



دوره ۳۳، شماره ۳، شماره‌ی پیاپی ۱۲۸، پاییز ۱۳۹۹، صفحه‌های ۱۹-۲
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmej.2019.127505.1252

پژوهش‌های آبخیزداری

ارزیابی تأثیر شیب بر فرسایش و جابه‌جایی رسوب برآوردشده با روش سزیم-۱۳۷ در آبخیز معرف خامسان

فاطمه صدیقی

دانشجوی دکترای آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

عبدالواحد خالدی درویشان

(نویسنده‌ی مسئول)* دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

محمدرضا زارع

استادیار گروه فیزیک، دانشکده‌ی علوم، دانشگاه اصفهان

*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: a.khaledi@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۸ شهریور ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: ۲۶ آذر ۱۳۹۸

چکیده

تراز رسوب مفهوم و ابزاری ارزشمند برای توصیف کردن تولید، انتقال و ذخیره‌سازی رسوب در آبخیز است. برای بررسی تأثیر شیب بر تراز رسوب در آبخیز معرف خامسان در جنوب استان کردستان، نقشه‌ی توزیعی فرسایش و رسوب با سزیم-۱۳۷ تهیه و با نقشه‌ی شیب هم‌پوشانی داده شد. نتیجه نشان داد که در ۱۵ زیرحوزه با مساحت و شیب متوسط ۱۸۵/۳۹ هکتار و ۳۱/۸۳٪، متوسط نسبت جابه‌جایی رسوب ۲۸/۴۳٪ بود، و با افزایش یافتن مساحت تا سطح کل حوزه (۴۰۹۸/۶۶ هکتار، بی‌رخمون‌های سنگی) با شیب متوسط ۲۵/۲۶٪ به ۱۲/۶۳٪ کاهش یافت. این نتیجه بر تأثیر دشت میانی حوزه با شیب متوسط ۱۰/۲۷٪ بر تله‌اندازی رسوب و کاهش نسبت جابه‌جایی رسوب به اندازه‌ی ۱۵/۸٪ تأکید دارد. نتیجه‌ی مقایسه‌ی تراز رسوب در طبقه‌های شیب نشان داد که در کاربری‌های باغ، زراعت آبی و مرتع حفاظت شده، در همه‌ی شیب‌ها رسوب‌گذاری غالب است، در حالی که تقریباً کل فرسایش در کاربری زراعت دیم در شیب‌های ۲ تا ۲۰٪ و مرتع در شیب‌های بیش‌تر از ۳۰٪ است. بنابراین پیشنهاد می‌شود قبل از ساختن بندهای رسوب‌گیر، جابه‌جایی رسوب با تأکید بر عمل‌کرد نواحی کم‌شیب در جایگاه مخزن رسوب بررسی شود، و سپس اگر نیاز بود بندهای رسوب‌گیر آن‌هم در مکان‌هایی با بیشترین کارایی ساخته شود. توصیه می‌شود از تبدیل کردن مرتع به دیم‌زار و شخم‌زدن در جهت شیب جآماریری شود.

واژگان کلیدی: تراز رسوب، سزیم-۱۳۷، کاربری زراعی دیم، نسبت جابه‌جایی رسوب، هدررفت خاک

مقدمه

فرسایش خاک و تولید رسوب از مخرب‌ترین پدیده‌هایی است که تاثیرهای منفی بر تولید کشاورزی، کیفیت آب و سامانه‌های آب‌شناسی دارد. تعیین کردن اندازه‌ی فرسایش خاک اهمیت زیادی در مهار کردن فرسایش خاک و مدیریت کردن کاربری زمین دارد. اندازه‌گیری رسوب خروجی به‌تنهایی نمی‌تواند بیانگر وضعیت فرسایش و رسوب آبخیز باشد، چرا که رسوب تولیدشده غالباً کم‌تر از اندازه‌ی خاک فرساییده در آبخیز است (ادواردز ۱۹۹۳؛ واسون و اولیو ۱۹۹۶)، و این نشان می‌دهد که بخشی از مواد فرسایش یافته پس از گذر از مسافت کوتاهی دوباره رسوب می‌کند و برجای می‌ماند (پارسونس و استرنبرگ ۱۹۹۸؛ پورتو و همکاران ۲۰۰۹). نمودار درآمد رسوب مفهوم و ابزار ارزشمندی است که برای توصیف کردن تولید، انتقال و ذخیره‌سازی رسوب در آبخیز تهیه و تحلیل می‌شود (والینگ و کولینس ۲۰۰۸؛ گلیس و والینگ ۲۰۱۱؛ پورتو و همکاران ۲۰۱۳؛ ناواس و همکاران ۲۰۱۴). اجزای اصلی تراز رسوب در آبخیز شامل فرسایش ناخالص (کل)، توزیع دوباره‌ی رسوب روی دامنه، جابه‌جایی رسوب به سامانه‌ی حمل، و رسوب خروجی است (والینگ و همکاران ۲۰۱۴). نکته‌ی مهم این است که غالباً رابطه‌ی معکوس بین فرسایش ناخالص رخ داده در سطح و بازه‌ی زمانی مشخص و رسوب‌دهی در همان سطح و بازه‌ی زمانی است، که نشان‌دهنده‌ی اهمیت منطقه‌های مخزن رسوب در سامانه‌ی آبخیز است (دِ و نته و همکاران ۲۰۰۷). مخزن‌های رسوب شامل تمام منطقه‌هایی در آبخیز است که توان تله‌انداختن رسوب یا ته‌نشین کردن موقت یا دائم آن را دارد، و به‌طور مشخص در بازه‌ی زمانی بررسی شده در آن‌ها رسوب‌گذاری می‌شود (استوت و همکاران ۲۰۱۴). طرح‌های مهر کردن رسوب اغلب به‌دلیل نشناختن و در نظر نیابردن منطقه‌ی منبع رسوب و مخزن رسوب شکست می‌خورد (اسمیت و همکاران ۲۰۱۱). اهمیت تشخیص دادن دقیق منبع و مخزن رسوب در آبخیز تا آن‌جا است که عامل اصلی ارتباط ضعیف رسوب‌دهی در خروجی با تولید رسوب در سطح حوزه دانسته می‌شود (تریمبل ۱۹۹۹؛ نیرینگ ۲۰۰۰؛ تریمبل و کروسون ۲۰۰۰). دشت سیلابی در زمان‌های مختلف می‌تواند در نقش منبع

رسوب و هم مخزن رسوب عمل کند. استفاده از روش‌های انگشت‌نگاری رسوب از جمله عنصرهای پرتوزا مانند سزیم-۱۳۷ بهترین روش برای یافتن پاسخی منطقی و دقیق برای این سوال‌ها، و تشخیص دادن دقیق منبع اصلی و مخزن رسوب در سامانه‌ی آبخیز است (والینگ ۱۹۹۹؛ بورت و آلیسون ۲۰۱۰؛ اسمیت و همکاران ۲۰۱۱).

اهمیت نسبت جابه‌جایی رسوب که نسبت بین دو جزء اصلی تراز رسوب (فرسایش خالص یا بار رسوب تقسیم بر فرسایش ناخالص) است در پژوهش‌های فرسایش خاک فراوان است (گلیمف ۱۹۵۴). نسبت جابه‌جایی رسوب از عامل‌هایی مانند توان تولید رسوب حوزه، پستی‌وبلندی حوزه، مساحت آبخیز (پارک و همکاران ۲۰۱۰)، شکل آبخیز (مَنر ۱۹۵۸) شیب آبراه اصلی (ویلیامز و برنند ۱۹۷۲) تأثیر می‌گیرد. از دهه‌ی ۱۹۵۰ پژوهش‌گران زیادی میان نسبت جابه‌جایی رسوب و متغیرهای زودیاقت مساحت و شیب حوزه رابطه برقرار کرده‌اند. یکی از روش‌های محاسبه کردن نسبت جابه‌جایی رسوب که به‌گسترده‌ی به‌کاررفته معادله‌ی رُول (۱۹۶۲) است که معادله‌ی تجربی بر مبنای مساحت است. پس از آن پژوهش‌گران دیگری نیز میان نسبت جابه‌جایی رسوب با مساحت ارتباط برقرار کردند (به عنوان نمونه رنفرو ۱۹۷۵؛ بویک ۱۹۷۵؛ وانونی ۱۹۷۵؛ یواس‌دی‌ای-اس‌سی‌اس ۱۹۸۳؛ فِرو و میناکاپیلی ۱۹۹۵؛ دِ و نته و همکاران ۲۰۰۷؛ دیوداتو و گرائوسو ۲۰۰۹؛ وانگ و همکاران ۲۰۱۶)، در حالی که نتیجه‌ی برخی پژوهش‌ها نشان داد که نمی‌توان اندازه‌ی نسبت جابه‌جایی رسوب را به‌طور کامل فقط بر اساس اندازه‌ی حوزه برآورد کرد (ژینگ و همکاران ۲۰۰۷).

پژوهش‌گرانی نیز بر اثر شیب بر نسبت جابه‌جایی رسوب تأکید کرده‌اند (به عنوان مثال رنفرو ۱۹۷۵؛ والینگ و وب ۱۹۸۳؛ برنارد و لاوردیره ۱۹۹۲؛ ریچاردز ۱۹۹۳؛ هان و همکاران ۱۹۹۴؛ اویانگ و بارتولیک ۱۹۹۷؛ کوتیاری و ژاین ۱۹۹۷؛ سویفت و لویید ۲۰۰۰؛ پارک و همکاران ۲۰۱۰؛ ژانگ و همکاران ۲۰۱۵). علاوه بر این، در دو دهه‌ی گذشته مدل‌هایی نیز برای تخمین زدن رسوب توسعه یافته است، مانند SEDMOD^۱ (فریسر و همکاران ۱۹۹۸)؛ SEDD^۲ (فِرو و پورتو ۲۰۰۰)؛ SATEEC^۳ (لیم و همکاران ۲۰۰۵) و INVEST^۴ (بورسلی ۲۰۰۸) که

1 - Sediment Budget

2 - Spatially Explicit Delivery Model

3 - Sediment Delivery Distributed model

4 - The Sediment Assessment Tool for Effective Erosion Control

5 - Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs

متغیر است، و ممکن است با واقعیت منطبق نباشد.

مواد و روش‌ها منطقه‌ی پژوهش

آبخیز خامسان با مساحت ۴۳۳۶ هکتار در جنوب استان کردستان است (شکل ۱). ارتفاع متوسط و شیب متوسط آبخیز به ترتیب ۱۸۴۰ متر و ۲۵/۱۱٪ است. در این آبخیز چهار نوع کاربری زمین اصلی باغ، زراعت دیم، زراعت آبی و مرتع است، که سطح مرتع با ۴۸/۷۴٪ و باغ با ۰/۰۱٪ به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین است.

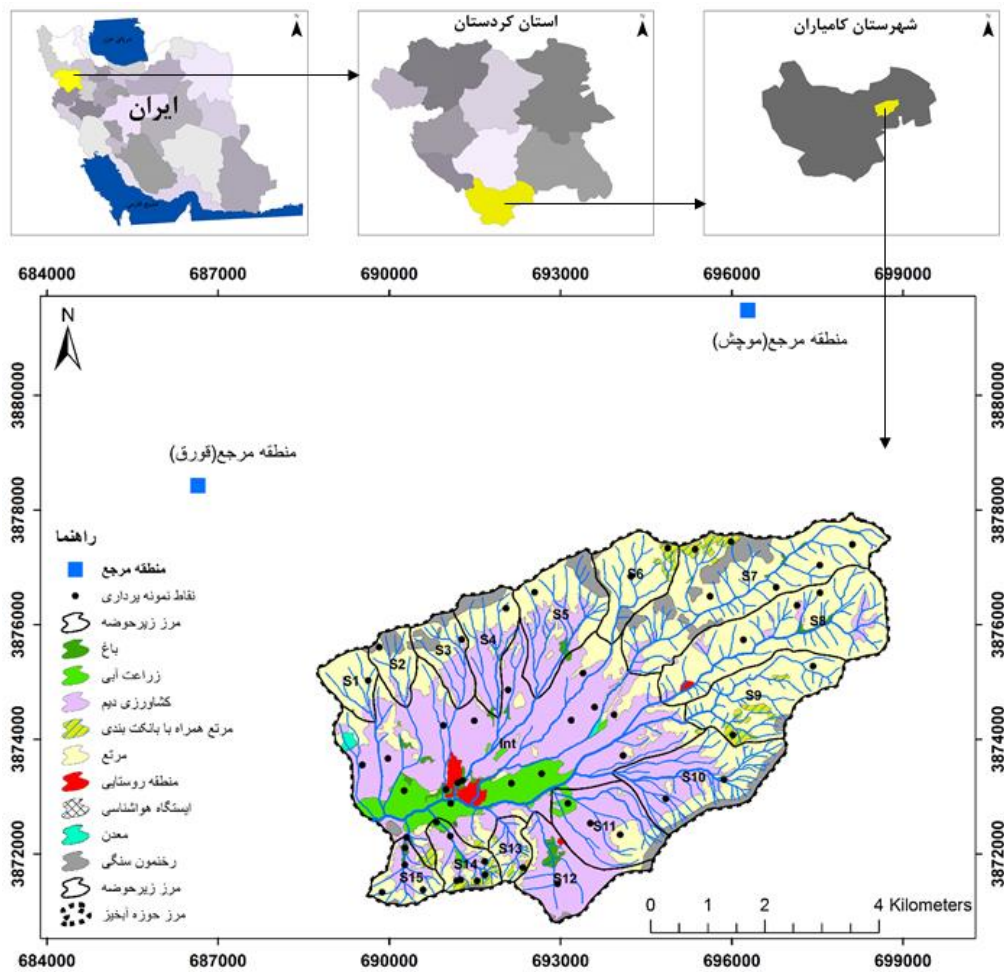
نمونه‌برداری خاک در منطقه‌ی مرجع و آبخیز

نخستین مرحله در اندازه‌گیری فرسایش خاک با سزیم-۱۳۷، مشخص کردن نقطه‌های شاهد یا مرجع است. اندازه‌ی سزیم-۱۳۷ موجود در منطقه‌ی مرجع سنجه‌ی اساسی برای ارزیابی کردن کمی و کیفی نرخ توزیع مجدد خاک است (لوقران و همکاران ۱۹۸۷). مکان‌های مرجع از آغاز ورود رادیویزوتوپ‌ها به خاک تا زمان نمونه‌برداری از دست‌رس دور است و کم‌ترین کشت و جابه‌جایی در آن روی داده است (زاپاتا ۲۰۰۲). این جاها از فرآیندهای شدید فرسایش و رسوب‌گذاری تأثیر نمی‌گیرد و بنابراین به جز بر اثر واپاشی طبیعی، مقدار سزیم-۱۳۷ در آن‌ها تغییر ناچیزی کرده است. مقدار سزیم-۱۳۷ در این جاها بیانگر کل سزیم-۱۳۷ ریزش‌شده در منطقه، از شروع آزمایش‌های هسته‌یی در حدود ۶۵ سال قبل تا زمان نمونه‌برداری است (زاپاتا ۲۰۰۲؛ آراتا و همکاران ۲۰۱۷). معرف‌بودن نمونه و تغییرپذیری نمونه‌برداری در منطقه‌ی مرجع نیز باید در نظر آورده شود (اوونس و والینگ ۱۹۹۶) و تا حد امکان نزدیک به منطقه‌ی پژوهش و لزوماً هم‌ارتفاع با آن باشد. معمولاً منطقه‌های حفاظت‌شده مثل پارک‌ها و گورستان‌ها را ایستگاه شاهد یا مرجع می‌گیرند.

بر این اساس دو آرامستان قدیمی در روستاهای موچش و قورق در فاصله ۱/۵ کیلومتری شمال آبخیز خامسان را منطقه‌ی مرجع انتخاب، و در ۱۰ جا در عمق‌های مختلف ۰-۳، ۳-۶، ۶-۱۰، ۱۰-۱۵، ۱۵-۲۰ و ۲۰-۲۵ سانتی‌متری نمونه‌برداری کردیم (شکل ۱).

در آن‌ها نیز برخی ویژگی‌های فیزیکی حوزه و به‌ویژه طول و تندی شیب برای تخمین‌زدن نسبت جابه‌جایی رسوب به‌کاررفته است. پیچیدگی فرآیندهای حمل رسوب و رابطه‌های متقابل آن‌ها با ویژگی‌های حوزه و نبود بررسی‌های جامع در مورد آن از مهم‌ترین دلایل ناموفق‌بودن دست‌یابی به معادله‌ی عمومی برای نسبت جابه‌جایی رسوب است. از طرفی اگرچه اندازه‌گیری تولید رسوب در انتهای حوزه می‌تواند اطلاعاتی در مورد متوسط فرسایش در داخل حوزه فراهم کند، برای دست‌یابی به مقدار صحیح‌تری از متوسط فرسایش، داشتن نتیجه‌ی تعداد زیادی کرت یا سایر اندازه‌گیری‌های مشابه ضروری است (والینگ ۱۹۹۴). از طرف دیگر با سزیم-۱۳۷ می‌توان متوسط سالانه‌ی فرسایش خاک و توزیع مجدد رسوب را در سطح آبخیز با دقتی پذیرفتنی ارزیابی کرد (مبیت همکاران ۲۰۰۸؛ والینگ و همکاران ۲۰۰۶، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۴؛ پورتو و همکاران ۲۰۱۶ و ژانگ و همکاران ۲۰۱۶؛ لی و همکاران ۲۰۱۹؛ پوربا و همکاران ۲۰۱۹؛ خدادادی و همکاران ۲۰۱۹؛ چی و همکاران ۲۰۱۹؛ کلودیا و همکاران ۲۰۱۹؛ عباسزاده افشار و همکاران ۲۰۱۰؛ اسدی و همکاران ۱۳۹۰؛ گرجی و همکاران ۱۳۹۱؛ سیدعلیپور و همکاران ۱۳۹۳؛ گرجی و همکاران ۲۰۱۴؛ نصرتی و همکاران ۱۳۹۶).

اگر چه پژوهش‌هایی در ایران تأثیر موقعیت شیب و کاربری زمین را بر جابه‌جایی خاک با سزیم-۱۳۷ بررسی کرده اند (اسدی و همکاران ۲۰۱۰؛ رحیمی و همکاران ۲۰۱۲ و نصرتی و همکاران ۲۰۱۵)، هدف از این پژوهش ارزیابی کردن متوسط سالانه‌ی فرسایش خاک و توزیع مجدد رسوب در آبخیز معرف خامسان در غرب ایران به شکل توزیعی و تراز رسوب، و سپس بررسی کردن ارتباط طبقه‌های شیب با نسبت جابه‌جایی رسوب به‌ویژه اثر ناحیه‌ی کم‌شیب داخلی در تراز رسوب در این آبخیز است. دلیل استفاده از روش سزیم-۱۳۷ ضرورت‌داشتن تهیه‌ی نقشه‌ی توزیعی فرسایش/رسوب‌گذاری و سپس استخراج کردن مولفه‌های تراز رسوب بود. بسیاری از روش‌های دیگر از جمله مدل‌های توزیعی برای بررسی اثر شیب دقت کافی ندارد، چراکه یکی از مهم‌ترین متغیرهای موثر در فرسایش در همه‌ی مدل‌ها شیب است، و طبیعتاً اثر شیب بسته به الگوریتم و نوع مدل



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی آبخیز خامسان، منطقه مرجع، و مکان‌های نمونه‌برداری خاک.

زمین و در هر طبقه از شیب، تعدادی نمونه متناسب با مساحت باشد (جدول ۱). به عبارت دیگر، توجه به اثر شیب برای اندازه‌گیری دقیق فرسایش و رسوب‌گذاری منجر به آن شد که نمونه‌برداری با روش نظام‌مند تصادفی (والینگ و همکاران ۲۰۱۴) انجام شود. بر این اساس ۴۳ نمونه‌ی ترکیبی و ۱۱ نمونه‌ی لایه‌یی (۳-۰، ۳-۶، ۶-۱۰، ۱۰-۱۵، ۱۵-۲۰، ۲۰-۲۵ سانتی‌متری) در کاربری‌ها و طبقه‌های مختلف شیب برداشته شد (شکل ۱).

برای نمونه‌برداری از خاک در سطح آبخیز پژوهش‌گران معیارهای مختلفی را برای ایجاد کردن واحدهای همگن به کار برده‌اند، از جمله معیارهای بافت خاک، شیب، پوشش جنگل (مبیت و همکاران ۲۰۰۷)، واحدهای پستی‌وبلندی (بلیک و همکاران ۲۰۰۹)، پستی‌وبلندی و کاربری زمین (استرانی و همکاران ۲۰۱۲) و کاربری زمین (لی و همکاران ۲۰۱۲). براساس نقشه‌ی شیب و کاربری زمین پراکنش جاهای نمونه‌برداری جوری انتخاب شد که در هر کاربری

جدول ۱- مساحت کاربری‌های مختلف زمین در هر طبقه از شیب.

کاربری زمین	طبقه‌های شیب (%)						
	۰-۲	۲-۵	۵-۸	۸-۱۲	۲۰-۱۲	۳۰-۲۰	۶۰-۳۰
باغ	۱/۹۴	۱/۹۳	۲/۹۵	۲/۸۴	۱/۴۵	۰/۸۳	۰/۱۰
مرتع همراه با شیارهای روی خطوط تراز	۰/۰	۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۴۴	۱/۸۳	۴/۶۶	۳/۲۶
زراعت دیم	۶۸/۶۹	۷۳/۹۵	۷۵/۵۳	۷۶/۲۳	۵۸/۱۸	۲۳/۹۲	۲/۴۸
زراعت آبی	۱۸/۴۶	۱۶/۶۰	۱۰/۹۶	۴/۳۳	۱/۵۸	۰/۳۴	۰/۰۲
مرتع	۸/۳۶	۵/۰۵	۷/۰۹	۱۵/۰۴	۳۴/۴۹	۶۶/۵۴	۸۴/۱۸
مسکونی	۲/۱۷	۲/۱۳	۲/۸۶	۰/۱۸	۰/۲۲	۰/۱۴	۰/۰۴
رخ‌نمون	۰/۳۹	۰/۳۱	۰/۵۱	۰/۹۵	۲/۲۶	۳/۵۷	۹/۸۳

موجودی سزیم-۱۳۷ به اندازه‌ی فرسایش خاک تبدیل کرده شد. به عبارت دیگر برای محاسبه‌کردن اندازه‌ی فرسایش و رسوب، فعالیت سزیم-۱۳۷ در خاک عرصه با فعالیت سزیم-۱۳۷ در خاک منطقه‌ی مرجع مقایسه کرده شد (زاپاتا ۲۰۰۲؛ آراتا و همکاران ۲۰۱۷). در این پژوهش برای زمین مرتعی به این دلیل که در بازدیدها نشانه‌هایی از جابه‌جایی مواد در نیم‌رخ خاک دیده شد مدل انتشار و مهاجرت به کار برده شد (والینگ و همکاران ۲۰۱۴). برای کاربری‌های زراعی نیز به دلیل این‌که ارزیابی اولیه و شاهدهایی از اندازه‌ی جابه‌جایی خاک در منطقه نیست، و نظام بارندگی و زمان خاک‌ورزی مشخص است، معادله‌ی موازنه‌ی جرمی نوع II به کار برده شد (والینگ و همکاران ۲۰۱۴).

برای تهیه‌کردن نقشه‌ی توزیعی فرسایش و رسوب آبخیز معرف خامسان، روش واحدهای کاری (هم‌پوشانی‌دادن نقشه‌های کاربری زمین و شیب) و تعمیم‌دادن نتیجه‌ی آن برای پوشش‌دادن کل سطح آبخیز به کار برده شد. برای آن دسته از چندضلعی‌ها یا واحدهای کاری که مکان‌های نمونه‌برداری در آن‌ها بود عدد به‌دست‌آمده از مکان به واحد کاری پیرامون آن تعمیم داده شد. برای دیگر واحدهای کاری نیز متوسط عدد به‌دست‌آمده در مکان‌های با کاربری مشابه در طبقه‌های شیب بیش‌تر و کم‌تر استفاده شد.

تفکیک‌کردن عمل‌کرد فرسایش و رسوب‌گذاری در هر مکان

از آن‌جا که احتمال عمل‌کردن هر دو فرآیند فرسایش و رسوب‌گذاری در یک مکان مشخص است، نتیجه‌ی روش سزیم-۱۳۷ برای فرسایش/رسوب‌گذاری برآیند عمل هر

برای نمونه‌برداری عمقی یا ترکیبی (نا لایه‌یی) مغزه‌گیر^۶ با ارتفاع ۲۵ و قطر ۸/۵ سانتی‌متر، و برای نمونه‌های لایه‌یی کرت جداکننده^۷ تا عمق ۲۵ سانتی‌متری، به‌روش لایه‌یی در عمق‌های ۰-۳، ۳-۶، ۶-۱۰، ۱۰-۱۵، ۱۵-۲۰ و ۲۰-۲۵ سانتی‌متری در خاک گذاشته شد. نمونه‌های برداشته شده از هر عمق جداگانه بسته‌بندی و برچسب‌گذاری شد. در نمونه‌های لایه‌یی سعی شد که همه‌ی خاک در عمق برگزیده برداشته و باهم ترکیب شود تا نمونه‌ی نهایی میانگین خاک آن عمق باشد. نمونه برای اندازه‌گیری فعالیت سزیم-۱۳۷ و جرم مخصوص ظاهری برداشته و به آزمایشگاه منتقل شد.

اندازه‌گیری سزیم-۱۳۷ و تبدیل آن به فرسایش/رسوب در هر مکان اندازه‌گیری

پس از اندازه‌گیری‌کردن فعالیت سزیم-۱۳۷، برای محاسبه‌کردن فرسایش خاک موجودی سزیم-۱۳۷ محاسبه کرده می‌شود. با رابطه‌ی والینگ و همکاران (۲۰۰۳) اندازه‌ی سزیم-۱۳۷ محاسبه شد (رابطه‌ی ۱).

$$CPI = \sum C_i \cdot B_i \cdot D_i \cdot 10^3 \quad (1)$$

CPI اندازه‌ی سزیم-۱۳۷ در خاک (بکرل بر مترمربع)، C_i فعالیت سزیم-۱۳۷ در خاک (بکرل در کیلومترمربع)، D_i عمق نمونه برداری (متر) و B_i جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) است.

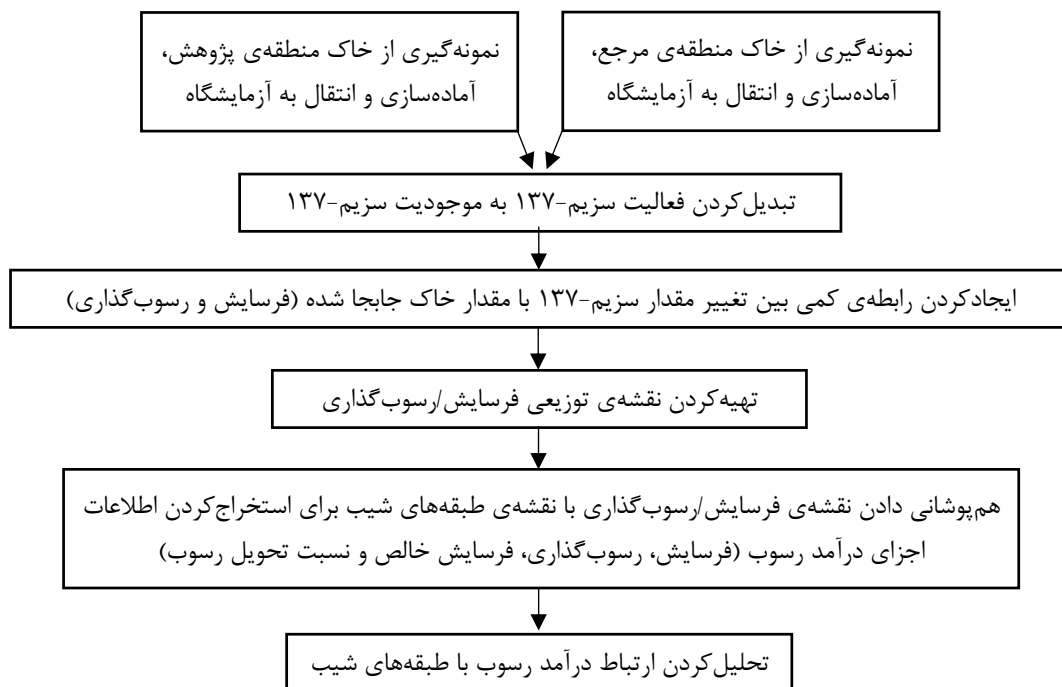
پس از محاسبه‌کردن اندازه‌ی سزیم-۱۳۷ در نمونه‌های خاک، برای ایجادکردن رابطه بین تغییر در مقدار سزیم-۱۳۷ با مقدار خاک جابه‌جا شده با مدل‌های تبدیل،

6 - Auger

7 - Scatterplot

بسیار زیاد اندازه‌گیری فعالیت سزیم-۱۳۷، در این پژوهش در هر مکان ترکیبی نمونه‌برداری شد، و بنابراین امکان تفکیک کردن فرسایش و رسوب‌گذاری در هر مکان نبود. از طرف دیگر در پژوهش‌های پیشین دامنه‌ی برای میانگین منطقه‌ی مرجع انتخاب می‌کنند تا شرایط پایدار (برابری نسبی هر دو فرآیند فرسایش و رسوب‌گذاری) را نشان دهد (اوونس و والینگ ۱۹۹۶)، در این پژوهش دامنه‌ی برابر با یک انحراف معیار برای دو حد زیاد و کم میانگین فعالیت سزیم-۱۳۷ در منطقه‌ی مرجع (میانگین \pm انحراف معیار) برای شرایط پایدار برگزیده شد (شکل ۲).

دو فرآیند است. برآیند نهایی کاهش و افزایش فعالیت سزیم-۱۳۷ در یک مکان نسبت به منطقه‌ی مرجع، به ترتیب نشان‌دهنده‌ی فرسایش و رسوب‌گذاری است. حال آن‌که در جایی که فرسایش رخ داده است، ممکن است در زمان‌های خاصی از هر سال و یا حتی در دوره‌ی خاصی از بازه‌ی ۶۵ سال اخیر رسوب‌گذاری نیز اتفاق افتاده باشد، اما در مجموع شدت عمل فرسایش برای کاهش فعالیت سزیم-۱۳۷ غالب شده باشد. معمولاً نیم‌رخ عمقی تغییر سزیم-۱۳۷ در محل بررسی به کار برده می‌شود، که البته به دلیل افزایش یافتن چندبرابری تعداد نمونه در نمونه‌برداری لایه‌ی و هزینه‌ی



شکل ۲- نمودار جریان‌ی پژوهش.

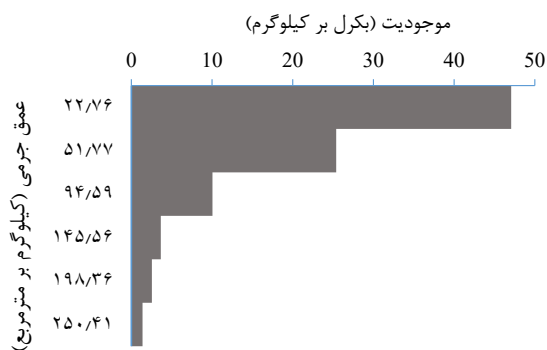
نتایج سزیم-۱۳۷ موجود در منطقه‌ی مرجع ۱۸/۱۴٪ و میانگین آن در منطقه‌ی مرجع ۲۶۴۱/۴۳ بکرل بر مترمربع اندازه‌گیری شد.

برای به کار بردن سزیم-۱۳۷ در پژوهش‌های فرسایش و رسوب لازم است ضریب تغییر سزیم-۱۳۷ موجود در مکان‌های نمونه برداری منطقه‌ی مرجع کمتر از ۲۰٪ باشد (زاپاتا ۲۰۰۲). در آبخیز خامسان ضریب تغییر

سزیم-۱۳۷ موجود و تبدیل شدن آن به فرسایش/رسوب در هر مکان اندازه‌گیری

برای به کار بردن سزیم-۱۳۷ در پژوهش‌های فرسایش و رسوب لازم است ضریب تغییر سزیم-۱۳۷ موجود در مکان‌های نمونه برداری منطقه‌ی مرجع کمتر از ۲۰٪ باشد (زاپاتا ۲۰۰۲). در آبخیز خامسان ضریب تغییر

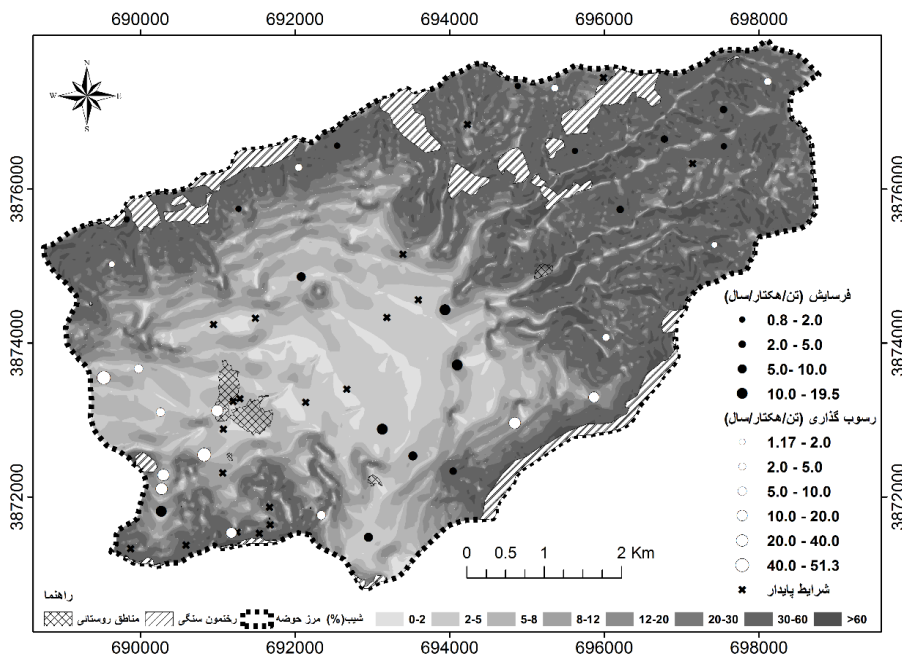
ارزیابی تأثیر شیب بر فرسایش و جابه‌جایی رسوب...



شکل ۳ - نیم‌رخ تغییر میانگین سزیم-۱۳۷ موجود و جرم کل خاک در عمق‌های مختلف در منطقه‌ی مرجع.

و نشان می‌دهد که با تغییر کردن عمق خاک، جرم خاک در واحد معینی از سطح (یک متر مربع) چگونه تغییر می‌کند. برای محاسبه‌کردن عمق جرمی، جرم مخصوص ظاهری خاک در هر عمق اندازه‌گیری شد.

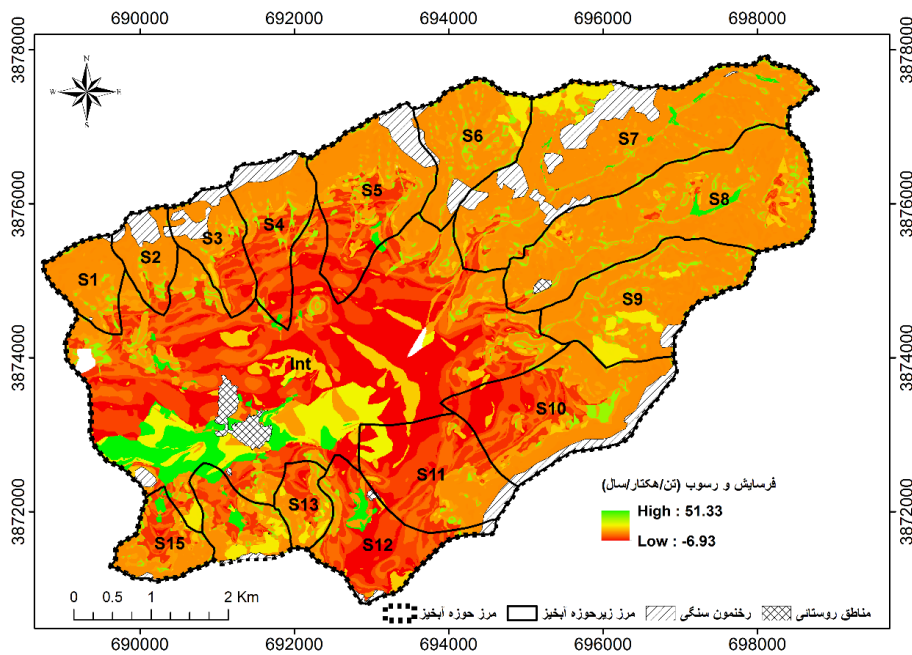
عمق جرمی در نمودار نیم‌رخ عمقی میانگین فعالیت سزیم-۱۳۷ نشان‌دهنده‌ی تغییر جرم خاک با سطح یک متر مربع در عمق‌های مختلف است. این اصطلاح برای تأثیر دادن هم‌زمان جرم مخصوص ظاهری و عمق خاک به کار می‌رود



شکل ۴ - اندازه‌ی فرسایش و رسوب (تن بر هکتار بر سال) در مکان‌های اندازه‌گیری شده.

مقدار قدرمطلق عددهای منفی (فرسایش) کمتر از عددهای مثبت (رسوب‌گذاری) است، در سطح وسیعی از آبخیز فرسایش غالب بود و رسوب‌گذاری فقط در سطح بسیار کم‌تری در بخش‌های میانی و به‌ویژه در شیب‌های کم نزدیک به خروجی آبخیز غالب بود.

تبدیل داده‌های نقطه‌ی فرسایش/رسوب و تهیه‌ی نقشه نقشه‌ی توزیعی فرسایش و رسوب آبخیز خامسان حاصل به‌کار بستن روش واحدهای کاری (هم‌پوشانی نقشه‌های کاربری زمین و شیب) و تعمیم‌دادن نتیجه‌های آن برای پوشش‌دادن کل سطح آبخیز است (شکل ۵). هرچند که



شکل ۵- نقشه‌ی توزیعی فرسایش (عددهای منفی) و رسوب‌گذاری (عددهای مثبت) آبخیز خامسان.

و نسبت جابه‌جایی رسوب در زیرحوزه‌های ۱ تا ۱۵ و در کل آبخیز معرف خامسان محاسبه شد (جدول ۲).

اثر شیب بر فرسایش و جابه‌جایی رسوب برای بررسی‌کردن اثر شیب بر اندازه‌ی فرسایش کل، رسوب‌گذاری کل و فرسایش خالص (رسوب‌دهی)

جدول ۲- نسبت جابه‌جایی رسوب در مقیاس زیرحوزه‌ها و کل آبخیز خامسان.

مقیاس مکانی	متوسط شیب (%)	متوسط مساحت بی در نظرگرفتن رخنمون‌های سنگی (هکتار)	نسبت جابه‌جایی رسوب (%)
زیرحوزه‌های (۱-۱۵)	۳۱/۸۳	۱۸۵/۰۸	۲۸/۴۳
دشت میانی حوزه	۱۰/۲۷	۱۲۷۸/۵۷	۰/۰
کل آبخیز	۲۵/۲۶	۴۰۵۴/۷۵	۱۲/۶۳

مجدد در سطحی بیش‌تر از فرسایش رخ داده در آن باشد، نسبت جابه‌جایی رسوب صفر گرفته می‌شود. درحالی که این نسبت عملاً هیچ‌گاه صفر نیست بل که می‌تواند تا نزدیک به صفر کاهش یابد. در حقیقت در ناحیه‌ی کم‌شیب میانی حوزه رسوب‌گذاری بیش از فرسایش اتفاق افتاده است. برای بررسی‌کردن دقیق‌تر نسبت جابه‌جایی رسوب و تغییر آن در طبقه‌های مختلف شیب، با هم‌پوشانی دادن نقشه‌ی توزیعی فرسایش و رسوب با نقشه‌ی شیب، نسبت جابه‌جایی رسوب به تفکیک طبقه‌های مختلف شیب محاسبه شد (جدول ۳).

دشت میانی آبخیز با متوسط شیب حدود ۱۰٪ در حدود یک سوم از مساحت آبخیز است و همه‌ی زیرحوزه‌ها با متوسط مساحت ۱۸۵ هکتار ابتدا به درون دشت میانی زه‌کش می‌شود (جدول ۲) و آبراه اصلی به سمت خروجی آبخیز می‌رود (شکل ۱). نسبت جابه‌جایی رسوب متوسط برای زیرحوزه‌های ۱۵ گانه حدود ۲۸٪ بود، در حالی که برای دشت میانی صفر به دست آمد. در توضیح عدد صفر برای نسبت جابه‌جایی رسوب می‌توان گفت که در روش سزیم-۱۳۷ مقایسه‌ی فرسایش خالص (رسوب‌دهی) و فرسایش ناخالص (کل) در همان سطح انجام می‌شود و اگر مقدار رسوب‌گذاری

ارزیابی تأثیر شیب بر فرسایش و جابه‌جایی رسوب...

جدول ۳- اندازه‌ی اجزای تراز رسوب به تفکیک طبقه‌های شیب در آبخیز خامسان.

نسبت جابه‌جایی رسوب (%)	فرسایش خالص (رسوب‌دهی) ویژه (تن در هکتار در سال)	رسوب‌گذاری کل ویژه (تن در هکتار در سال)	فرسایش کل ویژه (تن در هکتار در سال)	طبقه‌ی شیب (درصد)
۰/۰	۰/۰	۲/۶۵	۰/۰	۰-۲
۷۰/۶۳	۳/۷۱	۱/۵۴	۵/۲۵	۲-۵
۰/۰	۰/۰	۳/۹۲	۳/۸۷	۵-۸
۰/۰	۰/۰	۲/۹۰	۲/۰۵	۸-۱۲
۰/۰	۰/۰	۴/۸۰	۳/۴۲	۱۲-۲۰
۰/۰	۰/۰	۰/۶۷	۰/۰	۲۰-۳۰
۳۶/۳۲	۰/۱۷	۰/۳۰	۰/۴۸	۳۰-۶۰
۹۵/۱۲	۰/۹۴	۰/۰۴	۰/۹۸	۶۰<

نقطه‌های محدود پنهان است) مقدار آن به رسوب‌گذاری کل نمی‌رسد. بنابراین باز هم نسبت جابه‌جایی رسوب صفر است، چون هر آن‌چه فرسایش یافته مجدداً در همین طبقه‌ی شیب رسوب کرده است. مساحت سطح فرسایشی و رسوب‌گذاری در کاربری‌های مختلف زمین به تفکیک طبقه‌های شیب (جدول ۴) و اجزای تراز رسوب به تفکیک طبقه‌های شیب در کاربری‌های مختلف زمین در آبخیز خامسان محاسبه شد (جدول ۵).

در روش تبدیل‌کردن داده‌ی نقطه‌ی فرسایش/رسوب‌گذاری به سطح با روش واحدهای کاری، گاهی در همه‌ی نقطه‌های داخل یک واحد کاری فقط یک فرآیند فرسایش یا رسوب‌گذاری است، و بنابراین در هنگام تعمیم‌دادن برای کل واحد کاری فقط یک فرآیند در نظر گرفته می‌شود. این از ضعف‌های روش تعمیم نقطه به سطح با واحدهای کاری است. با این حال در برخی طبقه‌های شیب (که فرسایش کل آن صفر گرفته شده باشد) حتی اگر فرسایش کل هم باشد (که عملاً هست ولی از دید روش واحدهای کاری با تعداد

جدول ۴- سطح فرسایش و رسوب‌گذاری (هکتار) به تفکیک طبقه‌های شیب در آبخیز خامسان.

وضعیت	طبقه‌های شیب (درصد)							کاربری زمین
	۰-۲	۲-۵	۵-۸	۸-۱۲	۱۲-۲۰	۲۰-۳۰	۳۰-۶۰	
فرسایش	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	فرسایش
رسوب‌گذاری	۲/۲۵	۱۱/۹۳	۰/۱۰	۰/۰	۶/۶۶	۳/۹۸	۲/۸۳	رسوب‌گذاری
پایدار	۰/۰	۰/۰	۱۵/۴۸	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	پایدار
فرسایش	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	فرسایش
رسوب‌گذاری	۲۱/۴۲	۱۰۲/۵۲	۵۷/۴۷	۱۶/۵۸	۷/۲۲	۱/۶۴	۰/۳۹	رسوب‌گذاری
پایدار	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	پایدار
فرسایش	۰/۰	۴۵۶/۴۳	۳۹۶/۲۲	۲۹۱/۹۱	۲۶۷/۵۳	۰/۰	۳۸/۴۵	فرسایش
رسوب‌گذاری	۷۹/۷۳	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	رسوب‌گذاری
پایدار	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۱۱۴/۷۰	۰/۰	پایدار
فرسایش	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۱۳۰۳/۸۱	فرسایش
رسوب‌گذاری	۹/۷۰	۳۱/۲۸	۳۷/۱۴	۵۸/۸۰	۱۵۷/۳۵	۳۱۹/۱۱	۰/۰	رسوب‌گذاری
پایدار	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	پایدار
فرسایش	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	فرسایش
رسوب‌گذاری	۰/۰	۰/۱۱	۰/۴۹	۱/۶۷	۸/۴۴	۲۲/۳۴	۵۰/۵۱	رسوب‌گذاری
پایدار	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	پایدار

جدول ۵- اجزای تراز رسوب به تفکیک طبقه‌های شیب در کاربری‌های مختلف زمین در آبخیز خامسان.

کاربری زمین	اجزای تراز رسوب	طبقه‌های شیب							
		۰-۲	۲-۵	۵-۸	۸-۱۲	۱۲-۲۰	۲۰-۳۰	۳۰-۶۰	>۶۰
باغ	فرسایش (تن در سال)	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	رسوب (تن در سال)	۶۴/۴۱	۳۴۱/۴۲	۰/۰	۲۲۱/۲۹	۱۶۳/۱۰	۹۷/۴۰	۶۹/۴۳	۰/۰
	رسوب‌دهی (تن در سال)	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	نسبت جابه‌جایی رسوب (درصد)	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
زراعت آبی	فرسایش (تن در سال)	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	رسوب (تن در سال)	۰/۰	۵۷۵/۸۲	۱۹۷۴/۶۱	۸۵۰/۸۱	۱۵۱/۸۸	۳۴/۵۶	۸/۱۱	۰/۰
	رسوب‌دهی (تن در سال)	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	نسبت جابه‌جایی رسوب (درصد)	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
زراعت دیم	فرسایش (تن در سال)	۰/۰	۳۱۶۴/۵۸	۱۹۶۵/۲۳	۷۸۰/۳۲	۱۵۳۰/۹۶	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	رسوب (تن در سال)	۲۳۱/۷۴	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۱۱۱/۷۵	۱/۹۵	۰/۰
	رسوب‌دهی (تن در سال)	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	نسبت جابه‌جایی رسوب (درصد)	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
مرتع	فرسایش (تن در سال)	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۱۴۶/۵۴
	رسوب (تن در سال)	۳/۵۸	۱۱/۵۵	۱۳/۷۱	۲۱/۷۱	۱۷۹۲/۲۴	۷۰/۲۰	۰/۰	۰/۰
	رسوب‌دهی (تن در سال)	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۱۴۶/۵۴
	نسبت جابه‌جایی رسوب (درصد)	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
مرتع همراه با بانکت‌بندی	فرسایش (تن در سال)	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	رسوب (تن در سال)	۰/۰۲۲	۰/۵۴	۲/۳۵	۸/۰۱	۴۰/۴۲	۱۰۹/۵۷	۲۳۷/۸۹	۵/۱۹
	رسوب‌دهی (تن در سال)	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰
	نسبت جابه‌جایی رسوب (درصد)	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰

تا سطح کل حوزه (۴۰۹۸/۶۶ هکتار بی در نظر گرفتن رخ‌نمون‌های سنگی) با شیب متوسط ۲۵/۲۶٪ به ۱۲/۶۳٪ کاهش یافته است (جدول ۲). این یافته نشان‌دهنده‌ی تاثیر دشت میانی حوزه با شیب متوسط ۱۰/۲۷٪ بر نسبت جابه‌جایی رسوب است به طوری که اندازه‌ی نسبت جابه‌جایی رسوب به ۱۵/۸٪ کاهش یافت. بنابراین می‌توان دریافت که تنها مساحت حوزه بر نسبت جابه‌جایی رسوب موثر نیست، بل که عامل شیب نیز بسیار اثرگذار است و در حقیقت افزایش مساحت به دلیل اضافه کردن منطقه‌های با شیب کم‌تر موجب افزایش تله‌اندازی رسوب می‌شود.

نسبت جابه‌جایی رسوب در بخش دشت میانی با مساحت ۱۳۱۷/۸۸ به اندازه‌ی خیلی کم و در حد صفر بود و در مقایسه با نسبت جابه‌جایی رسوب کل حوزه (۱۲/۶۳٪) نشان می‌دهد که هر افزایشی در مساحت الزاماً منجر به کاهش یافتن نسبت جابه‌جایی رسوب نمی‌شود. به عبارت دیگر افزایش مساحت تنها زمانی منجر به کاهش نسبت جابه‌جایی رسوب می‌شود که با اضافه شدن ناحیه‌های کم‌شیب و افزایش یافتن تله‌اندازی رسوب همراه باشد. نتیجه‌ی پژوهش‌گران پیشین و معادله‌هایی که برای برآورد کردن نسبت جابه‌جایی رسوب داده اند نیز بر اثر مستقیم شیب بر نسبت جابه‌جایی رسوب تاکید کرده است

بیش‌ترین سطح فرسایش در این آبخیز در کاربری زراعت دیم بود که تقریباً در تمام طبقه‌های شیب زیاد بود (جدول ۴). در نقطه‌ی مقابل آن در کاربری‌های زراعت آبی و باغ و مرتع همراه با بانکت‌بندی، در همه‌ی طبقه‌های شیب فرآیند رسوب‌گذاری غالب بود. در کاربری مرتع در شیب‌های زیاد فرآیند فرسایش و در شیب‌های کم‌تر فرآیند رسوب‌گذاری غالب بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مهم‌ترین منبع فرسایش در این آبخیز کاربری کشاورزی دیم به دلیل داشتن شیب بیش‌تر از زراعت آبی و به‌ویژه شخم‌زده‌شدن در جهت شیب است.

در آبخیز خامسان فرسایش در کاربری زراعت دیم با شیب‌های ۲۰-۲٪ و کاربری مرتع با شیب‌های بیش‌تر از ۳۰٪ رخ داده و اگرچه در همه‌ی کاربری‌ها رسوب‌گذاری مجدد شده است، بیش‌ترین اندازه‌ی رسوب‌گذاری مجدد در کاربری زراعت آبی به‌ویژه در شیب‌های ۵-۸٪ و کاربری مرتع در شیب‌های ۲۰-۱۲٪ بوده است (جدول ۵).

بحث و نتیجه‌گیری

اندازه‌ی متوسط نسبت جابه‌جایی رسوب در زیرحوزه‌های ۱ تا ۱۵ با مساحت متوسط ۱۸۵/۳۹ هکتار و شیب متوسط ۳۱/۸۳٪ به اندازه‌ی ۲۸/۴۳٪ بود که با افزایش مساحت

داد که با افزایش یافتن شیب در خاک کاربری زراعت دیم سنگ‌ریزه‌های بیش‌تری در خاک دیده می‌شود. نتیجه‌ی پژوهش‌های پیشین اثر کاهنده‌ی سنگ و سنگ‌ریزه را در فرسایش و تولید رسوب نشان داده است (والینتین و کاسناو ۱۹۹۲؛ پوزن و همکاران ۱۹۹۴). بررسی نقشه‌ی نهایی فرسایش/رسوب آبخیز نشان داد که به‌طور متوسط در ۶۵ سال اخیر، فرآیند غالب در تقریباً ۷۲٪ از مساحت آبخیز فرسایش و خروجی خاک از عرصه بوده، درحالی‌که در تقریباً ۲۵٪ از مساحت وضعیت عمومی رسوب‌گذاری، و تنها در کمی بیش از ۳٪ از مساحت حوزه وضعیت پایدار (برابری نسبی فرسایش و رسوب‌گذاری) غالب بوده است. با توجه به نتیجه‌ی این پژوهش پیشنهاد می‌شود که اندازه‌گیری رسوب در خروجی تعداد بیش‌تری از زیرحوزه‌ها به‌ویژه در بخش‌های بالادست حوزه نیز انجام شود، و نتیجه‌ی روش سزیم-۱۳۷ با تعداد داده‌های مشاهده‌ی بیش‌تری ارزیابی شود. امکان گروه‌بندی زیرحوزه‌ها از نظر ویژگی‌های مختلف فیزیکی و پوشش گیاهی نیز می‌تواند بررسی شود. به‌کارگیری روش سزیم-۱۳۷ در آبخیزهای با داده‌های طولانی‌تر برای ارزیابی کردن صحت این روش، به‌ویژه با هدف بررسی کردن تراز رسوب در شیب‌ها و جهت‌های مختلف دامنه، و در آبخیزهای تک‌منبع با کاربری یکنواخت نیز ممکن است برخی از خلاءهای پژوهشی را پر کند.

از آن‌جا که نتیجه‌ی فرسایش در کاربری دیم موثرترین کاربری در تراز رسوب آبخیز دانسته شد، پیشنهاد می‌شود که جاماری از تبدیل کردن مرتع به دیم‌زار، و جاماری از شخم‌زدن در جهت شیب یکی از مهم‌ترین گام‌های مدیریتی در اداره‌کل‌های منابع طبیعی و آبخیزداری باشد. در حوزه‌های با شرایط پستی‌وبلندی مشابه با آبخیز خامسان، قبل از ساختن بندهای رسوب‌گیر، جابه‌جایی رسوب با تأکید بر عمل کرد ناحیه‌های کم‌شیب میانی حوزه‌ها که مخزن رسوب اند بررسی شود، و سپس اگر نیاز بود بندهای رسوب‌گیر در مکان‌هایی با بیشینه‌ی کارایی ساخته شود.

(برای مثال رنفرو ۱۹۷۵؛ والینگ و وب ۱۹۸۳؛ ریچاردز ۱۹۹۳؛ هان و همکاران ۱۹۹۴؛ اویانگ و بارتولیک ۱۹۹۷؛ سويفت و لوید ۲۰۰۰؛ پارک و همکاران ۲۰۱۰).

آبخیز خامسان از شیب‌های ۵-۲، ۸-۵، ۱۲-۸، ۱۲-۲۰٪ از کاربری دیم به اندازه‌ی فرسایش ۷۴۴۰/۹۸ و در شیب‌های ۳۰-۶۰٪ کاربری مرتع به اندازه‌ی ۸۱۷/۴۱ تن در سال فرسایش یافته است. بیش‌ترین فرسایش در شیب ۵-۲٪ به اندازه‌ی ۳۱۶۴/۵۸ تن در سال و شیب ۲۰-۱۲٪ به اندازه‌ی ۱۵۳۰/۹۶ تن در سال بود. بیش‌ترین مساحت کاربری در این طبقه‌های شیب در کاربری دیم با سطح پوشش به ترتیب ۷۳/۹۵ هکتار و ۵۸/۱۸ هکتار بود (جدول ۱). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در آبخیز خامسان کاربری زراعت دیم عامل اصلی اول و کاربری مرتع عامل اصلی دوم فرسایش خاک حوزه است. به عبارت دیگر اهمیت کاربری زمین به دلیل نقش مؤثر انسان در آن نسبت به دیگر عامل‌ها بیش‌تر است، به طوری که نوع بهره‌برداری از زمین عامل بسیار مهمی در فرسایش و تولید رسوب حوزه‌های آبخیز دانسته می‌شود. نتیجه‌ی این پژوهش با نتیجه‌ی پژوهش‌های پیشین پرتعدادی که کاربری زمین و پوشش گیاهی، و گاه کارهای خاک‌ورزی را عامل‌های مؤثر در شدت روان‌آب و فرسایش خاک می‌دانند مطابقت دارد (تیوانی ۱۹۸۰؛ مورگان ۱۹۸۰؛ سوانورا کامتون ۱۹۹۴؛ کاسماس و همکاران ۱۹۹۷؛ دل مال لویز و همکاران ۱۹۹۸؛ مارتینز-کاسانواس و سانچز بوش ۲۰۰۰؛ کلیک ۲۰۰۵؛ سیلاسی و همکاران ۲۰۰۶؛ ژانگ و همکاران ۲۰۰۷؛ سیکائور و هافیکا ۲۰۰۸؛ ژو و همکاران ۲۰۰۸؛ گارسیا-روئیز ۲۰۱۰؛ محمد و آدام ۲۰۱۰).

یکی از مهم‌ترین نتیجه‌های این پژوهش تغییر فرسایش کاربری دیم در طبقه‌های مختلف شیب است و با افزایش شیب از شدت فرسایش خاک در کاربری دیم کاسته شده است (جدول ۵). یک دلیل احتمالی می‌تواند با ویژگی‌های خاک در شیب‌های بیش‌تر مرتبط باشد. برای بررسی کردن صحت این تحلیل، درصد اندازه‌ی ذره‌های بزرگ‌تر از دو میلی‌متر در نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شد. نتیجه نشان

- Abbaszadeh Afshar F, Ayoubi S, Jalalian A. 2010. Soil redistribution rate and its relationship with soil organic carbon and total nitrogen using ^{137}Cs technique in a cultivated complex hillslope in Western Iran. *Journal of Environmental Radioactivity*. 101(8): 606–614.
- Arata L, Meusburger K, Bürge A, Zehringer M, Ketterer M.E, Mabit L, Alewell C. 2017. Decision support for the selection of reference sites using ^{137}Cs as a soil erosion tracer. *Soil*. 3(3): 113–122.
- Asadi T, Shahoei S, Asadi M, Shahsavar A. 2011. Considering the ability of ^{137}Cs method application to calculate soil sediment and deposition in Taseran watershed of Kabodar Ahang. *Watershed Engineering and Manageme*. 3(2): 94–101. (In Persian)
- Bernard C, Laverdière MR. 1992. Spatial redistribution of ^{137}Cs and soil erosion on Orléans Island, Québec. *Canadian Journal of Soil Science*. 72(4): 543–554.
- Blake WH, Wallbrink PJ, Wilkinson SN, Humphreys GS, Doerr SH, Shakesby RA, Tomkins KM. 2009. Deriving hillslope sediment budgets in wildfire affected forests using fallout radionuclide tracers. *Geomorphology*. 105(3-4): 104–116.
- Borselli L, Cassi P, Torri D. 2008. Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape. A GIS and field numerical assessment. *Catena*. 75(3): 268–277.
- Boyce RC. 1975. Sediment Routing with Sediment Delivery Ratios. In: *Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources*, US Department of Agriculture Publications, ARS-S-40. 61–65.
- Burt TP, Allison RJ. 2010. Sediment cascades in the environment an integrated approach. *sediment cascades*. Allison. University of Sussex. UK.
- Cebecauer T, Hofierka J. 2008. The consequences of land-cover changes on soil erosion distribution in Slovakia. *Geomorphology*. 98(3–4): 187–198
- Celik I. 2005. Land use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. *Soil and Tillage Research*. 83(2): 270–277.
- Chi W, Zhao Y, Kuang W, He H. 2019. Impacts of anthropogenic land use/cover changes on soil wind erosion in China. *Science of the Total Environment*. 668: 204–215.
- Claudia SG, Ion I, Lilian N, Georgel G, Maria BAA. 2019. Land degradation and management within upper Racova Catchment. *Present Environment and Sustainable Development*. 13(1): 99–113.
- de Vente J, Poesen J, Arabkhedri M, Verstraeten G. 2007. The sediment delivery problem revisited. *Progress in Physical Geography*. 31(2): 155–178.
- Del Mar López T, Mitchel Aide T, Scatena F. 1998. The effect of land use on soil erosion in the Guadiana watershed in Puerto Rico. *Caribbean Journal of Science*. 34(3–4): 298–307.
- Diodato N, Grauso S. 2009. An improved correlation model for sediment delivery ratio assessment. *Environmental Earth Sciences*. 59(1): 223–231.
- Edwards K. 1993. Soil erosion and conservation in Australia. In Pimentel, D. (Ed.). *World Soil Erosion and Conservation*, Cambridge. pp. 147–169
- Estrany J, Garcia N, Martinez-Carreras N, Walling D E. 2012. A suspended sediment

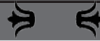
- budget for the agricultural Can Revull catchment (Mallorca, Spain). *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementary Issues*. 56(3): 169–193.
- Ferro V, Porto P. 2000. Sediment delivery distributed (SEDD) model. *Journal of Hydrologic Engineering*. 5(4): 411–422.
- Ferro V, Minacapilli M. 1995. Sediment delivery processes at Basin Scale. *Hydrological Sciences Journal*. 40(6): 703–716.
- Fraser RH, Barten PK, Tomlin CD. 1996. SEDMOD: A GIS-based method for estimating distributed sediment delivery ratios. In: *American Water Resources Symposium on GIS and Water Resources (AWRA TPS-96-3)*. 137–146.
- García-Ruiz J. 2010. The effects of land uses on soil erosion in Spain: A review. *Catena*. 81(1): 1–11.
- Gellis AC, Walling DE. 2011. Sediment source fingerprinting (tracing) and sediment budgets as tools in targeting river and watershed restoration programs. In *stream restoration in dynamic fluvial systems: Scientific approaches, analyses, and tools*, Simon A, Bennett SJ, Castro JM (Eds). *Geophysical monograph series 194 USA*, American Geophysical Union: Washington. pp. 263–291.
- Glymph LM. 1954. Studies of sediment yields from watersheds. *International Association of Scientific Hydrology Publication*. 36: 173–191.
- Gorji M, Khodadadi M, Ghanadi Maragheh M, Bahrami Samani A, Seyed Hosseini HM, Zahedi Amiri G. 2014. Using 137Cs measurements to estimate soil redistribution rates in a cultivated land in Iran, *World Journal of Agricultural Sciences*. 10(1): 01–08.
- Haan CT, Barfield BJ, Hayes JC. 1994. *Design hydrology and sedimentology for small catchments*. Academic Press. USA. 588 p.
- Jing K, Shi CX. 2007. Study on the relationship between sediment yield and drainage area. *Journal of Sediment Research*. 01: 17–23.
- Khodadadi M, Mabit L, Zaman M, Porto P, Gorji M. 2019. Using 137Cs and 210Pbex measurements to explore the effectiveness of soil conservation measures in semi-arid lands: a case study in the Kouhin region of Iran. *Journal of Soils and Sediments*. 19(4): 2103–2113.
- Kosmas C, Danalatos N, Cammeraat L, Chabart M, Diamantopoulos J, Farand R, Gutierrez L, Jacob A, Marques H, Martinez-Fernandez J, Mizara A, Moustakas N, Nicolau JM, Oliveros C, Pinna G, Puddu R, Puigdefabregas J, Roxo M, Simao A, Stamou G, Tomasi N, Usai D, Vacca A. 1997. The effect of land use on runoff and soil erosion rates under Mediterranean conditions. *Catena*. 29(1): 45–59.
- Kothyari UC, Jain SK. 1997. Sediment yield estimation using GIS. *Hydrological Sciences Journal*. 42(6): 833–843.
- Li M, Yao W, Li Z, Liu P, Yang E, Shen Z. 2012. Using 137Cs to quantify the sediment delivery ratio in a small watershed. *Applied Radiation and Isotopes*. 70(1): 40–45.
- Li Y, Li J, Are KS, Huang Z, Yu H, Zhang Q. 2019. Livestock grazing significantly accelerates soil erosion more than climate change in Qinghai-Tibet Plateau: Evidenced from 137Cs and 210Pbex measurements. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 285: 106–643.
- Lim KJ, Sagong M, Engel BA, Tang Z, Choi

- J, Kim KS. 2005. GIS-based sediment assessment tool. *Catena*. 64(1): 61–80.
- Loughran RJ, Campbell BL, Walling DE. 1987. Soil erosion and sedimentation indicated by caesium-137: Jackmoor Brook catchment, Devon. England. *Catena*. 14(1-3): 201–212.
- Mabit L, Benmansour M, Walling DE. 2008. Comparative advantages and limitations of the fallout radionuclides ¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb and ⁷Be for Assessing Soil Erosion and Sedimentation. *Journal of Environmental Radioactivity*. 99(12): 1799–1807.
- Mabit L, Bernard C, Laverdière MR. 2007. Assessment of erosion in the Boyer River watershed (Canada) using a GIS oriented sampling strategy and ¹³⁷Cs measurements. *Catena*. 71(2): 242–249.
- Maner SB. 1958. Factors affecting sediment delivery rates in the Red Hills physiographic area. *Trans. Am. Geophys. Union*. 39(4): 669–675.
- Martínez-Casasnovas JA, Sánchez-Bosch I. 2000. Impact assessment of changes in land use/conservation practices on soil erosion in Penedès-Anoia vineyard region (NE Spain). *Soil & Tillage Research*. 57(1–2): 101–106.
- Matinfar H, Kalhor M, Shabani A, Arkhi S. 2013. Estimating soil erosion and sedimentation using cesium-137 method: A case study (Raymaleh Watershed, Lorestan, Sci. J. Manage. Syst. 35(2): 37–54. (In Persian).
- Mohammad A, Adam M. 2010. The impact of vegetation cover type on runoff and soil erosion under different land uses. *Catena*. 81(2): 97–103.
- Morgan R. 1980. Soil erosion and conservation in Britain. *Progress in Physical Geography*. 4(1): 24–47.
- Navas A, López-Vicente M, Gaspar L, Palazón L, Quijano L. 2014. Establishing a tracer based sediment budget to preserve wetlands in Mediterranean Mountain Agroecosystems (NE Spain). *Science of the Total Environment*. 496: 132–143.
- Nearing MA, Romkens MJM, Norton LD, Stott DE, Rhoton FE, Laflen JM, Flanagan C, Alonso CV, Binger RL, Dabney SM, Doering OC, Huang CH, McGregor KC, Simon A, Trimble SW, Crosson P. 2000. Measurements and Models of Soil Loss Rates. *Science*. 290(5495): 1300–1301.
- Nosrati K, Haddadchi A, Zare MR, Shirzadi L. 2015. An evaluation of the role of hillslope components and land use in soil erosion using ¹³⁷Cs inventory and soil organic carbon stock. *Geoderma*. 243: 29–40.
- Nosrati K, Jalali S, Zare M, Shirzadi L. 2017. Estimate of erosion and sediment by using Cs-137. *Journal of Environment and Water Engineering*. 3(2): 109–118. (In Persian).
- Ouyang D, Bartholic J. 1997. Predicting sediment delivery ratio in Saginaw Bay watershed. 22nd National Association of Environmental Professionals Conference Proceedings. 19–23 May 1997. Orlando. pp. 659–671.
- Owens PhN, Walling DE, He Q, Shanahan J, Foster IDL. 1997. The Use of Caesium-137 Measurements to Establish a Sediment Budget for the Start Catchment, Devon, UK. *Hydrological Sciences Journal*. 42(3): 405–423.
- Park Y S, Kim J, Kim N, Kim S, Jeon J, Engel BA, Jang W, Lim KJ. 2010. Development of New R, C. and SDR Modules for the SATEEC GIS System. *Computers & Geosciences*. 36(6): 726–734.
- Parsons AJ, Stromberg SGL. 1998. Experimental analysis of size and distance

- of travel of unconstrained particles in interrill flow. *Water Resources Research*. 34(9): 2377–2381.
- Poesen JW, Torri D, Bunte K. 1994. Effects of rock fragments on soil erosion by water at different spatial scales: a review. *Catena*. 23(1–2): 141–166.
- Poręba G, Śnieszko Z, Moska P, Mroczek P, Malik I. 2019. Interpretation of soil erosion in a polish loess area using OSL, ¹³⁷Cs, ²¹⁰Pbex, dendrochronology and micromorphology–case study: Biedrzykowice site (s Poland). *Geochronometria*. 46(1): 57–78.
- Porto P, Walling DE, Callegari G, Capra A. 2009. Using caesium-137 and unsupported lead-210 measurements to explore the relationship between sediment mobilisation, sediment delivery and sediment yield for a Calabrian catchment. *Marine and Freshwater Research*. 60(7): 680–689.
- Porto P, Walling DE, Callegari G, Capra A. 2009. Using caesium-137 and unsupported lead-210 measurements to explore the relationship between sediment mobilisation, sediment delivery and sediment yield for a Calabrian catchment. *Marine and Freshwater research*. 60(7): 680–689.
- Porto P, Walling DE, Callegari G. 2013. Using Cs-137 and Pbex-210 measurements to investigate the sediment budget of a small forested catchment in southern Italy. *Hydrological Processes*. 27(6): 795–806.
- Porto P, Walling DE, Spada CL, Callegari G. 2016. Validating the Use of ¹³⁷Cs Measurements to Derive the Slope Component of the Sediment Budget of a Small Rangeland Catchment in Southern Italy. *Land Degradation & Development*. 27(3): 798–810.
- Rahimi MR, Ayoubi S, Abdi MR. 2012. Magnetic susceptibility and ¹³⁷Cs inventory variability as influenced by land use change and slope positions in a hilly, semiarid region of west-central Iran. *Journal of Applied Geophysics*. 89: 68–75.
- Renfro GW. 1975. Use of erosion equations and sediment-delivery ratios for predicting sediment. *Sediment Yield. Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources*. pp. 33–45.
- Richards K. 1993. Sediment delivery and the drainage network. K. Beven, M.J. Kirkby (Eds.) *Channel Network Hydrology*. Wiley. Chichester. pp. 221–254.
- Roehl JE. 1962. Sediment source areas and delivery ratios influencing morphological factors. *International Association of Hydrological Sciences Publications*. 59: 202–213.
- Seyedalipour H, Feiznia S, Ahmadi H, Zare MR, Hosseinalizadeh M. 2014. Comparison of Soil Erosion by ¹³⁷Cs and RUSLE-3D for Loess Deposits North-East of Iran (Study area: Aghemam Catchment). *Journal of Water and Soil Conservation*. 21(5): 27–47. (In Persian).
- Smith S, Belmont P, Wilcock PR. 2011. Closing the gap between watershed modeling, sediment budgeting, and stream restoration. *Geophysical Monograph Series*. 194. pp. 293.
- Stout JC, Belmont P, Schottler SP, Willenbring JK. 2014. Identifying sediment sources and sinks in the Root River, Southeastern Minnesota. *Annals of the Association of American Geographers*. 104(1): 20–39.
- Swanwerakamton R. 1994. GIS and hydrologic modeling for management of small watersheds. *ITC Journal*. 4(1): 343–348.
- Swift L, loyd W. 2000. Equation to Dissipate

- Sediment from a Gridcell Downslope. U.S. Forest Service.
- Szilassi P, Jordan G, van Rompaey A, Csillag G. 2006. Impact of historical land use changes on erosion and agricultural soil properties in Kali Basin at Lake Balaton, Hungary. *Catena*. 68(2-3): 96-108.
- Tejwani K. 1980. Soil and Conservation In: Handbook of Agriculture. Indian council of Agriculture Research. New Delhi. pp. 120-157
- Trimble SW, Crosson P. 2000. U.S. Soil Erosion Rates: Myth and Reality. *Science*. 289(5477): 248-250.
- Trimble SW. 1999. Decreased rates of alluvial sediment storage in the Coon Creek Basin. Wisconsin. 1975-93. *Science*. 285(5431): 1244-1246.
- USDA-SCS. 1983. Sediment Sources yields and delivery Ratios. National Engineering Hand book. Section 3 Sedimentation.
- Valentin C, Casenave A. 1992. Infiltration into sealed soil as influenced by gravel cover. *Soil Science Society of America Journal*. 56(6): 1667-1673.
- Vanoni VA. 1975. Sedimentation engineering. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practices.
- Walling DE, Collins AL. 2008. The catchment sediment budget as a management tool. *Environmental Science & Policy*. 11(2): 136-143.
- Walling DE, He Q, Whelan PA. 2003. Using Cs-137 measurements to validate the application of the AGNPS and ANSWERS erosion and sediment yield models in two small Devon catchments, *Soil & Tillage Research*. 69(1-2): 27-43.
- Walling DE, He Q, Zhang Y. 2014. Conversion models and related software. In: Guidelines for Using Fallout Radionuclides to Assess Erosion and Effectiveness of Soil Conservation Strategies. IAEA-TECDOC-1741. IAEA Publication. Vienna. Austria. pp. 125-148.
- Walling DE, Porto P, Zhang Y, Du P. 2014. Upscaling the use of fallout radionuclides in soil erosion and sediment budget investigations: addressing the challenge. *International Soil and Water Conservation Research*. 2(3): 1-21.
- Walling DE, Webb BW. 1983. Patterns of sediment yield. In: Gregory, K.J. (Ed.). Background to Palaeohydrology. John Wiley & Sons Ltd. pp. 69-100
- Walling DE, Zhang Y, He Q. 2011. Models for deriving estimates of erosion and deposition rates from fallout radionuclide (Caesium-137, Excess Lead-210, and Beryllium-7) measurements and the development of user-friendly software for model implementation. In: Impact of Soil Conservation Measures on Erosion Control and Soil Quality, IAEA-TECDOC-1665. pp. 11-33
- Walling DE. 1994. Measuring sediment yield from river basins. In: R. Lal (Ed). Soil Erosion Research Methods. Routledge. pp. 39-82.
- Walling DE. 2006. Tracing versus monitoring: new challenges and opportunities in erosion and sediment delivery research. In *Soil Erosion and Sediment Redistribution in River Catchments*, Owens PN, Collins AJ (eds). CABI: Wallingford. pp. 13-27.
- Wang W, Wang LL, Fan DM. 2016. Scale effects on sediment transport in small cascading dammed Loess Hilly-Gully watershed. *Journal of Arid Land Resources and Environment*. 30(8): 108-112.
- Wasson R, Olive C. 1996. Rosewell. Rates of erosion and sediment transport

- in Australia. D.E. Walling, R. Webb (Eds.). Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives. pp. 139–148.
- Williams JR, Berndt HD. 1972. Sediment yield computed with universal equation. *Journal of the Hydraulics Division*. 98: 2087–2098.
- Zapata F. (Ed.). 2002. Handbook for the assessment of soil erosion and sedimentation using environmental radionuclides. 219: 9348054-9348059. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. pp. 9348054–9.
- Zhang HY, Shi ZH, Fang NF, Guo MH. 2015. Linking watershed geomorphic characteristics to sediment yield: Evidence from the Loess Plateau of China. *Geomorphology*. 234: 19–27.
- Zhang X, Yu X, Wu S, Zhang M, Li J. 2007. Response of land use/coverage change to hydrological dynamics at watershed scale in the Loess Plateau of China. *Acta Ecologica Sinica*. 27(2): 414–421.
- Zhang XJ, Zhang GH, Liu BL, Liu B. 2016. Using Cesium-137 to quantify sediment source contribution and uncertainty in a small watershed. *Catena*. 140: 116–124.
- Zhou P, Luukkanen O, Tokola T, Nieminen J. 2008. Effect of vegetation cover on soil erosion in a mountainous watershed. *Catena*. 75(3): 319–325.



Watershed Management Research

VOL. 33, No. 3, Ser. No: 128, Autumn 2020, pp. 2 -19

DOI: 10.22092/wmej.2019.127505.1252

Assessment of the Slop Gradient on the Estimated Erosion and Sediment Delivery Ratio by Using ^{137}Cs in the Khamsan Representative Watershed

Fatemeh Sedighi

PhD Student, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

Abdulvahed Khaledi Darvishan

(Corresponding Author)* Associate Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

Mohammad Reza Zare

Assistant Professor, Department of Physics, Faculty of Sciences, University of Isfahan, Isfahan, Iran

*Corresponding Author Email: a.khaledi@modares.ac.ir

Received: 09 September 2019 Accepted: 17 December 2019

Abstract

The sediment budget has been introduced as a valuable concept and tool for describing the production, transport and deposition of sediment in a watershed. In order to study the effect of slope on sediment budget, the distribution map of erosion and sedimentation of the Khamsan Representative Watershed, located in the south of the province of Kurdistan, was prepared using ^{137}Cs and overlapping with the slope map. The results showed that 15 sub-watersheds with an average area of 185.39 ha and an average slope of 31.83% had a mean sediment delivery ratio of 28.43%. Increasing the area to the whole watershed (4098.66 ha without rocky outcrops) with an average slope of 25.26%, the ratio decreased to 12.63%. This finding emphasizes on the impact of internal plain with the average slope of 10.27% on sediment trapping and decrease of sediment delivery ratio by 15.8%. The results of comparing the sediment budgets in slope classes showed that an orchard, irrigated agriculture and rangeland treated with soil conservation activities, the sedimentation is a dominant condition in all the slope degrees, while almost all the erosion caused by rainfed agriculture with the slope gradient degrees of 2-20%, and the rangeland with the gradients slope of more than 30%. Therefore, it is recommended to investigate the sediment delivery ratio with an emphasis on the performance of the low-slope areas as a sediment trap before applying the check dams, if necessary, and only in the most efficient places. Also prevent the conversion of rangeland to dryland and farming, also prevent plowing in the slope direction.

■ **Keywords:** Cesium-137, rain fed agriculture, sediment budget, sediment delivery ratio, soil loss ■