بررسی حساسیت به فرسایش و رسوب‌زایی نهشته‌های کواترنری دشت سجزی، کوه‌پایه اصفهان

حمیدرضا مرادی[1]، استادیار دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس
نیره غضنفرپور، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس
سادات فیض‌نیا، استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

دریافت مقاله: ۱۳۸۷/۱۲/۲۳ **پذیرش مقاله:** ۱۳۸۸/۰۴/۰۱

چکیده

از عوامل موثر در فرسایش خاک, زمین‌شناسی سطحی است که هم از حیث حساسیت به فرسایش و هم از نظر تولید رسوب قابل بررسی است. در این پژوهش، به‌منظور بررسی حساسیت به فرسایش و رسوب‌زایی نهشته‌های کواترنر، بخشی از زیر حوضه سجزی- کوهپایه واقع در حوزه آبخیز زاینده‌رود با مساحت ۶۷۰۹۱/۷ هکتار انتخاب شد و در هر واحد زمین‌شناسی، دستگاه باران‌ساز مصنوعی برای تولید روان‌آب و رسوب به‌کار گرفته شد. به‌منظور بررسی عوامل موثر در رسوب‌زایی و فرسایش‌پذیری، از مجاورت هر میکروکرت نمونه‌برداری از خاک صورت گرفت و برخی از عوامل فیزیکی و شیمیایی آن‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که در منطقه مورد تحقیق، رسوب‌زایی و فرسایش‌پذیری در نهشته‌های کواترنری متفاوت, اختلاف معنی‌داری با هم دارند. مدل‌های رگرسیونی به‌دست آمده هم نشان داد که در تولید رسوب نهشته‌ها، از بین عوامل اندازه‌گیری شده، مقادیر سیلت، ماسه، ماسه‌ریز، رطوبت‌نسبی و آهک، و در فرسایش‌پذیری آن‌ها، مقادیر سیلت+ ماسه خیلی‌ریز، آهک، سیلت، رس، ماسه خیلی‌ریز و هدایت الکتریکی نقش مؤثر داشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: باران‌ساز، فرسایش‌پذیری خاک، تولید رسوب، مدل رگرسیونی، میکروپلات

مقدمه

گردآوری اطلاعات قابل اطمینان درباره میزان فرسایش خاک و بهبود روش‌های حفاظتی و راهبردهای مدیریتی، نیازمند برنامه‌هایی است که مبتنی بر اطلاعات واقعی و دقیق درباره شدت و مقدار فرسایش باشد. به‌طورکلی، قسمت‌های عمده توپوگرافی سطح زمین، تحت تأثیر مورفودینامیسم‌های دوره کواترنر تکوین یافته‌اند. دوره کواترنر، ۱/۸ میلیون سال انتهایی حیات طولانی زمین است که با وجود کوتاه بودن از نظر زمانی، حوادث بسیاری را در بر داشته است. سنگ‌ها و خاک‌های کواترنری، معمول‌ترین مواد زمین‌شناسی هستند که در نزدیکی سطح زمین یا بر روی آن یافت می‌شوند. مرکز ایران در دوره کواترنر، با قرار گرفتن در عرض‌های پایین، مراحل مرطوب را در مرحله یخبندان و مرحله خشک را در بین یخبندان گذرانده است؛ در نتیجه موقعیت پلایاهای ایران در بین یخبندان فشرده‌تر و در یخبندان گسترده‌تر بوده، و وضع رسوب‌ها از رسوب‌های تخریبی در یخبندان، به رسوب‌های تبخیری‌تر در بین یخبندان عوض می‌شود. تناوب‌های فصلی و دوره‌ای در عصر بین یخبندان با رسوب‌های تبخیری زیادتر، افزایش خشکی و بیابانی شدن را تشدید کرده و سبب پیشروی شرایط نامساعد طبیعی در ایران می‌شود (معتمد, ۱۳۷۳). پدیده‌های زمین‌شناسی و زمین‌ساختی دوره کواترنر، به‌عنوان زمینه‌های اساسی ساختارهای ژئومرفولوژی و جغرافیای طبیعی در فضای زیست‌محیطی انسان مورد توجه قرار گرفته و در کلیه طرح‌های اقتصادی و گزینش سکونت‌گاه‌ها، قطب‌های صنعتی، کشاورزی, تاسیسات زیربنایی و پایه، گسترش جوامع شهری و کاربری زمین باید به‌دقت بررسی گردند؛ اما

[1] hrmoradi@modares.ac.ir

متأسفانه به‌علت عدم شناخت این اراضی و بهره‌برداری غیر اصولی از آن‌ها، بخش مهمی از این اراضی بر اثر فرسایش خاک از دست می‌رود. رفتار نهشته‌های کواترنر در مقابل فرسایش، بستگی به سرشت نهشته‌ها و محیط دربرگیرنده آن‌ها دارد (فیض‌نیا و زارع‌خوش‌اقبال، ۱۳۸۲). مساحت، ناهمواری، اقلیم و سنگ‌شناسی، عوامل اصلی کنترل‌کننده رسوب‌زایی بوده (Hay، ۱۹۹۸) و اندازه‌گیری رسوب‌زایی، کلید اصلی درک اثر کاربری اراضی در گذشته یا تغییرات اقلیمی به‌شمار می‌رود (Verstraeten و Poesen، ۲۰۰۱).

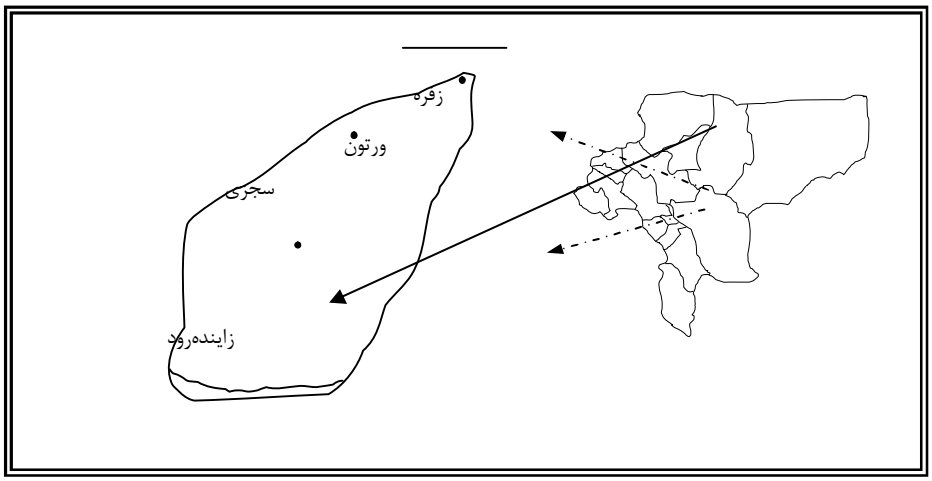
اندازه‌گیری روان‌آب و فرسایش، معمولاً در مقیاس‌های حوزه آبخیز، کرت و میکروکرت انجام می‌شود. در مقیاس حوزه آبخیز و کرت، این اندازه‌گیری‌ها اغلب زمان‌بر بوده و تجهیزات اجرایی و گران قیمتی لازم دارد، ولی در مقیاس میکروکرت می‌تواند در طول دوره چند روزه و با شبیه‌سازی باران صورت گیرد (Barthes و Roose، ۲۰۰۲)، Heimsatha و همکاران (۲۰۰۱). فرسایش نهشته‌های کواترنری را در جنوب شرقی استرالیا با روش تمرکز نوکلوئیدهای Be^{10} و Al^{26} اندازه‌گیری کردند. Sowers و همکاران (۲۰۰۳)، براساس درجه چسبندگی مواد زمین‌شناسی، مقدار فرسایش‌پذیری واحدهای مختلف کواترنری حوزه آبخیز (Silver Creeck) واقع در کالیفرنیا را محاسبه کردند. Mather و همکاران (۲۰۰۴)، به‌منظور بررسی میزان فرسایش نهشته‌های کواترنر در جنوب شرقی اسپانیا، از نقشه‌برداری مقاطع دره‌ها و بازسازی شکل دره‌ها قبل از فرسایش استفاده نمودند. Liua و همکاران (۲۰۰۴)، در بررسی کنترل اقلیمی بر روی فرسایش و هوازدگی نهشته‌های کواترنر در شرق فلات تبت و حوضه مکنگ، از تحلیل‌های کانی‌شناسی به‌عنوان شاخصی برای میزان فرسایش فیزیکی و هوازدگی شیمیایی استفاده کردند. ارشم (۱۳۷۵)، به‌منظور مقایسه روان‌آب و رسوب دو سازند آغاجاری و میشان در حوزه آبخیز ابوالفارس، از دستگاه باران‌ساز استفاده کرد. شکل‌آبادی (۱۳۷۹)، به‌بررسی فرسایش‌پذیری نسبی خاک برخی از سازندهای زمین‌شناسی و رابطه آن با تعدادی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در حوزه آبخیز گل‌آباد، با استفاده از باران‌ساز صحرایی و بررسی‌های آزمایشگاهی برروی نمونه‌های خاک پرداخت. فیض‌نیا و همکاران (۱۳۸۴)، تأثیر عوامل فیزیکی، شیمیایی و آب و هوایی در تولید رسوب ناشی از فرسایش سطحی در خاک‌های لسی با استفاده از یک دستگاه باران‌ساز را بررسی کردند. هدف از این تحقیق تعیین عوامل مؤثر در حساسیت به فرسایش و رسوب‌زایی نهشته‌ها و ارائه مدل‌های مناسب برای برآورد رسوب و فرسایش پذیری در منطقه مورد تحقیق است.

مواد و روش‌ها

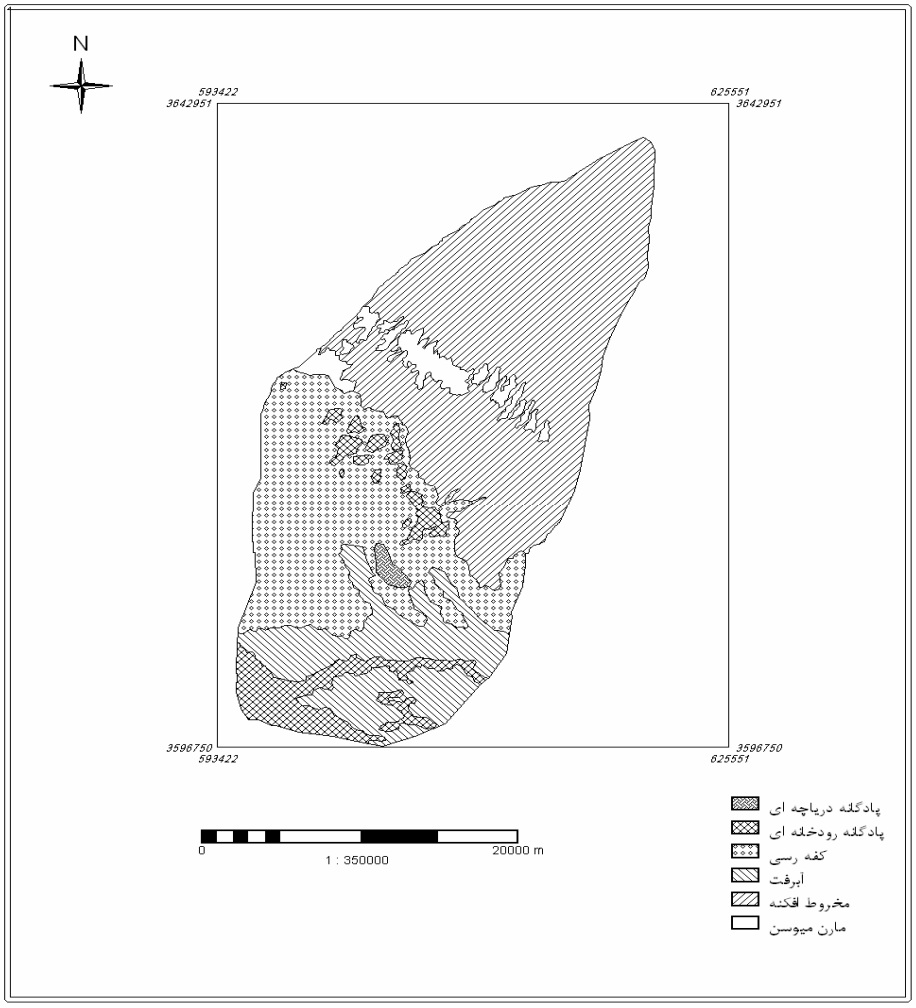
موقعیت منطقه: منطقه مورد تحقیق بخشی از زیر حوضه کوهپایه- سجزی واقع در حوزه آبخیز زاینده‌رود است که از سوی شمال به ارتفاعات مارشینان و لابونی و از سمت جنوب به رودخانه زاینده‌رود محدود می‌شود (شکل ۱). منطقه مزبور، با مساحت ۶۷۰۹۱/۷ هکتار در ۴۰ کیلومتری شرق شهرستان اصفهان قرار گرفته و در طول جغرافیایی ″۲۶ °۵۲ تا ″۳۰ ´۱۷ °۵۲ شرقی و عرض جغرافیایی ″۱۴ ´۳۰ °۳۲ تا ″۴۳ ´۵۳ °۳۲ شمالی استقرار یافته است؛ در این منطقه، ارتفاع بیشینه و کمینه از سطح دریا به‌ترتیب ۲۰۲۰ و ۱۵۱۵ متر است.

میانگین درجه حرارت سالانه، منطقه مورد تحقیق ۱۶/۳ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه بالغ بر ۱۱۵/۸ میلی‌متر است. بیشینه بارش در فصل زمستان و ماه اسفند به‌وقوع پیوسته و کمینه آن مربوط به فصل تابستان و شهریور ماه است. اقلیم منطقه بر اساس روش آمبرژه، خشک سرد است (سازمان آب منطقه‌ای اصفهان و چهار محال بختیاری، ۱۳۸۳). بخش وسیعی از منطقه موردتحقیق را رسوبات آبرفتی دوره کواترنر دربرمی‌گیرد و تنها مساحت کمی از منطقه را رسوبات تبخیری شامل مارن و گچ دوره میوسن پوشانده است (شکل ۲).

محدوده منطقه مورد تحقیق، بر روی نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ به‌نحوی انتخاب شد که ضمن در برداشتن تنوع زیاد از واحدهای کواترنری مختلف، با امتداد شمالی- جنوبی از دامنه ارتفاعات به سمت رودخانه کشیده شده است؛ مرز شرقی- غربی محدوده نیز بر اساس مسیر حرکت رسوبات به منطقه و مرز جاده در نظر گرفته شد. نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ با نرم‌افزار ILWIS 3.0 رقومی و برای تصحیح مرزها، از تصویر ماهواره‌ای ETM^+ سال ۲۰۰۲ منطقه استفاده شد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد تحقیق بر روی نقشه اصفهان



شکل ۲- نقشه پراکنش نهشته‌های کواترنری

به‌منظور انجام آزمایش‌های مربوط به باران‌ساز در هر واحد زمین‌شناسی برای هر برداشت، کمینه در سه تکرار و در نقاطی که شیب زمین معادل صفر درصد بود، اقدام به استفاده از باران‌ساز برای نمونه‌برداری روان‌آب و رسوب شد. برای

حذف تأثیر عامل تاج پوشش گیاهی در تولید رسوب و یکسان‌سازی شرایط و با توجه به سطح محدود کرت، مناطق عاری از پوشش گیاهی انتخاب شد؛ باقی‌مانده محصولات، زیست‌توده ریشه و سنگ‌ریزه‌ها، قبل از شبیه‌سازی باران از سطح کرت جمع‌آوری شدند؛ بنابراین در هر نقطه نمونه‌برداری، شدت و مقدار بارش، شیب و شرایط سطحی هر کرت ثابت و یک‌سان بوده است. آزمایش‌های باران‌ساز در شرایط رطوبتی خشک انجام و روان‌آب و رسوب تولیدی از هر آزمایش باران‌ساز، در بطری جمع‌آوری شد. در هر آزمایش، از مجاورت هر میکروکرت، نمونه خاک سطحی (۰-۲۰ سانتی‌متری)، به‌منظور آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی، برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد که جمعاً تعداد ۵۱ تیمار باران‌ساز و نمونه خاک در طی این پژوهش برداشت شد. حجم روان‌آب جمع‌آوری شده در پایان هر تیمار باران‌ساز، به‌وسیله‌ی استوانه‌ی مدرج اندازه‌گیری و رسوب تولید شده نیز پس از جداسازی با کاغذ صافی، در دمای آون (C° ۱۰۵) خشک و سپس توزین شد و بدین ترتیب غلظت رسوبات به‌دست آمد (Dongsheng و همکاران، ۲۰۰۶). از حاصل‌ضرب روان‌آب تولیدی در غلظت رسوب، مقدار ماده خشک بر حسب گرم به‌دست آمد. متغیرهای فیزیکی و شیمیایی مورد تحقیق، شامل بافت، درصد ماسه خیلی‌ریز، رطوبت نسبی، اسیدیته، ماده آلی، هدایت‌الکتریکی و کربنات کلسیم هستند. بافت نمونه خاک‌ها مانند درصد رس، سیلت و ماسه به‌روش هیدرومتری تعیین و درصد ماسه خیلی ریز نیز با الک اندازه‌گیری شد. درصد مواد آلی، به‌روش بلک و واکلی، هدایت الکتریکی و اسیدیته با تهیه عصاره اشباع و به‌وسیله‌ی EC متر و pH متر دیجیتال محاسبه شدند. درصد کربنات، کلسیم با استفاده از روش کلسی‌متری به‌دست آمد. رطوبت خاک از اختلاف وزنی خاک، قبل و بعد از خشک کردن، به‌وسیله آون در دمای C° ۱۰۵ تعیین شد.

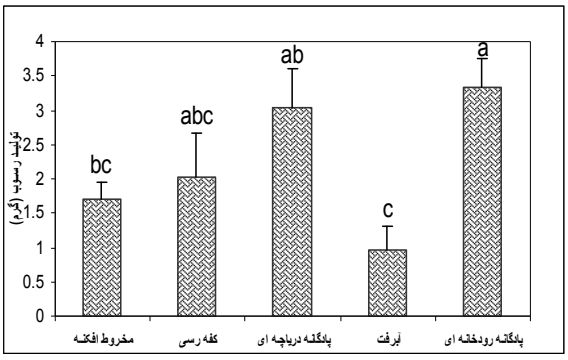
تعیین فرسایش‌پذیری مواد سطحی با استفاده از عامل K در رابطه USLE: Wischmeier و همکاران توانستند همبستگی خوبی بین عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) و پنج عامل فیزیکی خاک یعنی درصد سیلت + ماسه خیلی‌ریز (۲ تا ۱۰۰ میکرون)، درصد ماسه (۱۰۰ میکرون تا ۲ میلی‌متر)، مقدار مواد آلی، ساختمان و نفوذپذیری خاک به‌دست آوردند. بین این پنج عامل، درصد سیلت+ ماسه خیلی‌ریز، درصد ماسه، مقدار مواد آلی خاک و ساختمان در لایه‌سطحی خاک (۱۵- ۲۰ سانتی‌متری)، و مقدار نفوذپذیری در تمامی نیمرخ خاک اندازه‌گیری می‌شود (رفاهی, ۱۳۸۲). در این تحقیق، برای بررسی فرسایش‌پذیری نهشته‌های کواترنر منطقه، با ضخامت بیش از ۳۰ سانتی‌متر پوشش خاک، از عامل K در رابطه USLE (نموگراف) استفاده (مورگان، ۱۳۶۷) و عوامل مختلف آن اندازه‌گیری و نمره‌دهی شد. محققان مختلفی، که فرآیندهای فرسایشی را بررسی کرده‌اند، معتقدند که چنانچه پوشش خاک موجود بر روی مواد زمین‌شناسی، دارای ضخامت زیاد (بیش از ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌متر) باشد، خصوصیات خاک بر روی فرسایش منطقه تأثیر داشته، و چنانچه ضخامت خاک کم باشد (کم‌تر از ۲۵ تا ۳۰ سانتی‌متر)، ویژگی‌های مواد مادری در خصوصیات خاک تأثیر مستقیم دارد؛ بنابراین فرسایش منطقه تحت تأثیر مواد مادری است. طی بازدیدهای اولیه از منطقه، با بررسی مقاطع طبیعی و پروفیل‌های حفر شده در نهشته‌های کواترنری، ضخامت خاک بیش از ۳۰ سانتی‌متر برآورد شد؛ لذا عامل K در رابطه USLE، برای تعیین فرسایش‌پذیری نهشته‌ها استفاده شد.

روش تحلیل اطلاعات: در تحلیل اطلاعات، برای بررسی ارتباط بین خصوصیات خاک و رسوب‌زایی و فرسایش‌پذیری، از آزمون تجزیه واریانس و آزمون دانکن استفاده شد. برای تعیین ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته، از رگرسیون چندمتغیره استفاده شد؛ به‌نحوی‌که مقدار رسوب حاصل از به‌کارگیری باران‌ساز مصنوعی و عامل فرسایش‌پذیری به‌دست آمده از نموگراف، به‌عنوان متغیر وابسته و سایر پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک در هر یک از واحدهای کاری، به‌عنوان متغیر مستقل مورد تحقیق قرار گرفتند. انتخاب نهایی مدل، از میان روابط به‌دست آمده، با استفاده از معیار قابل قبول ضریب تبیین با توجه به درجه آزادی، و معنی‌دار بودن ضریب همبستگی مدل در سطح یک‌درصد و پنج درصد صورت گرفت. برای تعیین اعتبار و ارزیابی مدل، از معیار خطای نسبی استفاده شد.

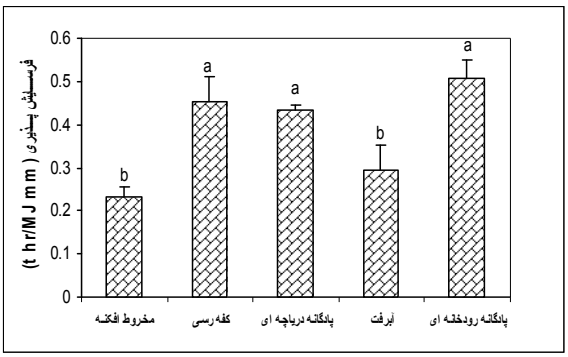
نتایج و بحث

وضعیت رسوب‌زایی و فرسایش‌پذیری نهشته‌های کواترنری: نتایج حاصل از تحلیل واریانس با سطح معنی‌داری یک درصد نشان می‌دهد که در منطقه مورد تحقیق، بین رسوب‌زایی انواع مختلف نهشته‌ها اختلاف وجود دارد. میانگین

تولید رسوب نهشته‌های مختلف به‌ترتیب نزولی، پادگانه رودخانه‌ای، پادگانه دریاچه‌ای، کفه رسی، مخروط افکنه و آبرفت است (شکل ۳). همچنین نتایج تجزیه واریانس در سطح معنی‌داری یک درصد نشان می‌دهد که در منطقه، بین فرسایش‌پذیری انواع مختلف نهشته‌های کواترنری اختلاف معنی‌داری وجود دارد و به‌ترتیب نزولی، پادگانه رودخانه‌ای، کفه رسی، پادگانه دریاچه‌ای، آبرفت و مخروط افکنه است (شکل ۴).



شکل ۳- رسوبزایی در نهشته‌های کواترنری



شکل ۴- فرسایش‌پذیری در نهشته‌های کواترنری

وضعیت عوامل کمی در نهشته‌های کواترنری: نتایج ماتریس همبستگی در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده است. به‌منظور شناسایی مهم‌ترین عوامل مؤثر بر رسوب‌زایی و فرسایش‌پذیری نهشته‌های کواترنری از بین عوامل خاکی، از نتایج تحلیل رگرسیون و بررسی ماتریس همبستگی استفاده شد (جدول‌های ۳ و ۴).

جدول ۱- ضریب همبستگی خطی بین ویژگی‌های خاک و میزان تولید رسوب در نهشته‌ها

مشخصات خاک	مخروط افکنه	کفه رسی	پادگانه دریاچه	آبرفت	پادگانه رودخانه
ماسه	-۰/۴۶۲	-۰/۸۵۳*	۰/۳۶۱	-۰/۳۶۰	-۰/۶۰۰*
سیلت	۰/۴۷۵*	۰/۲۱۶	-۰/۶۴۴	۰/۸۷۲*	-۰/۱۶۹
رس	۰/۳۳۹	۰/۵۶۵	۰/۱۴۷	-۰/۶۳۸	-۰/۱۹۷
ماسه خیلی ریز	-۰/۰۲۴	-۰/۹۸۱**	-۰/۷۸۱	۰/۷۱۹	۰/۱۳۸
سیلت+ماسه ریز	۰/۴۷۴*	-۰/۲۹۷	-۰/۷۷۰	۰/۹۴۱**	۰/۳۰۳
هدایت الکتریکی	-۰/۰۴۳	۰/۴۸۱	۰/۷۸۳	۰/۸۶۵*	۰/۲۴۶
رطوبت نسبی	۰/۷۰۱**	-۰/۷۹۹	۰/۰۲۷	-۰/۷۹۳	-۰/۷۰۳**

** همبستگی در سطح ۰/۰۱ و *همبستگی در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است.

بیشینه فرسایش‌پذیری و رسوب‌زایی، مربوط به پادگانه‌های رودخانه‌ای بوده است که با نتایج Sowers و همکاران (۲۰۰۳) مطابقت دارد. پادگانه‌های رودخانه‌ای به‌دلیل سست بودن، عدم تثبیت، سیمانی نشدن و مقدار رس کم، بسیار فرسایش‌پذیراند. همبستگی منفی میزان ماسه در نهشته رودخانه‌ای، با نظر Verhaegen (۱۹۸۴) و Martz (۱۹۹۲) مغایرت دارد. به‌طورکلی، اگر خاکی جنس یک‌نواخت داشته باشد، مثلاً همه ذرات آن ماسه‌ای و یا رسی باشند، در مقابل فرسایش، حساس‌تر خواهد بود، ولی اکر ترکیب مناسبی از ذرات گوناگون داشته باشد، خاک به فرسایش مقاوم است (باقرنژاد، ۱۳۸۱). رسوب‌زایی پادگانه رودخانه‌ای همبستگی منفی با رطوبت نسبی نشان داده است؛ زیرا افزایش رطوبت نسبی خاک باعث افزایش چسبندگی ذرات خاک شده و میزان فرسایش را کم می‌کند (مورگان، ۱۳۶۸).

جدول ۲- ضریب همبستگی خطی بین ویژگی‌های خاک و عامل K در نهشته‌های کواترنری

مشخصات خاک	مخروط افکنه	کفه رسی	پادگانه دریاچه	آبرفت	پادگانه رودخانه
ماسه	۰/۴۸۴*	-۰/۰۲۷	-۰/۴۱۶	-۰/۴۵۱	-۰/۱۴۲
سیلت	۰/۶۲۶**	۰/۸۳۳*	۰/۵۳۷	۰/۹۴۶**	۰/۴۷۹
رس	۰/۲۹۶	-۰/۹۰۲*	۰/۰۸۶	-۰/۶۳۲	-۰/۵۰۶
ماسه خیلی ریز	۰/۵۵۶*	۰/۲۶۰	۰/۹۴۹**	۰/۹۸۳**	۰/۳۹۱
سیلت+ماسه ریز	۰/۸۹۴**	۰/۹۷۹**	۰/۸۴۰*	۰/۶۹۸	۰/۶۱۱*
هدایت الکتریکی	۰/۵۱۵*	-۰/۷۸۵	-۰/۴۳۷	۰/۸۷۲*	۰/۲۸۶
رطوبت نسبی	-۰/۱۷۰	۰/۱۶۶	۰/۵۵۷	-۰/۹۸۶**	۰/۰۷۳
ماده آلی	-۰/۸۳۹**	-۰/۰۰۱	۰/۶۴۴	-۰/۵۹۵	-۰/۳۰۲
کربنات کلسیم	۰/۰۷۹	۰/۳۳۴	-۰/۸۸۸*	۰/۹۰۱*	۰/۰۴۶
اسیدیته	۰/۰۷۹	۰/۴۷۱	-۰/۲۷۹	-۰/۲۳۰	۰/۳۴۴

** همبستگی در سطح ۰/۰۱ و *همبستگی در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است.

جدول ۳- مدل‌های نهایی برآورد تولید رسوب در نهشته‌های کواترنری

گروه	خطای تخمین (٪)	ضریب تبیین	رابطه
Q^f_2	*۸۲/۱۹	۰/۲۲۶	$y = 0.399\,slt + 0.658$
	*۷۶/۲۶	۰/۲۲۵	$y = 0.268\,svf + 0.067$
	**۶۲/۲	۰/۴۹۲	$y = 1.193\,wn + 1.338$
	*۷۴/۷۹	۰/۲۸۳	$y = 10.328\,cac - 2.621$
Q^{cf}	*۵۴/۸۵	۰/۷۲۲	$y = 10.499\,sa - 0.157$
	**۱۰/۸۹	۰/۹۷۵	$y = 6.173\,vfs - 0.292$
	*۶۲/۷۲	۰/۷۵۶	$y = 7.353\,om - 8.426$
	*۶۳/۰۶	۰/۸۵۱	$y = 56.158\,ph - 6.841$
Q^{tl}	*۱۶/۴۶	۰/۷۳۰	$y = 3.676\,cac - 0.283$
Q^{al}	*۴۵/۲۸	۰/۷۶۰	$y = 2.217\,slt - 0.173$
	**۱۴۹/۶۱	۰/۸۸۵	$y = 0.099\,svf - 0.061$
	*۶۳/۵۳	۰/۷۴۹	$y = 10.048\,ec - 1.913$
Q^t_2	*۴۲/۱۸	۰/۳۶۰	$y = 4.834\,sa - 0.088$
	**۲۱/۴۸	۰/۴۹۴	$y = 5.741wn - 0.401$

* سطح معنی‌داری ۵ درصد و ** سطح معنی‌داری ۱ درصد است. *slt*: سیلت ، *svf*: سیلت + ماسه خیلی ریز ، *wn*: رطوبت نسبی ، *cac*: کربنات کلسیم، *sa*: ماسه، *vfs*: ماسه خیلی ریز، *om*: ماده آلی ، *ph*: اسیدیته، *EC*: هدایت الکتریکی، *y*: مقدار رسوب

همبستگی مثبت معنی‌دار بین فرسایش پذیری و سیلت+ ماسه خیلی ریز در پادگانه رودخانه‌ای، با نتایج Duiker و همکاران (۲۰۰۱) و Parysow و همکاران (۲۰۰۲) مطابقت دارد. در این تحقیق، مقادیر کمینه فرسایش‌پذیری و رسوب‌زایی به نهشته مخروط افکنه و آبرفت تعلق گرفت که با نتایج Duiker و همکاران (۲۰۰۱)، مبنی بر فرسایش زیاد نهشته آبرفتی، مغایرت داشته است؛ علت این مسئله را می‌توان نفوذپذیری زیاد نهشته آبرفتی و مخروط افکنه دانست (میجانی، ۱۳۷۸). رسوب‌زایی نهشته آبرفت با سیلت، سیلت+ ماسه خیلی ریز و هدایت الکتریکی، همبستگی مثبت و فرسایش‌پذیری آن با همین عوامل و نیز کربنات کلسیم همبستگی مثبت، و با رطوبت نسبی همبستگی منفی نشان داده است. همبستگی مثبت فرسایش‌پذیری با عامل سیلت در تحقیقات Meyer و Harmon (۱۹۸۴) و Duiker و همکاران (۲۰۰۱) تایید شده است.

جدول ۴- مدل‌های نهایی برآورد عامل K در نهشته‌های کواترنری

گروه	خطای تخمین (٪)	ضریب تبیین	رابطه
Q^{f}_{2}	*۳۲/۸۳	۰/۲۳۴	$y = 0.516\,sa - 004$
	**۳۴/۴۷	۰/۳۹۲	$y = 0.077\,slt + 0.079$
	*۳۹/۳۳	۰/۳۱۰	$y = 0.087\,vfs + 0.012$
	**۱۷/۹۴	۰/۷۹۹	$y = 0.012\,svf - 0.011$
	*۷۷/۲۱	۰/۲۶۵	$y = 0.199\,wn + 0.089$
	**۲۳/۱۴	۰/۷۰۴	$y = 1.470\,cac - 0.376$
Q^{cf}	*۱۶/۲۸	۰/۶۷۹	$y = 1.112\,slt - 1.023$
	*۱۰/۱۵	۰/۷۹۵	$y = 0.614\,cly - 0.014$
	**۶/۲۸	۰/۹۵۸	$y = 0.225\,svf - 0.014$
Q^{tl}	**۱/۵۷	۰/۹۰۰	$y = 0.0142\,vfs + 0.016$
	*۲/۶۵	۰/۷۰۶	$y = 0.622\,svf - 0.283$
	*۲/۹۴	۰/۷۸۸	$y = 0.563\,cac - 0.005$
Q^{al}	**۹/۹۷	۰/۸۹۶	$y = 0.283\,slt - 0.031$
	**۷/۸۹	۰/۹۴۷	$y = 0.073\,vfs + 0.017$
	*۲۵/۲۱	۰/۷۶۱	$y = 1.563\,ec - 0.323$
	**۹/۰	۰/۹۵۴	$y = 0.701\,wn - 0.030$
	*۱۷/۲۶	۰/۸۱۲	$y = 0.123\,cac - 0.025$
Q^{t}_{2}	*۸/۳۶	۰/۸۴۶	$y = 0.068\,svf - 0.008$

* سطح معنی‌داری ۵ درصد و ** سطح معنی‌داری یک درصد است. *slt*: سیلت، *svf*: سیلت + ماسه خیلی ریز، *wn*: رطوبت نسبی، *cac*: کربنات کلسیم، *sa*: ماسه ، vfs: ماسه خیلی ریز، *ec*: هدایت الکتریکی، *cly*: رس، y: فاکتور K

همبستگی مثبت فرسایش‌پذیری با هدایت الکتریکی، به‌وسیله Merzouk و Blake (۱۹۹۱) و Rienks و همکاران (۱۹۹۹) ثابت شده است. ذرات آهک در اندازه سیلت، باعث سله‌بندی و پر شدن حفرات خاک و منجر به عدم پایداری خاک‌دانه‌های بزرگ می‌شود (Merzouk و Blake، ۱۹۹۱). رسوب‌زایی مخروط افکنه مورد بررسی با سیلت+ ماسه خیلی ریز، سیلت و رطوبت نسبی همبستگی مثبت معنی‌دار و با کربنات کلسیم، همبستگی منفی داشته است. فرسایش‌پذیری مخروط افکنه با ماسه، ماسه خیلی ریز، سیلت، سیلت+ ماسه خیلی ریز و رطوبت نسبی، همبستگی مثبت و با کربنات کلسیم همبستگی منفی نشان داده است. میزان کربنات می‌تواند به‌عنوان یک عامل پایدارکننده عمل کرده، نقش یک عنصر مقاوم به فرسایش را ایفا کند (De Meester و Jungerius، ۱۹۷۸) و یون کلسیم نیز، باعث تجمع کلوئیدهای خاک شده و مقاومت به فرسایش را افزایش می‌دهد (Duiker و همکاران، ۲۰۰۱). در کفه رسی رسوب‌زایی با ماسه، ماسه خیلی ریز، ماده آلی و اسیدیته، همبستگی منفی و فرسایش‌پذیری آن با سیلت و سیلت+ ماسه خیلی ریز همبستگی مثبت و با رس، همبستگی منفی نشان داده است.

همبستگی مثبت بین فرسایش‌پذیری و ماسه خیلی‌ریز در پژوهش‌های Duiker و همکاران (۲۰۰۱) و Parysow و همکاران (۲۰۰۲) نشان داده شده است. همبستگی منفی فرسایش‌پذیری با ماده آلی، به‌وسیله‌ی Martz (۱۹۹۲)، Duiker و همکاران (۲۰۰۱) و فیض نیا و همکاران (۱۳۸۴) تایید شده است. وجود مواد آلی فراوان در خاک، ظرفیت نگهداری آب، تخلخل و در نتیجه نفوذپذیری را افزایش می‌دهد؛ لذا با افزایش مواد آلی، حجم هرزآب و نرخ رسوب‌زایی کاهش می‌یابد. همبستگی منفی اسیدیته با فرسایش‌پذیری، با نظر Dongsheng و همکاران (۲۰۰۶) مغایرت دارد. افزایش pH در خاک‌های با ساختمان مکعبی یا دان‌های متوسط و درشت، فرسایش‌پذیری را کاهش می‌دهد (Wischmeier و Mannering، ۱۹۶۹). همبستگی منفی بین رس و فرسایش، با نتایج Miller و Baharuddin (۱۹۸۷) مغایرت داشته، ولی با نتایج Meyer و Harmon (۱۹۸۴) و Duiker و همکاران (۲۰۰۱) مطابقت دارد. اگر

مقدار رس خاکی کم‌تر از ۱۰ درصد باشد، تقریباً ساختمانی در خاک به‌وجود نمی‌آید و اگر هم ساختمانی تشکیل شود، ذرات خاک چسبندگی زیادی نخواهند داشت و براثر فرسایش به‌سرعت پراکنده می‌شوند (مورگان، ۱۳۶۸). در صورتی‌که مقدار رس خاک خیلی زیاد باشد (بیش از ۴۰ درصد)، خاک‌دانه‌های کوچکی ایجاد و به‌آسانی فرسوده می‌شوند (رفاهی، ۱۳۸۲).

در نهشته پادگانه دریاچه‌ای، رسوب‌زایی با کربنات کلسیم همبستگی مثبت و فرسایش‌پذیری آن با ماسه خیلی ریز و سیلت+ ماسه خیلی ریز همبستگی مثبت داشته، ولی با کربنات کلسیم همبستگی منفی دارد. با توجه به ضریب همبستگی بین رسوب‌زایی و فرسایش‌پذیری نهشته‌ها و عوامل فیزیکوشیمیایی اندازه‌گیری شده در این تحقیق، پارامترهای رطوبت نسبی، سیلت+ ماسه خیلی ریز و آهک در مخروط افکنه، ماسه خیلی ریز، سیلت، رس و سیلت+ ماسه خیلی‌ریز در کفه رسی، آهک، سیلت+ ماسه خیلی ریز و ماسه خیلی ریز در پادگانه دریاچه‌ای، سیلت، ماسه خیلی ریز، هدایت الکتریکی، رطوبت نسبی و آهک در نهشته آبرفت و رطوبت نسبی و سیلت+ ماسه خیلی‌ریز در پادگانه رودخانه‌ای، بیش‌ترین تأثیر را در تولید رسوب و فرسایش‌پذیری داشته‌اند؛ بر اساس این پارامترها مدل‌های رگرسیونی معنی‌دار با ضریب تبیین بالا و خطای نسبی کم برای برآورد رسوب‌زایی و فرسایش‌پذیری در این نهشته‌ها به‌دست آمد. با توجه به ایجاد بیش‌ترین میزان رسوب‌زایی و حساسیت به فرسایش در پادگانه رودخانه‌ای، که عمدتاً دارای کاربری کشاورزی و آیش است، لزوم تحقیقات بیش‌تر و همچنین مدیریت جامع در این نهشته و کاربری‌های موجود در آن تاکید می‌شود. انجام تحقیقات مشابه در سایر نقاط کشور، با شرایط شیب و اقلیم متفاوت در زمینه رسوب‌زایی و حساسیت به فرسایش نهشته‌های کواترنری، به‌منظور مقایسه نتایج به‌دست آمده با یک‌دیگر و دست‌یابی به روابط کاربردی و تدابیر و راه‌کارهای کلان، از توصیه‌های این پژوهش است.

منابع مورد استفاده

۱. ارشم، ع. ۱۳۷۵. مقایسه رواناب- رسوب سازندهای مختلف زمین شناسی با استفاده از دستگاه باران ساز (در حوزه آبخیز ابوالفارس رامهرمز- خوزستان)، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۲. باقرنژاد، م. ۱۳۸۱. جغرافیای خاک‌های ایران و جهان. انتشارات دانشگاه شیراز.

۳. سازمان آب منطقه‌ای اصفهان و چهار محال بختیاری. ۱۳۸۳. مطالعات هواشناسی، حوزه سجزی- کوهپایه.

۴. شکل‌آبادی، م. ۱۳۷۹. بررسی فرسایش پذیری نسبی خاک برخی از سازندهای زمین شناسی و رابطه آن با تعدادی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها در حوزه آبخیز گل‌آباد. پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۵. فیض‌نیا، س.، م. خواجه و ج. غیومیان. ۱۳۸۴. بررسی اثر عوامل فیزیکی، شیمیایی و آب و هوایی در تولید رسوب ناشی از فرسایش سطحی خاک‌های لسی (مطالعه موردی در استان گلستان). مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۶۶، صفحه ۲۴-۱۴.

۶. فیض‌نیا، س. و م. زارع‌خوش‌اقبال. ۱۳۸۲. بررسی حساسیت سازندهای زمین شناسی نسبت به فرسایش و تولید رسوب در حوزه آبخیز لتیان. مجله منابع طبیعی ایران،جلد ۵۶، شماره ۴، صفحه ۳۸۱-۳۶۵.

۷. معتمد، الف. ۱۳۷۳. نقش تغییرات اقلیمی در جهان با نگرش ویژه به ایران. مجموعه مقالات نخستین سمپوزیوم بین المللی کواترنر، دانشگاه تهران.

۸. مورگان، آر.پی.سی. ۱۳۶۸. فرسایش و حفاظت خاک. ترجمه امین علیزاده، انتشارات آستان قدس رضوی.

۹. میجانی، ک. ۱۳۷۸. بررسی گسترش مخروط افکنه‌ها در رابطه با خصوصیات فیزیکی حوزه‌های آبخیز بالادست و تعیین خصوصیات خاک در طول چند مخروط افکنه نمونه در استان کرمان. پایان نامه کارشناسی ارشد بیابان زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

10. Barthes, B. and E. Roose. 2002. Aggregate Stability as an Indicator of Soil Susceptibility to Runoff and Erosion؛ Validation at Several Levels. Catena, 47:133-149.

11. De Meester, T. and P.D. Jungerius. 1978. The Relationship Between the Soil Erodibility Factor K (Universal Soil Loss Equation.), Aggregate Stability and Micromorphological Properties of Soils in the Hornos Area, S. Spain. Earth Surf. Processes, 3:379–391.

12. Dongsheng, Y., S. Xuezheng and D.C. Weindorf. 2006. Relationships between Permeability and Erodibility of Cultivated Acrisols and Cambisols in Subtropical China. Soil Science Society of China, 16(3):304-311.

13. Duiker, S.W., D.C. Flanagan and R. Lal. 2001. Erodibility and Infiltration Characteristics of Five Major Soils of Southwest Spain. Catena, 45(2):103-121.

14. Hay, W.W. 1998. Detrital Sediment Fluxes frome Continents to Oceans. Chem. Geol. 145: 287-323.
15. Heimsatha, A.M., J. Chappellb, W.E. Dietriche, K. Nishiizumid and R.C. Finkele. 2001. Late Quaternary Erosion in Southeastern Australia: A Field Example Using Cosmogenic Nuclides. Quaternary International, 83-85:169-185.
16. Liua, Z.T., C. Colinb, A. Trentesauxc, G. Sianib and N. Frankd. 2004. Late Quaternary Climatic Control on Erosion and Weathering in the Eastern Tibetan Plateau and the Mekong Basin. Quaternary Research, 63:316-328.
17. Martz, L.W. 1992. The Variation of Soil Erodibility With Slope Position in a Cultivated Canadian Prairie Landscape. Earth Surf. Proc. Landf, 17:543–556.
18. Mather, A.E., M. Stokes and J.S. Griffiths. 2004. Quaternary Landscape Evolution: a Framework for Understanding Contemporary Erosion, Southeast Spain. Land Degradation & Development, 13(2):89-109.
19. Merzouk, A. and G.R. Blake. 1991. Indices for the Estimation of Interill Erodibility of Moroccan Soils. Catena, 18:537-550.
20. Meyer, L.D. and W.C. Harmon. 1984. Susceptibility of Agricultural Soil to Interrill Erosion. J. Soil Science Society of America, 48:1152-1157.
21. Miller, W.P. and M.K. Baharuddin. 1987. Particle Size of Interrill-Eroded Sediments from Highly Weathered Soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 51:1610–1615.
22. Parysow, P., G. Wang, G. Gertner and A.B. Anderson. 2002. Spatial Uncertainty Analysis for Mapping Soil Erodibility Based on Joint Sequential Simulation. Catena, 53:65-78.
23. Rienks, S.M., G.A. Botha and J.C. Hughes. 1999. Some Physical and Chemical Properties of Sediments Exposed in a Gully (Donga) in Northern KwaZulu-Natal, South Africa and Their Relationship to the Erodibility of the Colluvial Layers. Catena, 39:11-31.
24. Sowers, J.M., J.T. Pearce and W. Littis. 2003. Geomorphology of the Historical Silver Creek Watershed. Walnut Creek, 925:256-607.
25. Verhaegen, T. 1984. The Influence of Soil Properties on Erodibility of Belgian Loamy Soils: a Study Based on Rainfall Simulation Experiments. Earth Surf. Proc. Landf, 9: 499–507.
26. Verstraeten, G. and J. Poesen. 2001. Factors Controlling Sediment Yield from Small Intensively Cultivated Catchments in a Temperate Humid Climate. Geomorphology, 40: 123-144.
27. Wischmeier, W.H. and J.V. Mannering. 1969. Relation of Soil Properties to its Erodibility. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 33:131-136.

Investigation of erodibility and sediment productivity of quaternary deposits of Segzi-Kuhpayeh plain in Esfahan province

Hamid Reza Moradi[1], Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Iran
Nayereh Ghazanfarpour, Former MSc Student, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares, Iran
Sadat Feiznia, Professor, Faculty of Natural Resources, Tehran University, Iran

Received: 13 March 2009 **Accepted**: 21 June 2009

Abstract

One of the effective factors in soil erosion is geological formations of the drainage basin from the view points of their erodibility and the amount of runoff and sediment yield. In this investigation a part of Segzi- Kuhpayeh subdrainage, located in Zayandeh-Rood Drainage Basin with 67091.7 ha area was chosen for studying erodibility and sediment yield of Quaternary Formations. For doing this, the map of Quaternary Formations was prepared. Then in each unit a field rainfall simulator was used and runoff and sediment were collected from the plots and erodibility and sediment yield factors were obtained. Soil samples were taken adjacent to each micro plot for laboratory tests and the data were analyzed statistically. The results of regression analyses have shown that erodibility and sediment yield are significantly different in various Quaternary Formations. The most important physical and chemical parameters in sediment yield in different formations are Silt, Sand, very Fine Sand, Wetness, $Caco_3$ and in erodibility of different formations are Silt+ very Fine Sand, $Caco_3$, Silt, Clay, very Fine Sand and EC.

Key words: Erodibility, Micro plot, Rainfall simulator, Regression model, Sediment yield

[1] hrmoradi@modares.ac.ir