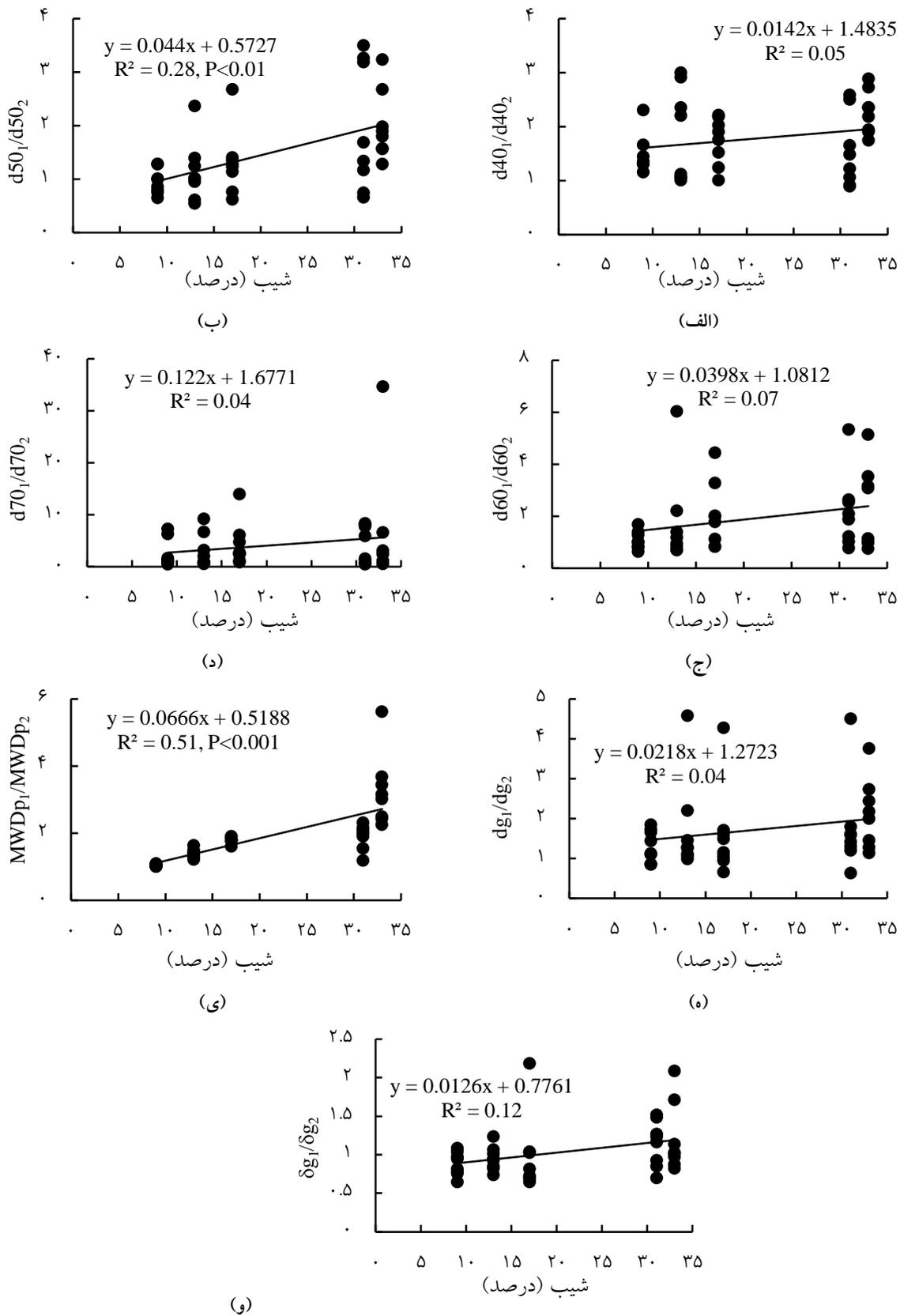
در پژوهشی Zhang و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی دانه‌بندی رسوب در شیب‌های تند (۸/۷ تا ۳۴/۲ درصد) تحت جریان روزمینی^۱ نیز به رابطه مثبت معنی‌دار بین $d50$ و درصد شیب ($P<0.05$ و $R^2=0.74$) دست یافتند. شاخص میانگین وزنی قطر ذره (MWD_{p1}/MWD_{p2}) بیش‌ترین وابستگی را با درجه شیب دامنه نشان داد. در واقع با افزایش درجه شیب دامنه، تفاوت بین دانه‌بندی ذرات خاک سطحی با خاک زیرسطحی به شدت افزایش پیدا می‌کند؛ به طوری که دانه‌بندی خاک سطحی درشت‌تر از خاک زیرسطحی می‌شود. فرسایش سطحی طی سالیان متمادی عامل اصلی تغییر دانه‌بندی خاک سطحی نسبت به خاک زیرسطحی است. در پژوهش‌های پیشین نیز حساسیت بالای ذرات سیلت به فرآیندهای فرسایشی در دامنه‌های شیب‌دار (Wischmeier and Smith, 1978; Vaezi et al., 2008) و قابلیت فرسایشی بالای ذرات رس در ابعاد حوزه آبخیز (Toy et al., 2002; Vaezi et al., 2008) به اثبات رسیده است.

رابطه بین شاخص میانگین وزنی قطر ذره و مشخصات دامنه‌ها

با توجه به ارتباط قوی بین شاخص میانگین وزنی قطر ذره (MWD_{p1}/MWD_{p2}) و شیب دامنه، همبستگی این شاخص با سایر ویژگی‌های خاک دامنه مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۳). هم‌چنین همبستگی مثبت معنی‌داری بین شیب دامنه و سنگریزه ($P<0.01$) و شن ($r=0.75$ و $P<0.001$) و $r=0.76$ و همبستگی منفی معنی‌دار بین شیب دامنه و سیلت ($P<0.01$) و $r=-0.62$ و رس ($P<0.01$) و $r=-0.56$ وجود داشت.

معنی‌دار بین دامنه‌های با شیب متفاوت از نظر هر یک از شاخص‌های $d60_1/d60_2$ ، $d50_1/d50_2$ ، $d40_1/d40_2$ ، dg_1/dg_2 و $\delta g_1/\delta g_2$ در سطح پنج درصد وجود داشت. هم‌چنین تفاوت بین دامنه‌ها از نظر شاخص میانگین قطر ذره در خاک سطحی به خاک زیرسطحی (MWD_{p1}/MWD_{p2}) در سطح یک درصد معنی‌دار بود. این موضوع به این دلیل است که با افزایش درجه شیب، میزان نفوذ آب به خاک کم‌تر شده و به دلیل افزایش رواناب، فرسایش سطحی بیش‌تر می‌شود (Assouline and Ben-Hur, 2006)، از طرف دیگر با افزایش درجه شیب، به دلیل افزایش نیروی گرانشی ذره، پایداری ذره خاک روی دامنه کاهش می‌یابد. پاشمان ذرات خاک نیز عاملی است که به نوبه خود در انتقال ذرات ریز به سمت پایین نقش ایفاء می‌کند. در زمین‌های شیب‌دار، پراکنده شدن ذرات ریز در اثر پاشمان به سمت پایین شیب بیش‌تر از پاشمان ذرات به سمت بالا می‌باشد (Jin, 1996). برخلاف نتایج مربوط به اثر درجه شیب بر شاخص‌های فرسایش سطحی، این شاخص‌ها تحت تأثیر موقعیت روی شیب و برهم‌کنش بین درجه شیب و موقعیت روی شیب قرار نگرفتند (جدول ۲). کوتاه بودن طول دامنه‌های مورد بررسی عاملی اصلی برای عدم بروز تفاوت بین شدت فرسایش سطحی و دانه‌بندی ذرات در طول دامنه می‌باشد. بسیاری از مطالعات پیشین نشان می‌دهند که شدت فرسایش آبی تحت تأثیر طول دامنه قرار دارد و در دامنه‌های با طول زیاد، فرسایش آبی در واحد سطح در بخش پایین‌دست دامنه به مراتب بیش‌تر از بخش‌های بالادست دامنه می‌باشد (واعظی و همکاران، ۱۳۹۶)؛ به طوری که حتی در بخش پایین‌دست دامنه، فرسایش آبی اغلب به صورت شیاری نمایان می‌شود. در پژوهش حاضر به دلیل طول کوتاه دامنه، جریان‌های سطحی اغلب حجم و قدرت کم‌تری دارند و در نتیجه افزایش زیادی در قدرت جریان آب در پایین‌دست دامنه دیده نمی‌شود.

¹ Overland flow



شکل ۳. رابطه بین درصد شیب و شاخص $d40_1/d40_2$ (الف)، شاخص $d50_1/d50_2$ (ب)، شاخص $d60_1/d60_2$ (ج)، شاخص $d70_1/d70_2$ (د)، شاخص dg_1/dg_2 (ه)، شاخص MWD_{p1}/MWD_{p2} (ی) و شاخص $\delta g_1/\delta g_2$ (و)

جدول ۲. تجزیه واریانس تغییرات شاخص‌های فرسایش سطحی خاک تحت تأثیر شیب دامنه و موقعیت روی دامنه

$\delta g_1/\delta g_2$	میانگین مربعات						درجه آزادی	منابع تغییر
	MWD_{p1}/MWD_{p2}	d_{g1}/d_{g2}	d_{70_1}/d_{70_2}	d_{60_1}/d_{60_2}	d_{50_1}/d_{50_2}	d_{40_1}/d_{40_2}		
۰/۱۲*	۶/۲۹**	۰/۶۵*	۱۸/۸۹*	۱/۹۸*	۱/۸۱*	۰/۷۷*	۴	شیب دامنه
۰/۱۰ ^{ns}	۰/۲۳ ^{ns}	۱/۳۲ ^{ns}	۷/۹۹ ^{ns}	۰/۴۵ ^{ns}	۰/۱۱ ^{ns}	۱/۰۸ ^{ns}	۳	موقعیت روی دامنه
۰/۰۳ ^{ns}	۰/۳۲ ^{ns}	۱/۳۷ ^{ns}	۳۵/۵۴ ^{ns}	۱/۸۷ ^{ns}	۰/۳۳ ^{ns}	۰/۰۴ ^{ns}	۱۲	شیب × موقعیت دامنه
۰/۰۵	۰/۴۸	۰/۷۴	۴۱/۳۱	۲/۱۹	۰/۶۸	۰/۳۲	۲۰	خطا
۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۶۹	۰/۹۱	۰/۶۳	۰/۴۴	۰/۴۱	-	ضریب تغییرات

*: معنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد، ^{ns}: غیرمعنی‌دار در سطح احتمال ۹۵ درصد

d_{70_1}/d_{70_2} و d_{60_1}/d_{60_2} ، d_{50_1}/d_{50_2} ، d_{40_1}/d_{40_2} : به ترتیب نسبت قطر ذرات خاک سطحی به زیرسطحی در فراوانی ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درصد، MWD_{p1}/MWD_{p2} : نسبت میانگین وزنی، d_{g2}/d_{g1} : نسبت میانگین هندسی و $\delta g_2/\delta g_1$: نسبت انحراف معیار هندسی قطر ذرات در خاک سطحی به خاک زیرسطحی

بر اساس نتایج می‌توان شاخص میانگین وزنی قطر ذره (MWD_{p1}/MWD_{p2}) را مناسب‌ترین شاخص برای بررسی فرسایش سطحی بیان کرد. با توجه به آنچه در شکل ۳ ارائه شد، رابطه بین شاخص میانگین وزنی قطر ذرات خاک (MWD_{p1}/MWD_{p2}) و شیب دامنه به صورت زیر است:

$$MWD_{p2}/MWD_{p1} = ۰/۰۶۷ + ۰/۵۱۹ \text{ Slope} \quad (۶)$$

$$R^2=۰/۵۱ \text{ و } P<۰/۰۰۱$$

که در آن: MWD_{p1}/MWD_{p2} شاخص نسبت میانگین وزنی قطر ذرات خاک (میلی‌متر) و Slope شیب دامنه (درصد) می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که شیب دامنه به عنوان یکی از عوامل مهم تعیین‌کننده فرسایش سطحی در دامنه‌های مرتعی با پوشش گیاهی ضعیف است. در کنار این عوامل می‌توان عامل دیگری مانند پوشش گیاهی و سایر ویژگی‌های خاک مانند نفوذپذیری را در وقوع فرسایش سطحی محتمل دانست که در این پژوهش به نقش آن‌ها پرداخته نشد.

در واقع در دامنه‌های با شیب تند، محتوای ذرات درشت‌دانه (شن و سنگریزه) افزایش چشم‌گیری داشته و محتوای ذرات ریزدانه (سیلت و رس) کاهش شدید نشان می‌دهد. بین شیب دامنه و محتوای ماده آلی خاک نیز هم‌بستگی منفی ($r=-۰/۵۹$ و $P<۰/۰۱$) مشاهده شد؛ به طوری که با افزایش درصد شیب دامنه، ماده آلی خاک کاهش می‌یابد. هدررفت ذرات رس و مواد آلی به عنوان دو عامل اصلی پیونددهنده ذرات خاک، عاملی برای کاهش خاک‌دانه‌سازی در دامنه‌های با شیب تند بود. این نتایج نشان می‌دهد که دامنه‌های با شیب تند به شدت به فرآیندهای فرسایش سطحی حساس هستند و پیامد این فرسایش، هدررفت ذرات ریز و مواد آلی از خاک و تضعیف پایداری خاک‌دانه‌ها است. Descroix و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی فرسایش سطحی در کوهستان‌های مناطق حاره در قالب کرت‌های فرسایشی نشان دادند که در اثر فرسایش سطحی، ذرات ریز از سطح خاک منتقل می‌شوند و ذرات درشت‌تر مانند سنگریزه و سنگ بر جای می‌مانند به طوری که پس از مدتی سطح خاک به صورت سنگ‌فرشی از ذرات درشت‌دانه نمایان می‌شود.

جدول ۳. هم‌بستگی بین شاخص‌های میانگین وزنی قطر ذره (MWD_{p1}/MWD_{p2}) با درصد شیب دامنه در دامنه‌های مورد بررسی ($n=40$)

	Slope	OM	Gr	AS	Sa	Si	Cl	MWD_{p2}/MWD_{p1}
Slope	۱							
OM	-۰/۵۹**	۱						
Gr	۰/۷۵***	-۰/۴۳*	۱					
AS	-۰/۳۴*	ns ۰/۲۵	-۰/۴۷**	۱				
Sa	۰/۷۶***	-۰/۶۵**	۰/۶۳**	-۰/۳۱*	۱			
Si	-۰/۶۲**	۰/۴۷*	-۰/۶۲**	۰/۳۷*	-۰/۷۸***	۱		
Cl	-۰/۵۶**	۰/۵۱**	-۰/۳۸*	ns ۰/۱۲	-۰/۷۸***	ns ۰/۲۱	۱	
MWD_{p2}/MWD_{p1}	۰/۷۲***	-۰/۳۸*	۰/۵۴**	ns -۰/۲۰	۰/۶۴**	-۰/۴۴*	-۰/۵۶**	۱

*: معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵، **: معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱، ***: معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۰۱ و ns: غیر معنی‌دار از نظر آماری، Slope: شیب، OM: ماده آلی، Gr: سنگریزه، AS: اندازه خاک‌دانه، Sa: شن، Si: سیلت، Cl: رس و MWD_{p2}/MWD_{p1} : نسبت میانگین وزنی قطر ذره در خاک سطحی به خاک زیرسطحی

نتیجه‌گیری

افزایش یافت و در عین حال فراوانی ذرات ریزدانه (سیلت و رس)، مواد آلی و اندازه خاک‌دانه به شدت کاهش پیدا کرد. به‌طور کلی نتایج نشان داد که با افزایش درصد شیب دامنه، میانگین وزنی قطر ذرات خاک سطحی نسبت به خاک زیرسطحی به شدت افزایش پیدا می‌کند. این موضوع مؤید تغییر دانه‌بندی ذرات خاک سطحی در اثر فرسایش سطحی به‌دلیل انتقال ذرات ریز از خاک سطحی می‌باشد. برای توصیف شدت فرسایش سطحی می‌توان از شاخص MWD_{p1}/MWD_{p2} در دامنه‌هایی مشابه با دامنه‌های مطالعاتی در منطقه نیمه‌خشک استفاده کرد. انجام مطالعات بیشتر از نظر تأثیر سایر عوامل (پوشش گیاهی و نفوذپذیری خاک) برای دستیابی به شاخصی دقیق‌تر برای فرسایش سطحی در دامنه‌های مطالعاتی پیشنهاد می‌شود.

تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تفاوت‌های معنی‌دار بین دامنه‌های با شیب مختلف از نظر هر یک از شاخص‌های فرسایش سطحی (d_{40_1}/d_{40_2} ، d_{50_1}/d_{50_2} ، d_{60_1}/d_{60_2} ، d_{70_1}/d_{70_2} ، d_{g_1}/d_{g_2} و MWD_{p1}/MWD_{p2}) وجود داشت. با این حال بین موقعیت روی دامنه و شاخص‌های فرسایش سطحی تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. نتایج تجزیه رگرسیونی نشان داد که تنها بین شاخص‌های d_{50_1}/d_{50_2} و MWD_{p1}/MWD_{p2} رابطه‌ای معنی‌دار وجود دارد. از بین این دو شاخص فرسایش سطحی، شاخص میانگین وزنی قطر ذره در خاک سطحی به خاک زیرسطحی (MWD_{p1}/MWD_{p2}) بیش‌ترین ارتباط را با شیب دامنه داشت ($R^2=0/51$ و $P<0/001$). در دامنه‌های با شیب زیاد، فراوانی ذرات درشت‌دانه (شن و سنگریزه) به شدت

منابع مورد استفاده

- عبدی‌نژاد، پ.، فیض‌نیا، س. و پیروان، ح. ۱۳۹۰. بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی، مکانیکی و فرسایش‌پذیری سازندهای مارنی استان زنجان. مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، ۲۵ صفحه.
- کیانی‌هرچگانی، م.، صادقی، س.ح.ر. و اسدی، ح. ۱۳۹۶. تغییرپذیری غلظت و توزیع اندازه مؤثر ذرات رسوب در مراحل ابتدایی و تکاملی تولید رواناب از شیب‌ها و شدت‌های مختلف بارندگی. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۲۰۵-۲۱۶: (۲)۹.

- محمودآبادی، م. و سیرجانی، الف. ۱۳۹۱. بررسی مکانیسم‌های حمل ذرات رسوب در فرسایش ورقه‌ای با استفاده از آزمایش فلوم. مجله مهندسی و مدیریت آبخیز، ۴(۱): ۱۱-۱.
- واعظی، ع.ر. و عبادی، م. ۱۳۹۶. توزیع اندازه ذرات منتقله در اثر فرسایش سطحی در شدت‌های مختلف باران و درجات شیب. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۳۱(۱): ۲۲۹-۲۱۶.
- واعظی، ع.ر. و قره‌داغلی، ح. ۱۳۹۲. کمی‌سازی گسترش فرسایش شیاری در خاک‌های مارنی در حوزه آبخیز زنجان‌رود در شمال غرب زنجان. نشریه آب و خاک، ۲۷: ۸۷۲-۸۸۱.
- واعظی، ع.ر.، نوقان، م. و فرومدی، م. ۱۳۹۶. وابستگی خصوصیات رواناب به ابعاد کرت در کشتزار دیم تحت باران‌های منطقه نیمه‌خشک. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۷(۱): ۲۷-۱۶.
- 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.
- Assouline, S. and Ben-Hur, M. 2006. Effects of rainfall intensity and slope gradient on the dynamics of interrill erosion during soil surface sealing. *Catena*, 66(3): 211-220.
- Bennett, S. 1995. An experimental study of flow, bed load transport and bed topography under conditions of erosion and deposition and comparison with theoretical models. *Sedimentology*, 42: 117-146.
- Berthouex, P.M. and Brown, L.C. 1994. Statistics for Environmental Engineers, Lewis Publishers. Spanish Journal of Agriculture Research, 2(1): 42-58.
- Blake, G.R. and Hartge, K.H. 1986. Bulk density, In: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 1, 2nd ed. Agronomy Monograph, 9. American Society of Agronomy. Madison, WI. pp: 363-375.
- Castrignanò, A., Giugliarini, L., Risaliti, R. and Martinelli, N. 2000. Study of spatial relationships among some soil physico-chemical properties of a field in central Italy using multivariate geostatistics. *Geoderma*, 97(1): 39-60.
- Celso, A.G. 1997. Developing a sheet erosion equation for a semiarid region, IAHS Publ No. 245.
- Dahnke, W. and Whitney, D. 1988. Measurement of soil salinity. Recommended chemical soil test procedures for the North Central Region. North Dakota Agric. Exp. Stn. Bull. pp: 32-34.
- Defersha, M., Quraishi, S. and Melesse, A. 2011. The effect of slope steepness and antecedent moisture content on interrill erosion, runoff and sediment size distribution in the highlands of Ethiopia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(7): 2367-2375.
- Dennis, M. and Rorke, B. 1999. The relationship of soil loss by interrill erosion to slope gradient. *Catena*, 38(2): 211-222.
- Descroix, L., Gonzalez Barrios, J., Viramontes, D., Poulenard, J., Anaya, E., Esteves, M. and Estrada, J. 2008. Gully and sheet erosion on subtropical mountain slopes: their respective roles and the scale effect. *Catena*, 72(3): 325-339.
- Dlamini, P., Orchard, G., Jewitt, S., Lorentz, P., Titshall, L. and Chaplot, V. 2011. Controlling factors of sheet erosion under degraded grasslands in the sloping lands of KwaZulu-Natal, South Africa. *Agricultural Water Management*, 98(11): 1711-1718.
- Ekwue, E., Bharat, C. and Samaroo, K. 2009. Effect of soil type, peat and farmyard manure addition, slope and their interactions on wash erosion by overland flow of some Trinidadian soils. *Biosystems Engineering*, 102(2): 236-243.
- F.A.O. 1984. Soil bulletin, guideline land evaluation for rain fed agriculture. Chapter, 2, pp: 52.
- Gomez, J. 2013. Temporal variation of soil compaction and deterioration of soil quality in pasture areas of Colombian Amazonia. *Soil and Tillage Research*, 75(1): 3-18.
- Govers, G. 1990. Empirical relationships for the transport capacity of overland flow. IAHS Publication, 189: 45-63.
- Jin, C.X. 1996. The role of slope gradient on slope erosion. *Geographical Research*, 15(3): 57-63.
- Jordan, A. and Martinez-Zavala, L. 2008. Soil loss and runoff rates on unpaved forest roads in southern Spain after simulated rainfall. *Forest Ecology and Management*, 255: 913-919.
- Kateb, I., Zhang, F., Zhang, C. and Mosandl, R. 2013. Soil erosion and surface runoff on different vegetation covers and slope gradients: a field experiment in Southern Shaanxi Province, China. *Catena*, 105: 1-10.
- Khan, F., Hayat, Z., Ahmad, W., Ramzan, M., Sharif, M., Mian, I.A. and Hanif, M. 2013. Effect of slope position on physico-chemical properties of eroded soil. *Soil Environment*, 32: 22-28.
- Kinnell, P.I.A. 2000. The effect of slope length on sediment concentrations associated with side slope erosion. *Soil Science Society American Journal*, 64: 1004-1008.

- Kinnell, P.I.A. 2006. Simulations demonstrating interaction between coarse and fine sediment loads in rain-impacted flow. *Earth Surface Processes and Landforms*, 31: 355-367.
- Liu, W., Luo, Q., Lu, H., Wu, J. and Duan, W. 2017. The effect of litter layer on controlling surface runoff and erosion in rubber plantations on tropical mountain slopes, SW China. *Catena*, 149:167-175.
- Mamedov, A., Levy, I.J., Shainberg, G. and Letey, J. 2001. Wetting rate, sodicity, and soil texture effects on infiltration rate and runoff. *Soil Research*, 3: 1293-1305.
- Mamedov, A., Shainberg, I. and Levy, G. 2002. Wetting rate and sodicity effects on interrill erosion from semi-arid Israeli soils. *Soil and Tillage Research*, 68(2): 121-132.
- Morgan, R., Quiton, J., Smith, R., Govers, G., Poesen, J., Auerswald, K., Chisci, G., Torri, D. and Stycaen, M. 1998. The European soil erosion model (EUROSEM): A dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth Surf Process Landforms*, 23(6): 527-544.
- Nearing, M. and Rieke, M. 2005. Soil detachment by shallow flow at low slopes. *Soil Science Society of America Journal*, 55: 339-344.
- Pearson, K., 1896. Mathematical contributions to the theory of evolution. III. Regression, heredity, and panmixia. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, containing papers of a mathematical or physical character*, 187, pp: 253-318.
- Riss, M. and Faucette, B. 2002. Compost utilization foreseen control cooperative Extension service, The University of Georgia College of Agriculture and Environmental Sciences Faucet. *Soil and Tillage Research*, 75(1): 3-18.
- Shapiro, S.S. and Wilk, M.B. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52 (3-4), 591-611.
- Shi, Z.H., Fang, N.F., Wu, F.Z., Wang, L., Yue, B.J. and Wu, G.L. 2012. Soil erosion processes and sediment sorting associated with transport mechanisms on steep slopes. *Journal of Hydrology*, 454- 455:123-130.
- Stolzenberg, R.M. 2004. Multiple regression analysis. *Handbook of data analysis*, 165, p. 208.
- Tejada, M. and Gonzalez, J.L. 2007. Influence of organic amendments on soil structure and soil loss under simulated rain. *Soil and Tillage Research*, 93: 197-205.
- Toy, T.J., Foster, G.R. and Renard, K.G. 2002. *Soil Erosion: Processes, Prediction, Measurement, and Control*. John Wiley and Sons, New York, pp: 25-43.
- Tsui, C.C., Chen, Z.S. and Hsieh, C.F. 2004. Relationships between soil properties and slope position in a lowland rain Forest of southern Taiwan. *Geoderma*, 123: 131-142.
- Vaezi, A., Sadeghi, S., Bahrami, H. and Mahdian, M. 2008. Modeling the USLE K-factor for calcareous soils in northwestern Iran. *Geomorphology*, 97(3): 414-423.
- Walkley, A. and Black, C.A. 1947. Determination of organic matter in the soil by chromic acid digestion. *Soil Science*, 63: 251-264.
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. In: *Agriculture Handbook No. 537*. US Department of Agriculture, Washington, DC, pp: 13-27.
- Zhang, G., Shen, R., Luo, R., Cao, Y. and Zhang, C. 2010. Effects of sediment load on hydraulics of overland flow on steep slopes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 35(15): 1811-1819.
- Zhang, G.H., Liu, B.Y., Liu, G.B., He, X.W. and Nearing, M.A. 2003. Detachment of undisturbed soil by shallow flow. *Soil Science Society American Journal*, 67: 713-719.



ISSN 2251-7480

Investigating indices of soil surface erosion and their relations to slope characteristics in semi-arid rangelands

AliReza Vaezi^{1*}, Zahra Bayat² and Majid Foroumadi³

^{1*} Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

* Corresponding Authors email: vaezi.alireza@gmail.com

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

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

Received: 03-07-2017

Accepted: 17-01-2018

Abstract

Surface erosion is a one of the major factors of soil degradation and gradual decline in soil productivity. Little studies have been done on the surface erosion indices in the semi-arid rangelands. Therefore, this study was conducted to quantify surface soil erosion indices using the land characteristics in a semi-arid region. Five southern hillslopes with different slope gradients (9, 13, 17, 31 and 33%) which subjected to surface erosion were selected in Zanjan province. Soil samples were collected from two depths (0-5 and 5-15 cm) in four locations at a 2-m distance along the slope at two replications. A total of 80 soil samples were collected for analyzing particle size distribution. Soil surface erosion indices were determined using the proportion of particle diameter for given frequency in surface and sub-surface soils. Toward this, the proportion of particle diameter in the frequency of 40 (d_{40_1}/d_{40_2}), 50 (d_{50_1}/d_{50_2}), 60 (d_{60_1}/d_{60_2}) and 70 % (d_{70_1}/d_{70_2}) was computed. Additionally, proportions of mean weight diameter (MWD_{p1}/MWD_{p2}), geometric mean diameter (dg_1/dg_2) and geometric standard deviation ($\delta g_1/\delta g_2$) of surface and subsurface soils particles were determined. Based on the results, significant differences were found among the hillslopes in all soil surface erosion indices, whereas the differences for the locations along the hillslopes were not statistically significant. In the steep slopes, the frequency of fine particles (silt and clay) and organic matter content was very low in surface soil. Multiple linear regression analysis appeared a strong relationship between the MWD_{p1}/MWD_{p2} and slope gradient ($R^2 = 0.51$, $p < 0.001$). This study revealed that the MWD_{p1}/MWD_{p2} is the proper index to evaluate soil surface erosion in the semi-arid hillslopes.

Keywords: hillslope erosion, slope gradient, soil degradation, vegetation cover