اکوهیدرولوژی

دورهٔ ۵، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۷، ص ۶۸۵-۶۷۵

اندازه‌گیری فرسایش خاک در بازه‌های مختلف زمانی در حوضهٔ آبخیز معرف خامسان با استفاده از میخ‌های فرسایش

محمد دریکوندی[۱]، عبدالواحد خالدی درویشان[۲*]، کامران چپی[۳]

۱. دانش‌آموختهٔ کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

۲. استادیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

۳. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه کردستان، سنندج

(تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۰۱/۱۰؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۶/۱۰/۱۴)

چکیده

پژوهش حاضر به منظور اندازه‌گیری مقدار فرسایش در مقیاس‌های زمانی ماهانه، سه‌ماهه، شش‌ماهه و یک‌ساله انجام شد. سه شبکهٔ میخ فرسایش در سه جهت شیب شمالی، شمال غربی و شرقی در زیرحوضهٔ آبخیز شاهد در حوضهٔ آبخیز معرف خامسان به‌منظور اندازه‌گیری فرسایش طی دورهٔ زمانی مهر ۱۳۹۴ تا شهریور ۱۳۹۵ انتخاب شدند. به دلیل قرائت ماهانه میخ‌های فرسایش، از امکان تحلیل فرسایش در بازه‌های زمانی کمتر از یک سال (ماهانه، سه‌ماهه و شش‌ماهه) برای تعیین میزان مشارکت این بازه‌های زمانی در فرسایش سالانهٔ خاک استفاده شد. بنابراین، با درنظرگرفتن قرائت میخ‌ها متوسط تغییرات ارتفاع خاک و در نهایت مقدار متوسط فرسایش خاک سالانه برابر با ۱۷/۲۲ تن در هکتار محاسبه شد. همچنین، مشارکت مقیاس‌های زمانی ماهانه، سه‌ماهه، شش‌ماهه در فرسایش سالانه نیز به‌ترتیب ۵/۸۱، ۷/۳۳ و ۹/۵۲ تن در هکتار برابر با ۳۴، ۴۳ و ۵۵ درصد فرسایش سالانه محاسبه شد. به‌رغم وجود اختلاف درخور توجه در مقدار متوسط فرسایش در بازه‌های زمانی مختلف و مشارکت آنها در فرسایش سالانه، نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه نشان داد اثر مقیاس زمانی بر فرسایش خاک معنادار نیست. دلیل اصلی نبود تفاوت معناداری فرسایش خاک در مقیاس‌های زمانی مختلف، واریانس زیاد داده‌های حاصل از میخ‌های فرسایش ناشی از منابع متعدد خطا در روش یادشده بود.

کلیدواژگان: پاشمان خاک، جهت شیب، فرسایش بین‌شیاری، مقیاس زمانی، میخ فرسایش.

* نویسندهٔ مسئول

Email: a.khaledi@modares.ac.ir

مقدمه

حفاظت و بهره‌برداری و مدیریت پایدار منابع آبخیز برای تأمین نیازهای رو به رشد جمعیت در دهه‌های اخیر اولویت ویژه‌ای یافته و در این میان، مطالعهٔ فرسایش خاک و ارزیابی عوامل مؤثر بر آن از پیش‌نیازهای اصلی مدیریت صحیح منابع آب و خاک است. ذرات خاک از سطح آن به وسیلهٔ برخورد قطرات باران و نیروی برشی رواناب کنده می‌شود و به میزان کم به وسیلهٔ پاشمان حاصل از قطرات باران و بیشتر توسط رواناب به سمت پایین‌دست حمل می‌شود [۱]. از آنجا که فرسایش خاک در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی رخ می‌دهد، ارزیابی آن به عنوان یک مسئلهٔ دشوار در علوم محیط زیست شناخته شده است [۲]. فرسایش خاک و بهره‌وری از زمین تحت تأثیر مقیاس‌های مکانی و زمانی متفاوتی است و پژوهش‌ها باید در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف انجام شود. مطالعات فرسایش خاک در مقیاس‌های مختلف مکانی و زمانی انجام می شود که در زمینهٔ مقیاس‌های مکانی می‌توان به اندازه‌گیری فرسایش در مقیاس‌های کرت، دامنه و حوضهٔ آبخیز با مساحت‌های مختلف و در زمینهٔ مقیاس‌های زمانی نیز می‌توان به مقیاس‌های رگبار، روزانه ماهانه، فصلی و سالانه اشاره کرد. بررسی میزان فرسایش و حجم رسوبات تولیدشده طی یک رگبار برای مدیریت و ساخت مخازن رسوب لازم است، در حالی که متوسط میزان فرسایش سالانه در تعیین شیوهٔ حفاظت و مدیریت زمین‌های کشاورزی اهمیت دارد [۳]. برای اندازه‌گیری میزان فرسایش روی اراضی شیب‌دار ساده‌ترین و ارزان‌ترین روش استفاده از میخ‌های فرسایشی است که می‌تواند پس از یک دورهٔ بارندگی یا طی یک دورهٔ مشخص اقلیمی یا زمانی اندازه‌گیری شود. این‌گونه میخ‌ها معمولاً از میلگرد به قطر ۱۰ میلی‌متر تهیه شده‌اند و ارتفاعی به طول ۴۰ تا ۵۰ سانتی‌متر دارند که بر حسب محل مد نظر، هدف و شدت فرسایش ارتفاع آنها انتخاب می‌شود [۴].

Bradbury و همکارانش در تحقیقی برای اندازه‌گیری فرسایش رودخانه‌ای در رودخانهٔ گوردون در تاسمانی (استرالیا) از میخ‌های فرسایشی استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد مقادیر منفی در میخ‌های فرسایش وجود دارد و به نوعی نشان‌دهندهٔ رسوب‌گذاری است. دلیل این امر نیز سست‌شدن خاک سطحی و رسوب‌گذاری در طول جریان بالا و دخالت‌های انسانی گزارش شده است [۵]. همچنین، Couper و همکارانش در پژوهشی در سه حوضهٔ انگلستان به اندازه‌گیری فرسایش رودخانه‌ای با استفاده از میخ‌های فرسایشی پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد رسوب‌گذاری ای که در کنار میخ‌های فرسایش رخ داده به دلیل انباشت رسوب در طول جریان، سقوط خاک از قسمت بالایی میخ و نیز پدیدهٔ ذوب و انجماد بوده است [۶]. Shi و همکارانش نیز در مطالعه‌ای در حوضهٔ Gorge واقع در چین برای اندازه‌گیری میزان فرسایش و رواناب از روش Be^7 استفاده کرده و نتایج آن را با میزان فرسایش و رواناب اندازه‌گیری‌شده با استفاده از میخ‌های فرسایشی مقایسه کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد برآورد تلفات خاک و رواناب با استفاده از روش Be^7 با نتایج ارائه‌شده توسط روش میخ‌های فرسایشی هم‌خوانی دارد [۷]. Ghimire و همکارانش در مطالعه‌ای در حوضهٔ Khajuri واقع در شرق Siwalik با استفاده از روش میخ‌های فرسایشی به اندازه‌گیری فرسایش سطحی، آبکندی، زمین‌لغزش و فرسایش کناری رودخانه پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد میزان فرسایش سطحی در زمین لخت به میزان هفت میلی‌متر در سال نسبت به زمین حاوی پوشش جنگلی و درختچه‌ای به میزان درخور توجهی بیشتر است [۴]. Pope و Odhiambo در پژوهشی برای اندازه‌گیری فرسایش رودخانه‌ای در یکی از مخازن در مرکز Virginia با استفاده از میخ‌های فرسایشی پرداختند. نتایج پژوهش آنها نشان داد میزان فرسایش در محل جریان بین ۴/۷ تا ۱۱/۳ سانتی‌متر در سال بوده است [۸]. همچنین، Palmer و همکارانش در تحقیقی فرسایش رودخانه‌ای در حوضهٔ Walnut Creek در Iowa در بازهٔ زمانی هفت سال و ۱۰ کیلومتر از طول رودخانه را با استفاده از میخ‌های فرسایشی اندازه‌گیری کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد به طور میانگین ۱۸/۸ سانتی‌متر در سال فرسایش در منطقه رخ داده است [۹]. Navarro-Hevia و همکارانش در پژوهشی اثر ساخت‌وساز و خطوط راه‌آهن را بر فرسایش و رسوب در Palenica (اسپانیا) با استفاده از میخ‌های فرسایش مطالعه کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد با استفاده از میخ‌های فرسایش می‌توان مقدار فرسایش را در دامنه‌های با شیب یکنواخت (قبل از احداث جاده و ریل) و دامنه‌های با حالت تقعر و تحدب (بعد از احداث جاده و ریل) اندازه‌گیری کرد. همچنین، مشخص شد که بعد از احداث جاده و ریل، به‌دلیل افزایش حالت تقعر و تحدب شیب، میزان فرسایش حدود ۴۰ درصد کاهش یافته است [۱۰].

با توجه به جمع‌بندی سابقهٔ پژوهش و نیز با درنظرگرفتن نبود آمار و اطلاعات کافی در زمینهٔ اندازه‌گیری فرسایش خاک در بسیاری از حوضه‌های آبخیز ایران، می‌توان گفت که بررسی نتایج میخ‌های فرسایش به عنوان یک روش ساده به‌ویژه در حوضه‌های آبخیز معرف کشور به دست‌یابی به اطلاعات ارزشمندی از وضعیت فرسایش خاک در دامنه‌ها منجر خواهد شد. از آنجا که بیشتر پژوهش‌های قبلی در زمینهٔ اندازه‌گیری یا تخمین فرسایش خاک در مقیاس رگبار و سالانه بوده‌اند، بنابراین امکان‌سنجی کاربرد نتایج میخ‌های فرسایش در بازه‌های زمانی مختلف (ماهانه، سه‌ماهه و شش‌ماهه) و بررسی میزان مشارکت آنها در متوسط فرسایش سالانه خاک در پژوهش حاضر مد نظر قرار گرفت.

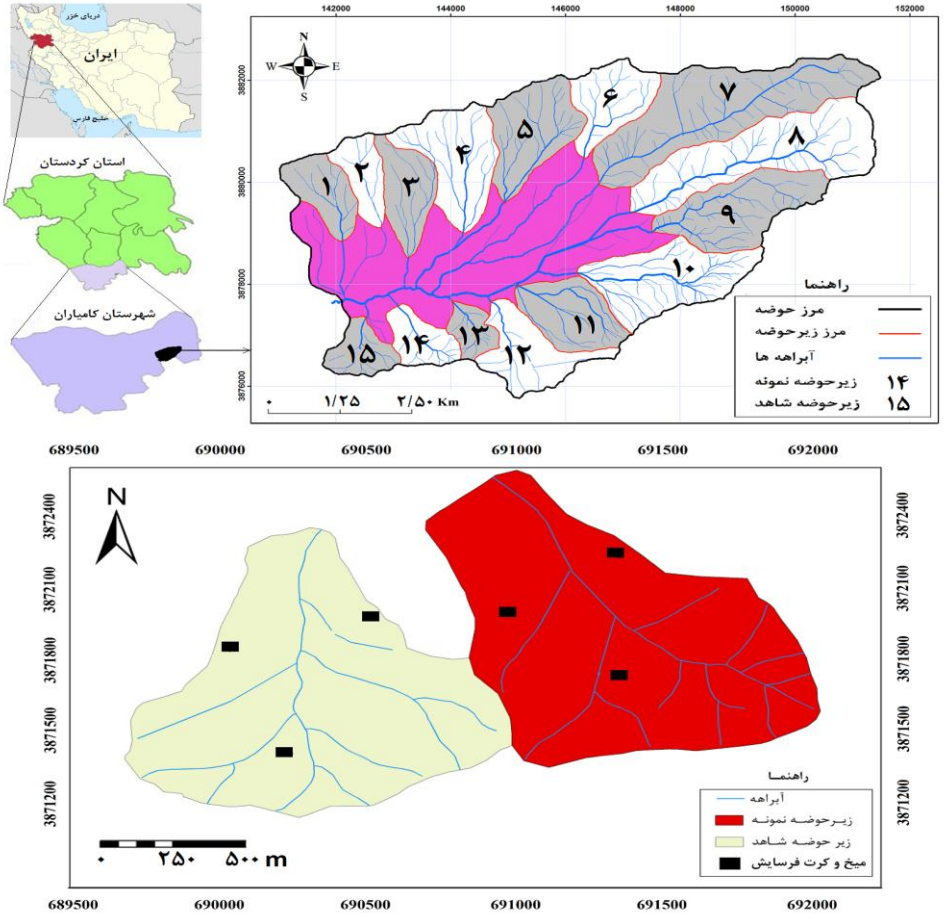
مواد و روش انجام پژوهش

منطقهٔ مطالعه‌شده

حوضهٔ آبخیز معرف خامسان با مساحت ۴۳۳۷/۲۷ هکتار در ۲۵ کیلومتری شمال شهرستان کامیاران در استان کردستان قرار دارد (شکل ۱). پژوهش حاضر در زیرحوضهٔ شاهد در جنوب غربی حوضهٔ آبخیز خامسان انجام شد. زیرحوضهٔ شاهد با مساحت ۱۱۰/۱۵ هکتار، شیب متوسط حوضه ۴۰/۹ درصد جنوب غربی حوضهٔ آبخیز معرف خامسان قرار گرفته است.

میدان‌های میخ فرسایش

زیرحوضهٔ شاهد در حوضهٔ معرف خامسان سه میدان اندازه‌گیری فرسایش با استفاده از میخ‌های فرسایشی دارند که روی دامنه‌های شمالی، شرقی و شمال غربی قرار گرفته‌اند. در هر میدان تعداد ۱۰۰ میخ با آرایش منظم و با فواصل یک متر از همدیگر در چهار جهت قرار گرفته‌اند که سطح ۱۰۰ مترمربع را پوشش می‌دهند. شکل ۲ نمونه‌ای از میخ‌های فرسایشی را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت حوضهٔ آبخیز معرف زوجی خامسان و میخ‌های فرسایش در زیرحوضه‌های نمونه و شاهد

شکل ۲. میخ‌های کاشته‌شده در زیرحوضهٔ شاهد در حوضهٔ آبخیز معرف خامسان

اندازه‌گیری میزان فرسایش

به منظور اندازه‌گیری فرسایش در دورهٔ زمانی مهر ۱۳۹۴ تا شهریور ۱۳۹۵ روش میخ‌های فرسایشی [۱۱ـ ۱۴] استفاده شد. به منظور اندازه‌گیری فرسایش در بیشتر حوضه‌های آبخیز معرف زوجی کشور و از جمله حوضهٔ آبخیز خامسان در دو زیرحوضهٔ نمونه و شاهد از میخ‌های فرسایشی با قطر حدود ۱۰ میلی‌متر و به طول حدود ۵۰ سانتی‌متر [۴] استفاده می‌شود. به این منظور، تعداد ۱۰۰ میخ به صورت شبکه‌ای با فواصل یک‌متری و توسط ادارهٔ کل منابع طبیعی استان کردستان درون زمین کوبیده شده‌اند. قرائت تغییرات عمق خاک با استفاده از کولیس قبل و بعد از هر ماه ثبت شد. در عمل برای هر یک از ۱۰۰ میخ کوبیده‌شده در هر میدان در کنار کرت‌های فرسایش، مقدار رسوب‌گذاری یا فرسایش با درج علامت منفی یا مثبت مشخص شد. سپس، اعداد مثبت و منفی در یک بازهٔ زمانی معین (برای مثال، قبل و بعد از هر ماه) برای هر میخ جداگانه جمع جبری شده و برای سطح تحت پوشش هر میخ (یک مترمربع) اگر حاصل جمع مثبت باشد، به عنوان فرسایش و اگر منفی باشد، به عنوان رسوب‌گذاری در نظر گرفته شد.

در نهایت، با استفاده از مجموعه داده‌های مکانی به‌دست‌آمده در میدان‌های میخ فرسایش، نقشهٔ توزیعی فرسایش و رسوب‌گذاری برای هر یک از مقیاس‌های زمانی و با استفاده از درون‌یابی و روش کریجینگ (به دلیل تعداد و تراکم مناسب نقاط اندازه‌گیری در هر میدان میخ فرسایش) تهیه شد.

انجام آزمون‌ها و تحلیل‌های آماری

با توجه به خطای زیاد در داده‌های میخ‌های فرسایش اندازه‌گیری‌شده، برای کاهش خطاها و حذف داده‌های پرت از منهای و به اضافهٔ سه برابر انحراف معیار استفاده شد [۱۵]. ابتدا پیش‌فرض نرمال‌بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk بررسی شد. همچنین با توجه به ماهیت داده‌ها و موضوع پژوهش (اثر عامل زمان در پایه‌های ماهانه، سه‌ماهه، شش‌ماهه و سالانه بر مقدار فرسایش حاصل از میخ‌های فرسایش) از آزمون آماری تحلیل واریانس یک‌طرفه و برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون آماری دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد [۱۶] استفاده شد. به بیان دیگر، به منظور بررسی اختلاف میانگین‌های داده‌های متغیر فرسایش در بازه‌های زمانی مختلف از تحلیل واریانس و به منظور گروه‌بندی فرسایش در متغیر بازهٔ زمانی از آزمون دانکن استفاده شد.

در ادامه، از آنجا که سطح میدان‌های میخ فرسایش محصور نیست و می‌تواند تحت تأثیر پاسخ هیدرولوژیکی و رواناب ورودی از دامنهٔ بالادست خود قرار گیرد، با استفاده از نرم‌افزار SAGA و استفاده از موقعیت نقاط روی مدل رقومی ارتفاع منطقهٔ بررسی‌شده، مساحت محدودهٔ مشارکت‌کننده در تولید رواناب در بالادست هر یک از میدان‌های میخ به صورتی که مجموع رواناب آن از محدودهٔ میدان میخ عبور کند، محاسبه شد. همچنین تندی شیب و شاخص طول شیب (عامل L در معادلهٔ جهانی هدررفت خاک) در هر یک از میدان‌های میخ با

استفاده از این نرم‌افزار محاسبه شد. برای محاسبهٔ عامل طول شیب از روابط ۱ تا ۳ استفاده شد [۱۷].

$$L=\left(\frac{b}{۲۲/۱۳}\right)^{m} \quad (۱)$$

$$m=\frac{\beta}{۱+\beta} \quad (۲)$$

$$\beta=\frac{\sin\theta}{۰/۰۸۹۶\left(۳\sin\theta^{۰/۸}+۰/۵۶\right)} \quad (۳)$$

که در آنها L شاخص طول شیب، b طول شیب (متر)، m ضریب ثابتی است که تابعی از شیب متوسط بوده و نشان‌دهندهٔ نسبت فرسایش شیاری به فرسایش بین شیاری و Θ تندی شیب (درجه) هستند.

نتایج

نتایج میزان مشارکت بازه‌های زمانی ماهانه، سه‌ماهه و شش‌ماهه در فرسایش جهت‌های مختلف دامنه

نتایج نشان داد در مقیاس زمانی ماهانه بیشترین متوسط تغییر ارتفاع خاک مربوط به جهت شرقی با مقدار ۰/۵۸ میلی‌متر با بیشترین مقدار فرسایش ۶/۹۵ تن در هکتار بود. کمترین متوسط تغییر ارتفاع خاک مربوط به جهت شمال غربی با ۰/۳۲ میلی‌متر و فرسایش ۳/۸۵ تن در هکتار محاسبه شد. در هر سه مقیاس زمانی سه‌ماهه، شش‌ماهه و سالانه بیشترین متوسط تغییر ارتفاع خاک مربوط به جهت شرقی و به‌ترتیب برابر با ۱/۰۷، ۱/۶۰ و ۳/۰۷ میلی‌متر (با بیشترین مقدار فرسایش به‌ترتیب ۱۲/۸۹، ۱۹/۲۱ و ۳۶/۷۹ تن در هکتار) اندازه‌گیری شد. همچنین، متوسط فرسایش هر سه جهت در هر یک از مقیاس‌های زمانی در جدول ۱ نشان داده شده است.

نتایج تحلیل واریانس یک‌طرفه برای بررسی اثر جهت‌های مختلف و مقیاس‌های زمانی بر فرسایش

نتایج معناداری مربوط به بررسی اختلاف میانگین‌های متغیرهای بررسی‌شده شامل فرسایش و متوسط تغییر ارتفاع خاک به منظور بررسی اثر جهت شیب و مقیاس زمانی با به‌کارگیری آزمون تحلیل واریانس با سطح معناداری ۰/۰۵ در جدول‌های ۲ و ۴ نشان داده شده است. نتایج مربوط به گروه‌بندی داده‌ها به روش دانکن در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۱. نتایج فرسایش در مقیاس‌های زمانی و جهت‌های مختلف

مقیاس زمانی	جهت میدان میخ	مشارکت در فرسایش سالانه (در هر جهت دامنه)		مشارکت در فرسایش سالانه (متوسط سه جهت دامنه)	
		فرسایش (تن در هکتار)	مشارکت در فرسایش سالانه (درصد)	فرسایش (تن در هکتار)	مشارکت در فرسایش سالانه (درصد)
ماهانه	شمال غربی	۳/۸۵	-	۵/۸۱	۳۴
	شمالی	۶/۶۴	۲۳/۳۴		
	شرقی	۶/۹۵	۱۸/۸۹		
سه‌ماهه	شمال غربی	- ۰/۳۹	-	۷/۳۳	۴۳
	شمالی	۹/۴۹	۳۳/۳۶		
	شرقی	۱۲/۸۹	۳۵/۰۴		
شش‌ماهه	شمال غربی	- ۷/۱۰	-	۹/۵۲	۵۵
	شمالی	۱۶/۴۴	۵۷/۷۹		
	شرقی	۱۹/۲۱	۵۲/۲۲		
سالانه	شمال غربی	- ۱۳/۵۹	-	۱۷/۲۲	-
	شمالی	۲۸/۴۵	-		
	شرقی	۳۶/۷۹	-		

جدول ۲. تحلیل واریانس یک‌طرفه در بررسی اختلاف متغیرهای بررسی‌شده در سه جهت شمال غربی، شمالی و شرقی

متغیر پاسخ	درجهٔ آزادی	آمارهٔ F	مقدار P
فرسایش خاک	۲	۳/۰۵۱	۰/۰۵

نتایج نشان داد جهت شیب رابطهٔ معناداری با متوسط تغییر ارتفاع خاک و فرسایش، در سطح معناداری ۰/۰۵ داشت.

جدول ۳. گروه‌بندی سطوح تیمار جهت‌های مختلف شیب (به روش دانکن) برای متغیرهای بررسی‌شده (α = ۰/۰۵)

متغیر پاسخ	زیرگروه‌های جهت‌های مختلف	
	زیرگروه ۱	زیرگروه ۲
متوسط تغییر ارتفاع خاک	شمالی، شرقی	شمال غربی
فرسایش	شمالی، شرقی	شمال غربی

نتایج نشان داد مقدار متوسط فرسایش خاک و متوسط تغییر ارتفاع خاک در جهت شمال غربی با دو جهت شمالی و شرقی اختلاف معناداری دارد.

جدول ۴. تحلیل واریانس یک‌طرفه در بررسی اختلاف متغیرهای بررسی‌شده در مقیاس‌های زمانی ماهانه، سه‌ماهه، شش‌ماهه و یک‌ساله

متغیر پاسخ	درجهٔ آزادی df	آمارهٔ F	مقدار P
فرسایش خاک	۳	۰/۲۹۳	۰/۸۱۷

نتایج نشان داد متغیرهای بررسی‌شده در سطح معناداری ۰/۰۵ رابطهٔ معناداری با مقیاس‌های زمانی مختلفی نداشتند. به دلیل واریانس زیاد داده‌های اندازه‌گیری میخ‌های فرسایش آمار نتوانسته این اختلاف را معنادار نشان دهد.

نتایج مجموع مساحت رواناب بالادست، تندی شیب و شاخص طول شیب (با استفاده از شاخص توپوگرافی) میخ‌های فرسایش

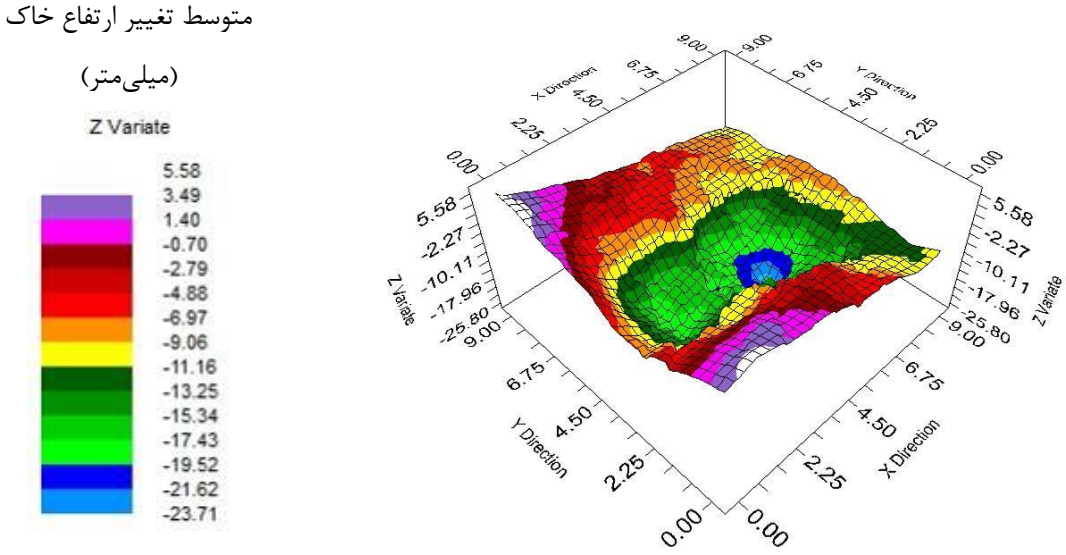
همان طور که در روش کار توضیح داده شد، مساحت محدودهٔ مشارکت‌کننده در تولید رواناب در بالادست هر یک از میدان‌های میخ، تندی شیب و شاخص طول شیب در هر یک از میدان‌های میخ محاسبه و نتایج محاسبات در جدول ۵ ارائه شده است.

نتایج نشان داد در جهت‌های شمال غربی و شمالی شاخص طول شیب، تندی شیب و مجموع مساحت سطح مشارکت‌کننده در تولید رواناب ورودی به میدان میخ بیشتر از جهت شرقی بوده است. اما با این حال نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد به‌رغم بیشتربودن سطح مشارکت‌کننده در تولید رواناب ورودی به میدان‌های میخ مستقر در دو جهت شمالی و شمال غربی نسبت به جهت شرقی، دربارهٔ فرسایش نتیجه کاملاً معکوس بوده و فرسایش در جهت شرقی بیشتر از دو جهت شمال غربی و شمالی بوده است. به بیان دیگر، یا رواناب بیشتری به دامنه‌های شمالی و شمال غربی وارد نشده یا انحنای دامنه به گونه‌ای بوده که رواناب ورودی رسوب در حال حمل خود را در این دو میدان میخ ته‌نشین کرده است. صحت این تحلیل به بررسی بیشتر اثر انحنای شیب دامنه بر فرسایش یا رسوب‌گذاری نیاز دارد.

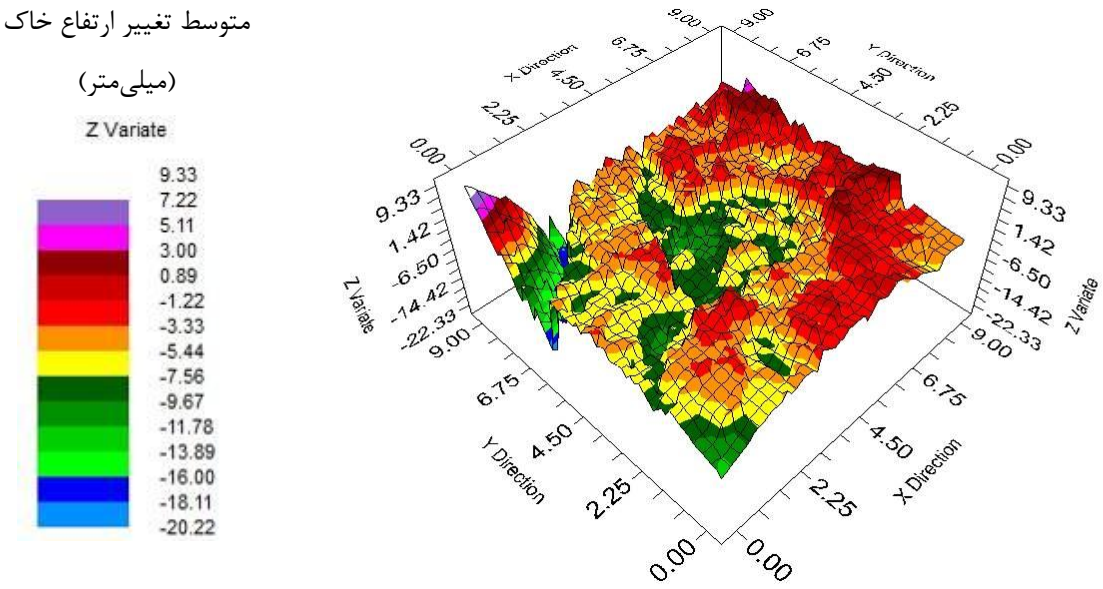
همان طور که در روش کار توضیح داده شد با استفاده از مجموعه داده‌های مکانی به‌دست‌آمده در میدان‌های میخ فرسایش، نقشهٔ توزیعی فرسایش و رسوب‌گذاری برای هر یک از مقیاس‌های زمانی و با استفاده از درون‌یابی و روش کریجینگ تهیه شد. از آنجا که تعداد بازه‌های ماهانه، سه‌ماهه و شش‌ماهه و در نهایت سالانه بررسی شده و به ویژه در سه میدان میخ فرسایش زیاد است، بنابراین تنها نقشهٔ توزیعی فرسایش و رسوب‌گذاری برای بازهٔ زمانی یک سال (مهرماه ۱۳۹۴ تا شهریور ۱۳۹۵) مربوط به میدان‌های میخ در دامنه‌های شمالی، شرقی و شمال غربی زیرحوضهٔ شاهد به‌ترتیب در شکل‌های ۳ تا ۵ ارائه شده است. در راهنمای نقشه‌های ارائه‌شده قسمت‌هایی که با اعداد مثبت نمایش داده‌شده نشان‌دهندهٔ رسوب‌گذاری و اعداد منفی نشان‌دهندهٔ فرسایش‌اند.

جدول ۵. مجموع مساحت رواناب بالادست، تندی شیب و شاخص طول شیب میخ‌های فرسایش

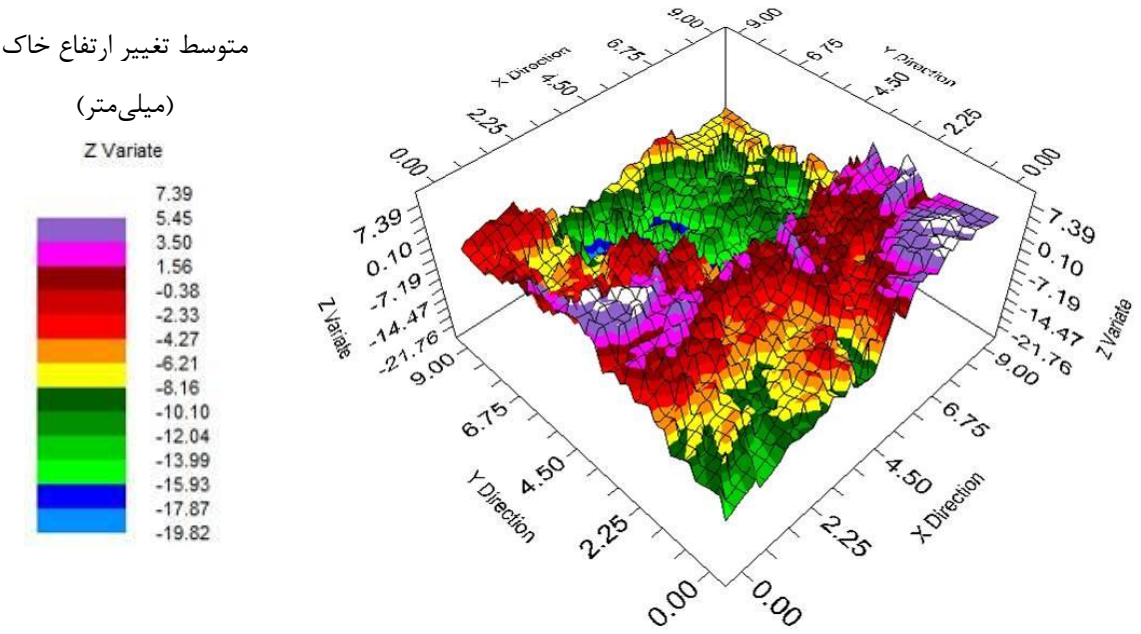
جهت شیب	مساحت سطح مشارکت‌کننده در تولید رواناب ورودی به میدان میخ (مترمربع)	تندی شیب (درصد)	شاخص طول شیب
شمالی	۱۲۰۰	۳۲	۳/۱۸
شمال غربی	۹۰۰	۳۵	۳/۳۳
شرقی	۶۰۰	۳۱	۱/۴۲



شکل ۳. نقشهٔ توزیعی فرسایش و رسوب‌گذاری سالانه در میدان میخ فرسایش در دامنه با جهت شمالی



شکل ۴. نقشهٔ توزیعی فرسایش و رسوب‌گذاری سالانه در میدان میخ فرسایش در دامنه با جهت شرقی



شکل ۵. نقشهٔ توزیعی فرسایش و رسوب‌گذاری سالانه در میدان میخ فرسایش در دامنه با جهت شمال غربی

بحث

نتایج ارائه‌شده در جدول ۱ روند افزایشی میزان فرسایش خاک (گرم در مترمربع) و تغییر ارتفاع خاک را با افزایش مقیاس زمانی از ماهانه تا سالانه نشان می‌دهد. با این حال، نتایج تحلیل‌های آماری در جدول ۴ نشان‌دهندهٔ آن است که این افزایش معنادار نیست و به بیان دیگر، تیمار مقیاس زمانی بر فرسایش و متوسط تغییر ارتفاع خاک اثر معنادار نداشته است. اما اثر تیمار جهت شیب بر فرسایش و متوسط تغییر ارتفاع خاک معنادار بوده است. به طوری که جهت شمال غربی اختلاف معناداری با جهت شمالی و شرقی داشته است. اگرچه نتایج تحلیل‌های آماری اثر تیمار مقیاس زمانی را بر فرسایش و متوسط تغییر ارتفاع را معنادار نشان نداد، جدول ۱ بیان می‌کند که مقدار متوسط تغییر ارتفاع خاک و فرسایش در مقیاس زمانی یک‌ساله نسبت به ماهانه و سه‌ماهه و همچنین، مقیاس زمانی شش‌ماهه نسبت به یک‌ماهه اختلاف درخور توجهی را نشان می‌دهد. دلیل این امر واریانس زیاد در داده‌های اندازه‌گیری‌شدهٔ میخ‌های فرسایش به دلیل بروز خطا در مراحل مختلف قرائت ارتفاع خاک در میخ‌ها و نیز بروز رسوب‌گذاری در کنار فرسایش و اختلاف علامت مثبت و منفی در اعداد است. متوسط فرسایش برای هر مقیاس زمانی نیز به‌ترتیب ۵/۸۱، ۷/۳۳، ۹/۵۲ و ۱۷/۲۲ تن در هکتار اندازه‌گیری شد. این اعداد روند افزایشی را در مقدار متوسط فرسایش با افزایش مقیاس زمانی بررسی‌شده نشان می‌دهند. مقدار فرسایش اندازه‌گیری‌شده در همهٔ مقیاس‌های زمانی بررسی‌شده در میدان میخ واقع در جهت شرقی بیشترین مقدار و در جهت شمال غربی کمترین مقدار گزارش شده است؛ به طوری که در جهت شمال غربی در سطح میدان میخ در مقیاس‌های زمانی بالا آمدن سطح خاک بیشتر از فرسایش (پایین‌رفتن سطح خاک) رخ داده است. بررسی نقشه‌های توزیعی فرسایش و رسوب‌گذاری در میدان‌های مختلف مین نیز نشان می‌دهد در هر سه جهت شمالی، شرقی و شمال غربی علاوه بر فرسایش، رسوب‌گذاری نیز اتفاق افتاده است، اما سطح رخداد فرسایش نسبت به رسوب‌گذاری بیشتر بوده است.

سعیدیان و همکارانش با بررسی تأثیر جهت‌های اصلی دامنه بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک نشان دادند جهت شمالی و شمال غربی بیشترین درصد مادهٔ آلی خاک را دارد و در جهت شرقی به نسبت دو جهت دیگر مقدار مادهٔ آلی کمتر است. از این‌رو، همین امر می‌تواند سبب کاهش پوشش گیاهی در جهت شرقی شود و در نتیجه، مقدار فرسایش را افزایش دهد. ایشان همچنین گفتند که دامنهٔ شمال غربی فرسایش زیادی دارد، بنابراین این بخش از نتایج

ایشان با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد [۱۸]. همچنین، می‌توان گفت که در دامنهٔ شمال غربی مانند دامنهٔ جنوبی به دلیل تابش مستقیم نور آفتاب و تبخیر زیاد، ذرات خاک به هم چسبیده و به حالت غیر قابل انتقال درمی‌آیند و در نتیجه، فرسایش کاهش می‌یابد. دلیل این امر را می‌توان در تغییرات به‌وجودآمده در تکامل خاک به واسطهٔ دریافت سطوح متفاوت انرژی خورشید نسبت داد که با تحقیقات کروک و همکارانش و نیز هارتانو و همکارانش مطابقت دارد.

دمای خاک یکی از عواملی است که بر میزان فرسایش خاک با استفاده از میخ‌های فرسایش تأثیر دارد. در منطقهٔ مطالعه شده میانگین بلندمدت دمای ماهانه خاک در عمق پنج سانتی‌متری در ماه ژوئن بیشترین مقدار را دارد و برابر با ۱۹/۴ درجهٔ سانتی‌گراد است. این مقدار در ماه دسامبر به کمترین مقدار خود (۵/۸ درجهٔ سانتی‌گراد) می‌رسد. نتایج بسیاری از پژوهش‌های قبلی نشان‌دهندهٔ آن است که انجماد خاک به طور چشمگیری نفوذپذیری خاک را کاهش می‌دهد و باران یا ذوب سریع برف در خاک منجمد علت اصلی جاری‌شدن سیل و فرسایش در بسیاری از مناطق است [۲۱]. متوسط تغییر ارتفاع خاک در ماه نوامبر ۲۰۱۵ در جهت شمالی ۹/۱۵- (میلی‌متر) و در ماه فوریه ۲۰۱۶ در جهت شمال غربی ۷/۷۷- (میلی‌متر) اندازه‌گیری شد. در این ماه‌ها یخ‌زدگی ایجادشده به‌نوعی در سطح میدان‌های میخ بالاآمدن سطح خاک ثبت شده و به‌اشتباه به عنوان رسوب‌گذاری در نظر گرفته شده و سبب خطا در اندازه‌گیری شده است. اما در فصل بهار به دلیل ذوب‌شدن یخ، خاک نرم شده و به‌ویژه همراه با بارندگی نشست کرده است، به همین دلیل مقدار اندازه‌گیری‌شدهٔ فرسایش در ماه‌های بهار به طور درخور توجهی زیاد است، به طوری که متوسط تغییر ارتفاع خاک در ماه آوریل ۲۰۱۶ در جهت شمالی ۱۱/۲۵ (میلی‌متر) و در ماه مه ۲۰۱۶ جهت شمال غربی ۷/۷۹ (میلی‌متر) اندازه‌گیری شده است و سبب به‌وجودآمدن خطا در مقدار نهایی فرسایش در مقیاس‌های مختلف، به‌ویژه ماهانه، شده است. نتایج پژوهش‌های قبلی دربارهٔ اثر پدیدهٔ انجماد و ذوب خاک نیز نشان می‌دهد این پدیده تأثیر فراوانی بر رواناب و رسوب دارد. به طور مثال، در بسیاری از اراضی کشاورزی سواحل شمال غربی اقیانوس آرام حدود ۹۰ درصد از تلفات خاک در این منطقه به دلیل پدیدهٔ ذوب و انجماد رخ داده است. همچنین، نتایج پژوهشی در شمال مرکزی اورگان نشان می‌دهد در یک دورهٔ کوتاه‌مدت، حدود ۸۶ درصد فرسایش خاک در این منطقه ناشی از بارش و پدیدهٔ ذوب و انجماد همراه با بارش بوده است [۲۲]. این نتایج با یافته‌های پژوهشگران دیگر مبنی بر اینکه پدیدهٔ انجماد خاک موجب تورم خاک شده و با نفوذپذیری خاک موجب افزایش رواناب و در نتیجه فرسایش می‌شود، هم‌خوانی دارد [۲۲ـ ۲۴].

بر اساس نتایج می‌توان گفت که مقدار فرسایش در همهٔ مقیاس‌های زمانی زیاد بوده است. به دلیل اینکه اگرچه روش میخ نسبتاً ساده و ارزان است، خطا در اندازه‌گیری، فعالیت توسط حیوانات و حشرات حفار با حفر تونل در کنار میخ‌های فرسایش و یا زیر سطح خاک، فعالیت‌های انسانی و نیز وجود سنگ‌ریزه و کلوخ در کنار میخ‌های فرسایش موجب می‌شود که ثبت فرسایش و رسوب‌گذاری با دقت کم و گاهی عکس واقعیت صورت پذیرد [۴]. در ضمن می‌توان گفت که با زیادبودن تعداد میخ‌ها و تکرار اندازه‌گیری‌ها خطاها کم می‌شود و به نوعی واقعیت‌های منطقه را منعکس می‌کند. نکتهٔ بسیار مهم دیگر این است که سطح میدان‌های میخ فرسایش محصور نیست و می‌تواند تحت تأثیر پاسخ هیدرولوژیکی و رواناب دامنهٔ بالادست خود قرار گیرد. فاصلهٔ بالادست دامنه تا میخ‌های فرسایش در میدان‌های میخ مختلف نیز زیاد است و همین امر سبب شده مقدار حجم رواناب و عمق رواناب در سطح میدان‌های میخ بیشتر شود و نیروی رواناب به عنوان عامل اصلی فرسایش بین شیاری، همراه با پاشمان در جدایش و حمل ذرات سطح خاک مشارکت کرده است. از طرف دیگر، ضخامت متوسط رواناب موجب شده که در جهت کاهش نیروی تخریبی قطرات باران هنگام برخورد به سطح خاک و در نتیجه کاهش پاشمان عمل کند [۲۵ـ ۳۰]. به همین دلیل فرسایش غالب در سطح میدان میخ بین شیاری (سطحی) و یا حتی شیاری بوده و بنابراین فرسایش زیاد بوده است. این نتایج با یافته‌های خالدی درویشان و همکارانش هم‌خوانی دارد [۳۰]. با توجه به موارد یادشده و اهمیت طول دامنهٔ بالادست در هر یک از میدان‌های میخ، با استفاده از نرم‌افزار SAGA و استفاده از موقعیت نقاط روی مدل رقومی ارتفاع منطقهٔ بررسی شده، مساحت محدودهٔ بالادست هر یک از میدان‌های میخ به صورتی که مجموع رواناب آن از محدودهٔ میدان میخ عبور می‌کند نیز محاسبه شد. بر این اساس، برای میدان میخ جهت شمالی ۱۲۰۰ مترمربع، جهت شمال غربی ۹۰۰ مترمربع و

جهت شرقی ۶۰۰ مترمربع اندازه‌گیری شد. مجموع مساحت مشارکت‌کننده در رواناب در جهت شمالی زیاد است، به همین دلیل فرسایش در این جهت نسبتاً زیاد است و این موضوع با نتایج پژوهش‌های قبلی مبنی بر اثر طول دامنه و نیز افزایش رواناب و در نتیجه افزایش فرسایش هم‌خوانی دارد [۳۰]. اما در جهت شرقی مساحت رواناب نسبت به دو جهت دیگر کمتر است (جدول ۵) و نمی‌تواند دلیل بیشتربودن فرسایش در این میدان میخ باشد. بررسی‌های میدانی نشان داد خاک در محدودهٔ بالادست و نیز سطح میدان میخ در این جهت بسیار کم‌عمق و فقیر بوده (از لحاظ پوشش گیاهی) و شامل درصد زیادی از قطعات ریز سنگ و سنگ‌ریزه است. بنابراین، میزان رواناب و نیز فرسایش به معنای جابه‌جایی ذرات ریز خاک در این میدان زیاد است. همچنین، اثر پدیدهٔ انجماد و ذوب یخ در خاک نیز در خاک این دامنه بیشتر است چراکه طبق نتایج پژوهش‌های قبلی، اثر انجماد و تورم و سپس ذوب و نشست مجدد در خاک‌های دارای مقادیر زیادی از ماسه و با بافت سبک‌تر، بیشتر است [۳۱ و ۳۲].

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به بررسی تحلیل فرسایش در مقیاس‌های زمانی ماهانه، سه‌ماهه، شش‌ماهه و سالانه در زیرحوضهٔ شاهد در حوضهٔ آبخیز معرف زوجی خامسان در استان کردستان با باران طبیعی پرداخته شده است. به دلیل واریانس بالای داده‌های اندازه‌گیری‌شده حاصل از میخ‌های فرسایش تحلیل‌های آماری نتوانست اختلاف متغیرهای بررسی‌شده را در مقیاس‌های مختلف زمانی معنادار جلوه دهد. همان‌طور که گفته شد، سطح میدان‌های میخ محصور نیست و به دلیل طول و مساحت دامنهٔ بالادست، رواناب زیادی از میدان میخ عبور می‌کند که می‌تواند در سطح میدان میخ فرسایش بین شیاری بیشتری ایجاد کند. همچنین، پدیدهٔ یخزدگی و ذوب یخ در ماه‌های سرد سال سبب بالاآمدن خاک شده و در ادامه و با گرم‌شدن هوا و ذوب همراه با بارندگی سبب شده مقدار فرسایش بیشتری در برخی سطوح ایجاد شود. در نهایت، می‌توان به این نکته اشاره کرد که روش میخ‌های فرسایش دارای محدودیت‌هایی از جمله خطا در اندازه‌گیری، فعالیت توسط حشرات و جانوران حفار در کنار و زیر میخ‌های فرسایش، همچنین اثر سنگ و کلوخه در کنار میخ‌های فرسایش با تلفیقی از اثر انکارناپذیر انجماد و ذوب خاک است. بنابراین، استفاده از آن با روش و دقت فعلی فقط در دو حالت پیشنهاد می‌شود. نخست اینکه به‌ویژه برای اندازه‌گیری فرسایش‌های غیرمتمرکز (سطحی و بین شیاری)، اندازه‌گیری متوسط فرسایش خاک با استفاده از میخ‌های فرسایش در یک دورهٔ زمانی بلندمدت (بسیار بیشتر از یک سال - حدود ۱۰ سال) انجام شود و دوم اینکه برای اندازه‌گیری فرسایش‌های متمرکز (شیاری، آبراهه‌ای و کنار رودخانه‌ای) و یا زمانی که تغییرات عمق خاک بر اثر فعالیت‌های انسانی و یا انواع خاصی از فرسایش مانند فرسایش بادی زیاد است، می‌توان از میخ‌های فرسایش برای اندازه‌گیری متوسط فرسایش خاک در دورهٔ زمانی کوتاه (یک سال و یا کمتر) نیز استفاده کرد.

منابع

[1]. Walling DE. Erosion and sediment yield research-some recent perspectives. Journal of Hydrology.1988; 100(1): 113-141.

[2]. Chaplot V, Poesen J. Sediment, soil organic carbon and runoff delivery at various spatial scales. Catena. 2012; 88(1): 46-56.

[3]. Toy TJ, Foster GR, Renard KG. Soil erosion: processes, prediction, measurement, and control. New York: John Wiley and Sons; 2002.

[4]. Ghimire SK, Higaki D, Bhattarai TP. Estimation of soil erosion rates and eroded sediment in a degraded catchment of the Siwalik Hills, Nepal. Land.2013; 2(3):370-391.

[5]. Bradbury J, Cullen P, Dixon G, Pemberton M. Monitoring and management of streambank erosion and natural revegetation on the lower Gordon River, Tasmanian Wilderness World Heritage Area, Australia. Environmental Management. 1995; 19(2): 259-272.

[6]. Couper P, Stott T, Maddock I. Insights into river bank erosion processes derived from analysis of negative erosion-pin recordings: observations from three recent UK studies. Earth Surface Processes and Landforms. 2002; 27(1): 59-79.

[7]. Shi Z, Wen A, Zhang X, Yan D. Comparison of the soil losses from 7Be measurements and the monitoring data by erosion pins and runoff plots in the Three Gorges Reservoir region, China. Applied Radiation and Isotopes. 2011; 69(10): 1343-1348.

[8]. Pope IC, Odhiambo BK. Soil erosion and sediment fluxes analysis: a watershed study of the Ni Reservoir, Spotsylvania County, VA, USA. Environmental monitoring and assessment. 2014; 186(3): 1719-1733.

[9]. Palmer JA, Schilling K E, Isenhart TM, Schultz RC, Tomer MD. Streambank erosion rates and loads within a single watershed: Bridging the gap between temporal and spatial scales. Geomorphology, 2014; 209: 66-78.

[10]. Navarro-Hevia J, Lima-Farias TR, de Araújo JC, Osorio-Peláez C, Pando V. Soil Erosion in Steep Road Cut Slopes in Palencia (Spain). Land Degradation and Development. 2016; 27(2): 190-199.

[11]. Haigh MJ. The use of erosion pins in the study of slope evolution. British Geomorphological Research Group Technical Bulletin. 1977; 18: 31-49.

[12]. Hudson NW. Field measurement of soil erosion and runoff. Fao Soils Bulletin N; 1993.

[13]. Roose E. Evaluating, monitoring and forecasting erosion. In ISCO 12 conf., Tsinghua. 2002; 1-8.

[14]. Sadeghi Sh. The study and measurement of water erosion, Tarbiat Modarres University Press; 2009. [Persian]

[15]. Reimann C, Filzmoser P, Garrett RG. Background and threshold: critical comparison of methods of determination. Science of the Total Environment. 2005; 346(1): 1-16.

[16]. Yazdi Samadi B, Rezaei AS, Valizadeh M. statistical projects in agricultural research, Tehran University Press; 2001. [Persian]

[17]. Najafinejad A, Mardian M, Varvani J, Sheikh VB. Evaluation and comparison of representative hill slope and raster based hill slope methods for computation of topography factor in USLE. Journal of Soil Management and Sustainable Production. 2011; 1(1): 99-114. [Persian]

[18]. Saeidian H, Moradi HR, Feyz Nia SA, Bahramifar N. The role of slope main aspects in some soil physical and chemical properties (case study: achsaran and aghajari formations in Kuhe Kach and Margha watershed in Izeh township. Journal of Watershed Management Research. 2011; 2013 (9): 77-64. [Persian]

[19]. Croke J, Hairsine P, Fogarty P. Runoff generation and re-distribution in logged eucalyptus forests, south-eastern Australia. Journal of Hydrology. 1999; 216(1): 56-77.

[20]. Hartanto H, Prabhu R, Widayat AS, Asdak C. Factors affecting runoff and soil erosion: plot-level soil loss monitoring for assessing sustainability of forest management. Forest Ecology and Management. 2003; 180(1): 361-374.

[21]. Johnson CW, McArthur RP. Winter storm and flood analyses, northwest interior. In Hydraulic Engineering and the Environment. 1973; 359-369.

[22]. Wischmeier WH, Smith DD. Predicting rainfall erosion losses-A guide to conservation planning. Predicting rainfall erosion losses-A guide to conservation planning; 1978.

[23]. McCool DK, Papendick RI, Brooks FL. Universal soil loss equation as adapted to the Pacific Northwest. PB US Natl Tech Inf Serv. 1976; 135-147.

[24]. Flerchinger G N, Frasier GW, Grossman RB, Potter KN, Sharratt BS, Williams J D. Shrinking/swelling, freezing/thawing and grazing effects on infiltration. In ARS Workshop on" Real World" Infiltration. 1996; 189 p.

[25]. Mutchler C, Larson C. Splash amounts from waterdrop impact on a smooth surface. Water Resources Research. 1971; 7: 195-200.

[26]. Zachar D. Soil erosion. Elsevier. Bratislava, Czechoslovakia; 1982.

[27]. Auerswald K. Influence of initial moisture and time since tillage on surface structure breakdown and erosion of a loessial soil. Catena Supplement. 1993; 24: 93-101.

[28]. Kinnell, PIA. Raindrop-impact-induced erosion processes and prediction: a review. Hydrological Processes. 2005; 19: 2815-2844.

[29]. Ghahramani A, Ishikawa Y, Gomi T, Shiraki K, Miyata Sh. Effect of ground cover on splash and sheetwash erosion over a steep forested hillslope: a plot-scale study. Catena. 2011; 85: 34-47.

[30]. Khaledi Darvishan A, Sadeghi SH, Homaee M, Arabkhedri M. Measuring sheet erosion using synthetic color-contrast aggregates. Hydrological Processes. 2014; 28(15): 4463-4471.

[31]. Lehrsch GA, Sojka RE, Carter DL, Jolley PM. Freezing effects on aggregate stability affected by texture, mineralogy, and organic matter. Soil Science Society of America Journal. 1991; 55(5): 1401-1406.

[32]. Zhao L, Gray DM, Toth B. Influence of soil texture on snowmelt infiltration into frozen [19]. soils. Canadian journal of soil science. 2002; 82(1): 75-83.