



ارزیابی عملکرد اقدام‌های آبخیزداری در کاهش فرسایش خاک در زیر آبخیزهای نمونه و شاهد آبخیز معرف خامسان با استفاده از روش سزیم-۱۳۷

حمید خدامرادی^۱، عبدالواحد خالدی درویشان^{۲*}، سیدحمیدرضا صادقی^۳

۱- دانش‌آموخته‌ی کارشناسی‌ارشد آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- استاد گروه آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده‌ی مبسوط

مقدمه و هدف

خاک جزئی از هر بوم‌سازه و یکی از با ارزش‌ترین منابع مهم تولید غذا در هر کشور است که نقش بسزایی در ادامه‌ی حیات بشر دارد. امروزه فرسایش خاک از مهم‌ترین تهدیدهای منابع آب و خاک به‌شمار می‌آید و به یکی از مشکلات مهم محیط‌زیستی بشر تبدیل شده‌است. خاک از امنیت غذایی و کیفیت محیط‌زیست که هر دو برای زندگی انسان ضروری هستند، پشتیبانی می‌کند. هدف انجام این پژوهش ارزیابی عملکرد اقدام‌های آبخیزداری در زیر آبخیز نمونه‌ی آبخیز معرف خامسان بود. دریاچه‌ی سد مخزنی گاوشان در تراز بیشینه تا خروجی آبخیز خامستان عقب‌نشینی کرده‌است. این موضوع سبب‌شده فرسایش خاک حاصل از این آبخیز مستقیماً و با طی کم‌ترین فاصله وارد دریاچه سد گاوشان شود؛ از این رو ارزیابی عملکرد اقدام‌های انجام‌شده در این آبخیز به‌ویژه براساس نقشه‌ی توزیعی فرسایش و رسوب امری بسیار مهم می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مرحله‌ی اول اندازه‌گیری فرسایش خاک با استفاده از سزیم-۱۳۷، انتخاب منطقه‌ی شاهد یا مرجع است. از نقشه‌های شیب و کاربری زمین‌ها برای تعیین نهایی نقاط نمونه‌برداری در این پژوهش استفاده شد. پس از اندازه‌گیری فعالیت سزیم-۱۳۷ (بکرل در کیلوگرم خاک)، برای محاسبه‌ی فرسایش خاک نیاز به موجودیت سزیم-۱۳۷ در هر مترمربع نمونه‌ی خاک است. فعالیت سزیم-۱۳۷ نقاط مرجع با درصد سزیم-۱۳۷ باقی‌مانده در نقاط پژوهش مقایسه شد. اگر فعالیت سزیم-۱۳۷ نمونه‌های خاک کم‌تر از فعالیت در نیم‌رخ مرجع بود از دست‌رفتن خاک و فرسایش رخ داده است. افزایش فعالیت سزیم-۱۳۷ در نمونه‌های خاک

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: a.khaledi@modares.ac.ir

استناد: خدامرادی، ح.، خالدی درویشان، ع.، صادقی، س.ح.ر. ۱۴۰۲. ارزیابی عملکرد اقدام‌های آبخیزداری در کاهش فرسایش خاک در زیر آبخیزهای نمونه و شاهد آبخیز معرف خامسان با استفاده از روش سزیم-۱۳۷. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۶ (۲): ۱۷-۲.

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmrj.2022.358701.1474

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۸، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۴/۲۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۳۰، تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۴/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۲، دوره‌ی ۳۶، شماره‌ی ۲، شماره‌ی پیاپی ۱۳۹، تابستان ۱۴۰۲، صفحه‌های ۲ تا ۱۷.

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس © نویسندگان



در مقایسه با نیمرخ مرجع بیان گر انتقال خاک به محل نمونه برداری خاک بود و به عنوان محل رسوب گذاری در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

نتایج مقایسه‌ی نقاط همانند در کاربری مرتع در هر دو زیرآبخیز نمونه و شاهد نشان داد که شرایط رسوب گذاری بر فرسایش غالب است. اندازه‌ی رسوب گذاری در کاربری مرتع همراه با اقدام‌های آبخیزداری (بانکت‌بندی، بذرپاشی و قرق) در زیرآبخیز نمونه با شیب ۳۰-۲۰٪ بیش تر از مرتع با همان ویژگی‌ها در زیرآبخیز شاهد بود. در کاربری مرتع همراه با اقدام‌های آبخیزداری در شیب بیشتر از ۳۰-۶۰٪ شرایط فرسایشی غالب بود، اما فرسایش در شرایط حفاظت شده در مقایسه با نقطه‌ی همانند در زیرآبخیز شاهد کم تر بود.

نتیجه گیری و پیشنهادها

نتایج اندازه‌ی فرسایش و رسوب گذاری در هر دو زیرآبخیز نمونه و شاهد در کاربری مرتع با شیب ۳۰-۲۰٪ نشان داد که شرایط رسوب گذاری غالب است. اما اندازه‌ی رسوب گذاری در مرتع همراه با اقدام‌های آبخیزداری در زیرآبخیز نمونه افزایش ۶۵/۱۴۴۵ درصدی را در مقایسه با مرتع بدون اقدام‌های حفاظتی در زیرآبخیز شاهد نشان داد که این یافته گویای تأثیر مثبت اقدام‌های آبخیزداری در مراتع زیرآبخیز نمونه با شیب ۳۰-۲۰٪ است. این یافته نشان دهنده‌ی اثر ویژه‌ی بانکت‌بندی بر افزایش تله‌اندازی رسوب کاهش حجم و سرعت رواناب و در نتیجه کاهش قدرت انتقال رسوب است. همچنین در شیب ۳۰-۶۰٪ نیز اگرچه در هر دو زیرآبخیز نمونه و شاهد شرایط فرسایش غالب بود، اما اقدام‌های آبخیزداری در کاربری مرتع در زیرآبخیز نمونه در مقایسه با نقطه‌ی همانند در زیرآبخیز شاهد کاهش ۵۷/۲۸ درصدی اندازه‌ی فرسایش خاک را نشان داد. با توجه به عملکرد مثبت اقدام‌های آبخیزداری به ویژه بانکت‌بندی، پیشنهاد می‌شود از این اقدام در سایر آبخیزهای مشابه با آبخیز معرف خامسان نیز استفاده شود.

واژگان کلیدی: بانکت‌بندی، توزیع مکانی فرسایش، رسوب‌دهی، قرق، نسبت تحویل رسوب

مقدمه

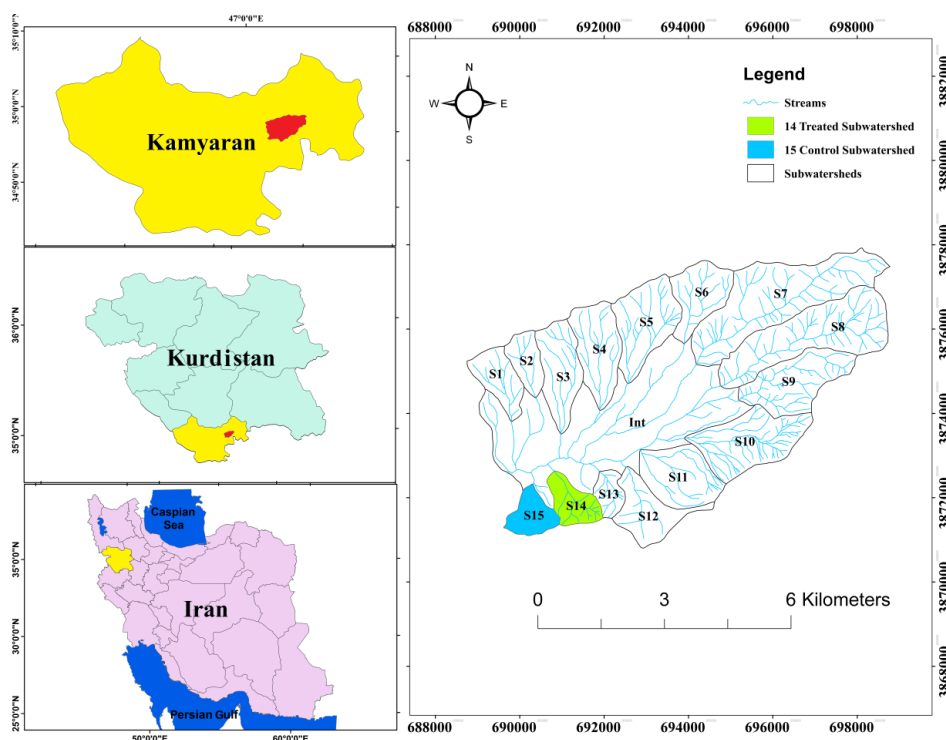
مفید است (جین و همکاران ۲۰۲۱). داشتن اطلاعات دقیق از منابع فرسایش پذیر و نقاط حساس آن از مراحل اولیه برای اجرای اقدام‌های آبخیزداری است و از این رو بهره‌گیری از روش‌های شناسایی این نقاط دارای اهمیت است. یکی از مهم‌ترین عنصرهای مناسب برای پایش و ردیابی فرسایش و رسوب می‌توان به سزیم-۱۳۷ اشاره کرد. این عنصر یک رادیو ایزوتوپ مصنوعی با نیمه عمر ۳۰/۰۴ سال است که در نتیجه‌ی فعالیت‌های هسته‌ای در سال‌های ۱۹۵۰-۱۹۷۰ به وجود آمده و همراه با بارش وارد خاک شده است. سزیم-۱۳۷ به سرعت جذب ذرات رس و ماده‌ی آلی افق زیرین خاک سطحی می‌شود (والینگ و کوین ۱۹۹۱). با استفاده از سزیم-۱۳۷ مبیبت و همکاران (۲۰۰۷) در منطقه‌ای در شرق کانادا نقاطی که بیش‌ترین فرسایش را داشتند مشخص کردند. نتایج این پژوهش نشان داد ۵۰٪ از زمین‌های کشاورزی تحت فرسایش شدید بودند و بافت خاک، شیب زمین و نوع استفاده از زمین در اندازه و بزرگی فرسایش تأثیرگذار بودند. این یافته‌ها نشان می‌دهند که نقشه‌ی توزیعی فرسایش و رسوب برای تفکیک سطوح منبع و مخزن رسوب می‌تواند استفاده شود. در پژوهش دیگری اولسون و همکاران (۲۰۱۳) با هدف برآورد فرسایش خاک در مزارع کشاورزی، ابتدا یک منطقه را به‌عنوان مرجع مشخص کردند. سپس مناطق اطراف و کاربری‌های مختلف را با استفاده از روش سزیم-۱۳۷ بررسی کردند. نتایج به‌دست آمده را برای دو دوره‌ی زمانی

خاک جزئی از هر بوم‌سازه و یکی از با ارزش‌ترین منابع مهم تولید غذا در هر کشور است که نقش بسزایی در ادامه‌ی حیات بشر دارد. همچنین ضرورت حفاظت از خاک و جلوگیری از فرسایش آن امری الزامی است (حیدری و همکاران ۲۰۲۲؛ نیک‌کامی و شادفر ۲۰۲۱). فرسایش خاک از مهم‌ترین تهدیدهای منابع آب و خاک به‌شمار می‌آید و به یکی از مشکلات مهم محیط‌زیستی بشر تبدیل شده‌است. خاک از امنیت غذایی و کیفیت محیط‌زیست که هر دو برای زندگی انسان ضروری هستند پشتیبانی می‌کند. تا زمانی که تولیدهای غذایی کاهش نیافته یا به خطر نیفتاده، امنیت خاک برای آسایش انسان درک نمی‌شود و این زمانی اتفاق می‌افتد که فرسوده‌شدن خاک تا حدی بین رفتن خاک پیش برود (بلانکو و لال ۲۰۰۸). همچنین فرسایش آبی یکی از مهم‌ترین مشکلات در سطح جهانی می‌باشد (بورلی و همکاران ۲۰۱۷). خاک پویا بوده و مستعد نابودی سریع به‌وسیله‌ی استفاده‌ی نادرست و در بازه‌ی زمانی طول عمر انسان یک منبع تجدیدنپذیر می‌باشد. در حال حاضر زمین‌های حاصلخیز محدود و کم‌تر از ۱۱٪ از زمین‌ها را تشکیل می‌دهند. با این شرایط، غذای بیش از ۶ میلیارد جمعیتی که به اندازه ۱/۳٪ در سال در حال افزایش است از همین سطح تأمین می‌شود (بلانکو و لال ۲۰۰۸). فرسایش خاک و نابودی زمین‌ها همزمان به وسیله‌ی عامل‌های متعددی انجام می‌شود، از این رو شناسایی این عامل‌ها و تعیین سهم هر کدام برای حفظ منابع آب و خاک

مواد و روش‌ها

آبخیز معرف خامسان در موقعیت جغرافیائی $34^{\circ} 5'$ تا $34^{\circ} 36'$ طول شرقی و $47^{\circ} 36'$ تا $47^{\circ} 57'$ عرض شمالی سراب سد مخزنی گاوشان و در ۲۵ کیلومتری شهرستان کامیاران در استان کردستان واقع شده است. در منتهی‌الیه جنوب‌غربی آبخیز معرف خامسان دو زیرآبخیز به‌عنوان زیرآبخیزهای زوجی و نمایشی (نمونه و شاهد) به‌ترتیب با مساحت‌های ۹۹ و ۹۰ هکتار واقع شده‌اند که برای اهداف پژوهشی و ترویجی انتخاب شدند. در زیرآبخیز نمونه انواع اقدام‌های حفاظت آب و خاک شامل بندهای اصلاحی رسوب‌گیر، بانکت بندی همراه با بذرباشی و قرق انجام گرفته است. زیرآبخیز شاهد نیز در مجاورت زیرآبخیز نمونه قرار دارد و هیچ‌گونه اقدام‌های حفاظت آب و خاک در آن انجام نشده است. در واقع این آبخیز به‌عنوان شاهد دارای شرایط اصلی منطقه است و صرفاً برای مقایسه‌ی کمی و میدانی اقدام‌های آبخیزداری با زیرآبخیز نمونه استفاده شد. زیرآبخیز نمونه از سال ۱۳۸۵ قرق بوده درحالی که چرای دام به‌روش آزادانه در زیرآبخیز شاهد انجام می‌شده است. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی آبخیز معرف خامسان و زیر آبخیزهای نمونه و شاهد در استان کردستان و ایران نمایش داده شده است.

۱۹۱۰-۱۹۶۰ و ۱۹۶۰-۲۰۰۹ با نتایج منطقه‌ی مرجع مقایسه کردند. نتایج نشان داد که متوسط بلندمدت فرسایش ۱۱ تن در هکتار در سال بوده و متوسط فرسایش در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۹-۱۹۶۰ بیش‌تر از متوسط بازه‌ی زمانی ۱۹۱۰-۱۹۶۰ بوده است. که دلیل آن افزایش شخم زمین، و جابجایی ذرات خاک است. از این رو می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای کم شدن و یا افزوده شدن خاک در یک نقطه مد نظر قرار گیرد. بررسی پیشینه‌ی پژوهشی نشان داد که مواد پرتوزا به‌خصوص سزیم-۱۳۷ در مطالعه‌ی های مختلف فرسایش و رسوب استفاده شده و نتایج کاربرد آن تأیید می‌شود. در این پژوهش با بکارگیری مزیت روش سزیم-۱۳۷ اثر اقدام‌های آبخیزداری در زیرآبخیز نمونه در مقایسه با زیرآبخیز شاهد در آبخیز معرف خامسان ارزیابی شد. هدف دیگر در این پژوهش بررسی موقعیت زیرآبخیزهای نمونه و شاهد آبخیز خامسان است. دریاچه‌ی سد مخزنی گاوشان در تراز بیشینه تا خروجی آبخیز خامستان عقب‌نشینی کرده‌است. این موضوع سبب‌شده فرسایش خاک حاصل از این آبخیز مستقیماً و با طی کم‌ترین فاصله وارد دریاچه سد گاوشان شود؛ از این‌رو ارزیابی عملکرد اقدام‌های ایجادشده در این آبخیز به‌ویژه براساس نقشه‌ی توزیعی فرسایش و رسوب امری بسیار مهم می‌باشد.



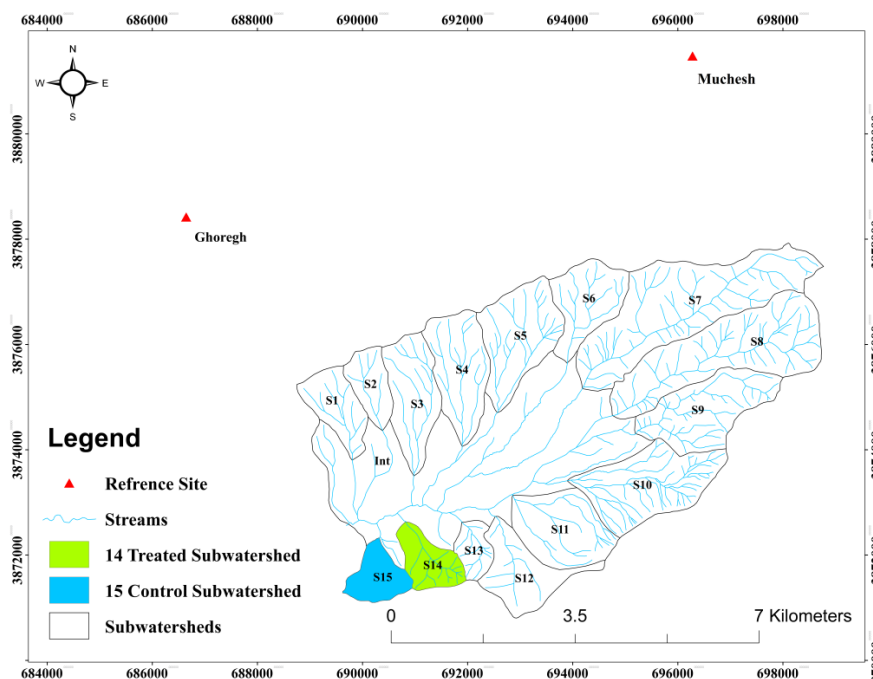
شکل ۱- موقعیت زیر آبخیزهای نمونه و شاهد آبخیز خامسان نسبت به استان کردستان و کشور.

Figure 1- Location of the Treated and Control Sub-Watersheds of the Khamsan Watershed in Kurdistan Province and Iran.

مراحل نمونه‌برداری در منطقه‌ی مرجع

مرحله‌ی اول در روش اندازه‌گیری فرسایش خاک با استفاده از سزیم-۱۳۷، انتخاب منطقه‌ی شاهد یا مرجع می‌باشد (لوگاران و همکاران ۲۰۰۲). نقاط مرجع از ابتدای ورود عنصرهای پرتوزا به خاک تا زمان نمونه‌برداری از دسترسی و شدید فعالیت‌های انسانی به دور بوده‌اند و کم‌ترین اقدام‌های کشاورزی و جابه‌جایی خاک را داشته‌اند (زاپاتا ۲۰۰۳). همچنین در این مناطق فرآیندهای شدید فرسایش و رسوب‌گذاری رخ نداده و بنابراین به‌جز واپاشی طبیعی سزیم-۱۳۷، تغییر شدیدی در سزیم-۱۳۷ در آن‌ها ایجاد نشده است. اندازه‌ی سزیم-۱۳۷ موجود در این نقاط نشان‌دهنده‌ی کل سزیم-۱۳۷ ریزش شده در منطقه از شروع انجام آزمایش‌های هسته‌ای تا زمان نمونه‌برداری است (زاپاتا

۲۰۰۳؛ آراتا و همکاران ۲۰۱۷). منطقه مرجع باید نزدیک به منطقه‌ی پژوهش شده و هم‌بلندی با آن باشد. معمولاً از مناطق حفاظت‌شده مثل پارک‌ها و گورستان‌های قدیمی، به‌عنوان ایستگاه مرجع استفاده می‌شود. در مناطق مرجع برای بالا بردن دقت، لازم است ۱۱ نمونه از عمق‌های صفر تا ۲۵ سانتی‌متری خاک به‌روش لایه‌ای برداشت شود (زاپاتا ۲۰۰۳). در این پژوهش برای تعیین منطقه‌ی مرجع پس از مشورت با افراد بومی، بازدیدهای لازم از منطقه‌ی پژوهش انجام شد و سرانجام دو نقطه در نزدیکی روستاهای موجش و قورق که دارای کم‌ترین فعالیت انسانی بودند در فاصله ۱/۵ کیلومتری شمال زیرآبخیزهای نمونه و شاهد آبخیز خامسان انتخاب شدند. موقعیت مکانی مناطق مرجع نسبت به زیرآبخیزهای نمونه و شاهد در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- موقعیت مناطق مرجع در اطراف آبخیز خامسان.

Figure 2- Location of the Reference Sites Around the Khamsan Watershed.

تعیین نقاط نمونه‌برداری در منطقه‌ی پژوهش

پژوهش‌گران برای نمونه‌برداری خاک از سطح آبخیز از ویژگی‌های مختلفی برای ایجاد واحدهای همگن استفاده کرده‌اند. برای مثال مبیّت و همکاران (۲۰۰۷) از ویژگی‌های بافت خاک، شیب، پوشش جنگل، بلاک و همکاران (۲۰۰۹) از پستی‌بلندی، استرانی و همکاران (۲۰۱۲) از پستی‌بلندی و کاربری زمین و لی و همکاران (۲۰۰۹) از کاربری زمین استفاده کرده‌اند. در این پژوهش برای تعیین نهایی نقاط

نمونه‌برداری از نقشه‌های کاربری زمین‌ها و شیب استفاده شد. به‌دلیل تنوع کاربری زمین‌ها، و توجه به اثر شیب برای اندازه‌گیری دقیق فرسایش و رسوب‌گذاری سبب شد تا نمونه‌برداری با روش نظام‌مند تصادفی (والینگ و همکاران ۲۰۱۴) در دو زیرآبخیز نمونه و شاهد انجام شود. در زیرآبخیز نمونه، نمونه‌برداری خاک در دامنه‌های بانکت‌بندی شده و در سطوحی که تحت مدیریت چرا و قرق بود انجام شد.

به شکل پرونده‌هایی با امکان خواندن به‌وسیله نرم‌افزار OMN/GAM تبدیل شد. در سامانه‌ی طیف‌نگاری ۵۵٪، طیف‌نگاری و تحلیل با استفاده از نرم‌افزار تحت ویندوز SrmBSI انجام شد. قابل توجه است که پس از آماده‌سازی نمونه‌های خاک در آزمایشگاه، بخش‌هایی طیف‌نگاری نمونه‌های خاک با استفاده از دستگاه‌های آشکارساز به‌وسیله کارشناسان آزمایشگاه‌های فیزیک اتمی انجام شد.

شناسایی الگوی جابجایی سزیم-۱۳۷

در این مرحله فعالیت سزیم-۱۳۷ نقاط مرجع با درصد سزیم-۱۳۷ باقی‌مانده نقاط پژوهش مقایسه شد. جایی که فعالیت سزیم-۱۳۷ نمونه‌های خاک کم‌تر از فعالیت نیم‌رخ مرجع بود از دست رفتن خاک و بنابراین فرسایش اتفاق افتاده است و افزایش اندازه‌ی سزیم-۱۳۷ نمونه‌های خاک نسبت به نیم‌رخ مرجع بیان‌گر انتقال خاک به محل نمونه‌برداری و رسوب‌گذاری بود (پتروویچ و همکاران، ۲۰۱۶) و از رابطه‌ی (۲) استفاده شد.

$$CPR = \frac{(CPI - CRI)}{CRI} * 100 \quad 2$$

که در آن CPR درصد سزیم-۱۳۷ باقی‌مانده در نیم‌رخ خاک، CPI اندازه‌ی سزیم-۱۳۷ در نقاط پژوهش، CRI اندازه‌ی سزیم-۱۳۷ در نقاط مرجع (بدون فرسایش) می‌باشد. اگر اندازه‌ی CPR منفی باشد نقطه‌ی مورد نظر تحت تأثیر فرسایش بوده و در صورتی که اندازه‌ی آن مثبت باشد رسوب‌گذاری اتفاق افتاده است.

تبدیل تغییر اندازه‌ی سزیم-۱۳۷ به اندازه‌ی خاک جابه‌جا شده (فرسایش و رسوب‌گذاری)

پس از محاسبه‌ی اندازه‌ی موجودیت سزیم-۱۳۷ در نمونه‌های خاک، برای ایجاد رابطه بین تغییر در اندازه‌ی سزیم-۱۳۷ با اندازه‌ی خاک جابه‌جا شده باید با استفاده از مدل‌های تبدیل موجودیت سزیم-۱۳۷ را به اندازه‌ی فرسایش خاک تبدیل کرد. برای محاسبه‌ی اندازه‌ی فرسایش و رسوب، فعالیت خاک عرصه با فعالیت خاک منطقه‌ی مرجع مقایسه می‌شود (زاپاتا ۲۰۰۳؛ آراتا و همکاران ۲۰۱۶). با توجه به نوع کاربری به‌وسیله پژوهش‌گران مدل‌های مختلفی پیشنهاد شده است. مدل‌های تبدیل به دو دسته‌ی اصلی شامل مدل‌های تبدیل برای خاک‌های زراعی و غیرزراعی تقسیم می‌شوند (والینگ و همکاران ۲۰۰۷). به دلیل وجود اختلاف در توزیع عمودی سزیم-۱۳۷ در نیم‌رخ خاک، مدل‌های تبدیل برای خاک‌های زراعی و خاک‌های غیرزراعی یکسان نیستند؛ چراکه در خاک‌های زراعی، سزیم-۱۳۷ به‌خوبی در لایه‌ی شخم مخلوط می‌شود. درحالی‌که در خاک‌های دست‌نخورده، غلظت سزیم-۱۳۷ در سطح خاک بیش‌تر است و از سطح به عمق

نمونه‌برداری و آماده‌سازی خاک در منطقه‌ی پژوهش

برای برداشت نمونه‌های لایه‌ای خاک از عمق‌های ۰-۳، ۳-۶، ۶-۱۰، ۱۰-۱۵، ۱۵-۲۰، ۲۰-۲۵ سانتی‌متری خاک از یک وسیله‌ی نمونه‌بردار به ابعاد ۲۰×۴۰ و بلندی ۳۰ سانتی‌متر استفاده شد. از آن‌جا که در منطقه‌ی پژوهش بیش‌تر خاک‌ها دارای درصد قابل توجهی سنگ و سنگ ریزه هستند، برای برداشت نمونه‌های لایه‌ای خاک، استفاده از ابزاری که بتواند به راحتی در نیم‌رخ خاک قرار داده شود بدون این‌که خاک لایه‌های مختلف با یکدیگر ترکیب شوند بسیار دارای اهمیت است. در همین راستا نصرتی و همکاران (۲۰۱۵) و خدادادی و همکاران (۲۰۱۹) نیز از طرح‌های نمونه‌بردار مشابهی برای برداشت لایه‌های نیم‌رخ خاک استفاده کردند. همچنین برای برداشت نمونه‌های ترکیبی یک آگر با بلندی ۲۵ و قطر ۸/۵ سانتی‌متر طراحی و ساخته شد و در عمق ۲۵ سانتی‌متری خاک قرار داده شد و جداگانه از هر نیم‌رخ نمونه برداشت شد. ابتدا نمونه‌های خاک در داخل کوره در دمای ۱۰۵C به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفتند. از هر نمونه‌ی یکنواخت، اندازه‌ی ۲۹۳ گرم در ظروف تجاری مخصوص نگین با ابعاد مشخص برای قرار دادن در دستگاه اندازه‌گیری فعالیت سزیم-۱۳۷ ریخته شد و برای طیف‌نگاری به آزمایشگاه طیف‌سنجی (اسپکترومتري) منتقل شد تا اندازه‌ی فعالیت سزیم-۱۳۷ برحسب بکرل در کیلوگرم خاک اندازه‌گیری شود.

تبدیل فعالیت سزیم-۱۳۷ (بکرل در کیلوگرم) به موجودیت (بکرل بر مترمربع)

پس از اندازه‌گیری فعالیت سزیم-۱۳۷ (بکرل در کیلوگرم خاک)، برای محاسبه‌ی فرسایش خاک نیاز به موجودیت سزیم-۱۳۷ در متر مربع نمونه‌ی خاک است. با استفاده از رابطه‌ی (۱) ارائه شده به‌وسیله والینگ و همکاران (۲۰۰۳) اندازه‌ی موجودیت سزیم-۱۳۷ (بکرل بر مترمربع خاک) محاسبه شد.

$$CPI = 3 \sum C_i \cdot Bi \cdot Di \cdot 10 \quad 1$$

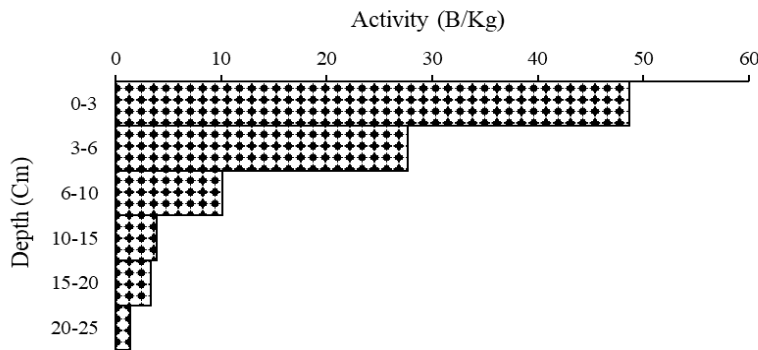
که در آن CPI اندازه‌ی موجودیت سزیم-۱۳۷ در خاک (بکرل بر مترمربع)، C_i فعالیت سزیم-۱۳۷ در خاک (بکرل در کیلوگرم)، Di عمق نمونه‌برداری (متر) و Bi جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) است.

نمونه‌ها پس از آماده‌شدن برای طیف‌گیری به آزمایشگاه طیف‌سنجی منتقل شد. برای طیف‌گیری از نمونه‌های جمع‌آوری شده از دو آشکارساز ژرمانیومی فوق خالص هم‌محور از نوع P با بازدهی نسبی ۳۸/۵ و ۵۵٪ استفاده شد. در سامانه‌ی طیف‌نگاری ۳۸/۵٪، با توجه به کارت MCA موجود، طیف‌نگاری با استفاده از نرم‌افزار تحت ویندوز AKWIN انجام شد. این نرم‌افزار دارای امکانات کافی برای تحلیل طیف‌ها نمی‌باشد. بنابراین پس از طیف‌گیری، اطلاعات

نتایج و بحث

برای این پژوهش در منطقه‌ی مرجع نمونه‌برداری لایه‌ای خاک از ۱۱ نقطه انجام شد. نمودار میانگین توزیع عمقی فعالیت سزیم-۱۳۷ برای ۱۱ نقطه‌ی نمونه‌برداری شده در شکل ۳ نشان داده شده است.

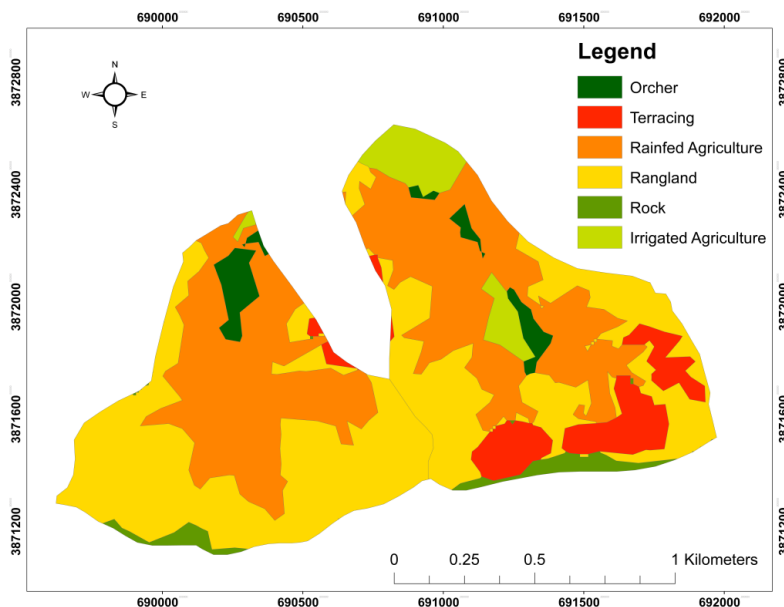
خاک به شکل نمایی کاهش می‌یابد. از طرف دیگر اندازه‌ی فرسایش خاک برای زمین‌های غیرزراعی معمولاً کمتر از زمین‌های زراعی است (هی و والینگ ۲۰۰۳).



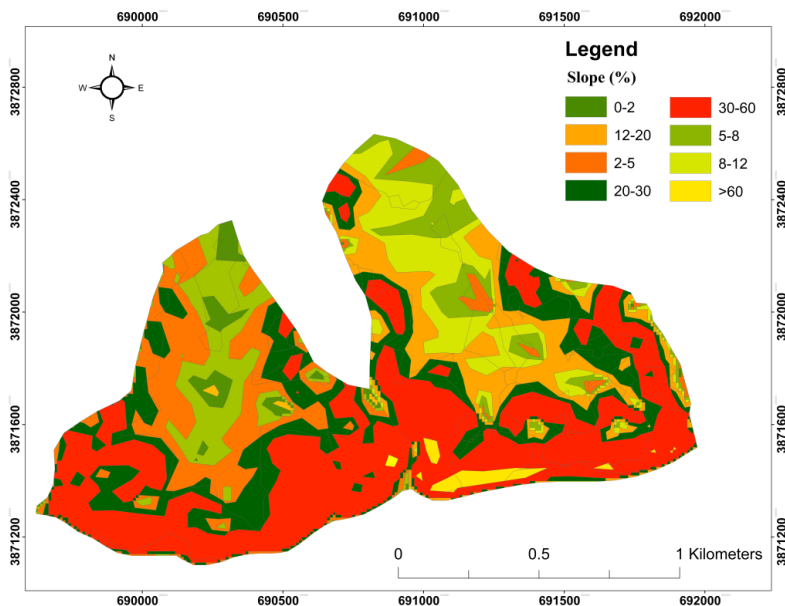
شکل ۳- میانگین توزیع عمقی فعالیت سزیم-۱۳۷ برای ۱۱ نقطه‌ی مرجع.
Figure 3- Mean Vertical Distribution of ¹³⁷Cs for 11 Reference Points.

خامسان و حتی بخش‌های وسیع‌تری از جنوب استان کردستان مناسب و قابل استناد بود. نقشه‌ی کاربری و پوشش زمین‌های زیرآبخیزهای نمونه و شاهد در آبخیز معرف خامسان به همراه نقاط نمونه‌برداری در شکل ۴ و نقشه‌ی شیب زیرآبخیزهای نمونه و شاهد به همراه نقاط نمونه‌برداری در شکل ۵ نشان داده شده است.

در منابع مختلف ذکر شده که برای استفاده از سزیم-۱۳۷ لازم است ضریب تغییرات موجودیت سزیم-۱۳۷ در نقاط نمونه‌برداری منطقه مرجع کمتر از ۳۰٪ باشد (فولاجتار و همکاران ۲۰۱۷). ضریب تغییرات برای نقاط نمونه‌برداری شده‌ی منطقه‌ی مرجع خامسان در این پژوهش ۲۹/۵۹٪ و قابل قبول بود. بنابراین انتخاب این منطقه به عنوان مرجع سزیم-۱۳۷ و برای مقایسه‌ی اندازه‌ی سزیم-۱۳۷ آبخیز



شکل ۴- نقشه‌ی کاربری/پوشش زمین‌های زیرآبخیزهای نمونه و شاهد و موقعیت نقاط نمونه‌برداری.
Figure 4- Land Use/Land Cover Map of Treated and Control Sub-Watersheds and the Location of Sampling Points.



شکل ۵- نقشه‌ی شیب زیرآب‌خیزهای نمونه و شاهد و موقعیت نقاط نمونه‌برداری.

Figure 5- Slope Map of Treated and Control Sub-Watersheds and the Location of Sampling Points.

نمونه و شاهد بودند. نتایج اندازه‌گیری جرم مخصوص ظاهری و اندازه‌ی فعالیت و موجودیت سزیم-۱۳۷ برای نقاط نمونه‌برداری شده در جدول ۲ نمایش داده شده است.

مساحت کاربری‌ها و پوشش زمین‌های موجود در زیرآب‌خیزهای نمونه و شاهد در جدول ۱ نشان داده شده است. کاربری زراعی دیم و مرتع به ترتیب دارای بیش‌ترین مساحت در زیرآب‌خیزهای

جدول ۱- مساحت کاربری/پوشش زمین‌ها (هکتار) در زیرآب‌خیزهای نمونه و شاهد آب‌خیز خامسان.

Sub-Watershed	Agriculture	Rocks	Rangeland	Rainfed	Contour trenching	Garden	Total
Treated	4.9	2.8	33.4	40.8	13.9	3.3	99.17
Control	0.3	2.9	46.4	39.8	0.7	0.2	90.30

جدول ۲- نتایج اندازه‌گیری موجودیت سزیم-۱۳۷ برای نقاط مرجع و نقاط نمونه‌برداری در زیرآب‌خیزهای نمونه و شاهد.

Table 2- Results of Measuring ¹³⁷Cs Inventories for Reference Sites and Sampling Points in Treated and Control Sub-Watersheds.

Land Use	Inventory (B/m ²)	Activity (Bq/kg)	Bulk Density (gr/cm ³)
Rangeland	3121.91	10.30	1.213
Rangeland (Incremental)	1597.63	6.36	1.004
Rangeland with Watershed Management Practices	2478.16	11.25	1.040
Rangeland with Watershed Management Practices (Incremental)	1539.68	7.92	1.555
Mean of 11 Reference Points	3566.50	16.48	1.732
	1142.47	6.24	1.465
	2760.73	15.14	0.790
	2644.80	15.09	0.890
	2982.55	24.95	1.009

پس از واسنجی مدل‌ها اندازه‌ی فرسایش و رسوب بر حسب تن در هکتار در سال برای نقاط نمونه‌برداری شده محاسبه شد. اگر موجودیت سزیم-۱۳۷ در هر نقطه کم‌تر از اندازه‌ی میانگین منطقه‌ی مرجع باشد، اعداد منفی و نشان‌دهنده‌ی فرسایش، و اگر موجودیت سزیم-۱۳۷ در نقطه‌ی برداشت خاک بیش‌تر از اندازه‌ی میانگین منطقه‌ی مرجع باشد، اعداد مثبت و بیان‌کننده‌ی رسوب‌گذاری در آن نقطه است. ویژگی نمونه‌های

بیش‌ترین اندازه‌ی جرم مخصوص ظاهری ۱/۷۳۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب مربوط به کاربری مرتع همراه با بانکت‌بندی و کم‌ترین اندازه‌ی جرم مخصوص ظاهری ۰/۷۹۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب مربوط به کاربری مرتع همراه با بانکت‌بندی در خاک نمونه‌برداری شده به صورت لایه‌ای بود (جدول ۲). کم‌ترین اندازه‌ی موجودیت سزیم-۱۳۷ مربوط به کاربری مرتع همراه با بانکت‌بندی با ۱۱۴۲/۴۷ بکرل بر مترمربع اندازه‌گیری شد.

برداشت شده، جرم مخصوص ظاهری، موجودیت سزیم-۱۳۷ داده شده است. و اندازه‌ی فرسایش و رسوب برای هر نقطه در جدول ۳ نشان

جدول ۳- محاسبه‌ی شدت فرسایش و رسوب برای نقاط نمونه‌برداری شده داخل و یا بیرون زیرآبخیزهای نمونه و شاهد در آبخیز خامسان.
Table 3- Calculating the Erosion and Sedimentation Rates for Soil Sampling Points Inside or Outside of the Treated and Control Sub-Watersheds in Khamsan Watershed.

Slope Class (%)	Sub-Watershed	Land Use	Bulk Density (gr/cm ³)	Inventory (Bq/m ²)	Erosion/Sediment (ton/ha/year)
20-30	Treated	Rangeland	1.213	3121.91	0.23
30-60			1.004	1597.63	- 0.70
20-30			1.555	1539.68	0.16
30-60	Control	Rangeland with Watershed Management Practices	1.732	3566.50	6.95
30-60			1.465	1142.47	- 0.80
30-60			0.890	2644.80	- 0.40
30-60			0.790	2760.73	- 0.30

شاهد در جدول ۴ نشان داده شده است. در نمونه خاک برداشت شده به‌روش لایه‌ای از کاربری مرتع، نیم‌رخ عمقی و اندازه‌ی موجودیت سزیم-۱۳۷ نشان می‌دهد که اگرچه به‌طور متوسط ۰/۶۰ تن در هکتار در سال فرسایش وجود داشت اما تغییرات موجودیت سزیم-۱۳۷ از سطح به عمق همچنان کاهش و به‌روش نمایی بود. این حالت به‌طور معمول در شرایطی اتفاق می‌افتد که غالبیت یا فرسایش بوده اما اندازه‌ی متوسط سالانه‌ی فرسایش زیاد نیست و به عبارت دیگر در سطح مراتع فرسایش سطحی یا ورقه‌ای غالب است.

نتایج مقایسه‌ی نقاط همانند نشان داد که در کاربری مرتع در هر دو زیرآبخیز نمونه و شاهد شرایط رسوب‌گذاری بر فرسایش غالب است. اندازه‌ی رسوب‌گذاری در کاربری مرتع همراه با اقدام‌های آبخیزداری (بانکت‌بندی، بذریاشی و قرق) در زیرآبخیز نمونه با شیب ۳۰-۲۰٪ بیش‌تر از مرتع با همان ویژگی‌ها در زیرآبخیز شاهد بود. در کاربری مرتع همراه با اقدام‌های آبخیزداری در شیب بیشتر از ۶۰-۳۰٪ شرایط فرسایشی غالب بود، اما فرسایش در شرایط حفاظت شده نسبت به نقطه‌ی همانند در زیرآبخیز شاهد کم‌تر بود. اندازه‌ی فرسایش و رسوب بر حسب تن در هکتار در سال برای نقاط همانند در زیرآبخیزهای نمونه و

جدول ۴- شدت فرسایش و رسوب نقاط همانند در زیرآبخیزهای نمونه و شاهد آبخیز خامسان.

Table 4- Erosion and Sedimentation Rates of the Corresponding Points in the Treated and Control Sub-Watersheds in Khamsan Watershed.

Land Use	Erosion/ Sediment (ton/ha/year)	
	Control Sub-Watershed	Treated Sub-Watershed*
Rangeland (slope 20-30%)	0.23	3.56
Rangeland (slope 30-60%)	- 0.70	- 0.50

*with watershed management practices

و اثر مکانیکی بانکت در کاهش سرعت رواناب و تله‌اندازی رسوب در داخل بانکت، می‌توان نتیجه گرفت که نه تنها فرسایش خاک در دامنه‌های بانکت‌بندی شده کمتر بوده، بلکه رسوب همراه با رواناب‌های سطحی و بین‌شیاری نیز در فضای بین بانکت‌ها و همچنین در داخل بانکت‌ها به دام افتاده است. نتایج فرسایش کل، رسوب‌گذاری کل و فرسایش خالص (رسوب‌دهی) در زیرآبخیزهای نمونه و شاهد آبخیز معرف خامسان بر حسب تن در هکتار در سال در جدول ۵ نشان داده شده است.

اقدام‌های آبخیزداری در کاربری مرتع در زیرآبخیز نمونه در سال ۲۰۰۰ انجام گرفته است. اقدام‌های آبخیزداری در طی ۱۸ سال پس از اجرا تأثیر مثبتی بر کاهش فرسایش (۲۸/۵۷٪) و افزایش رسوب‌گذاری (۱۴۴۵/۶۵٪) داشته است. لازم به ذکر است که اثرات بانکت‌بندی در کاهش فرسایش و انتقال رسوب فقط نتیجه‌ی کاهش حجم و سرعت رواناب در اثر ایجاد بانکت نیست، بلکه قرق و کاهش حضور و چرای دام و همچنین بذریاشی موجب افزایش مؤثر پوشش گیاهی شده و به‌طور هم‌زمان با اقدام‌های بانکت‌بندی سبب کاهش فرسایش و افزایش رسوب‌گذاری در مرتع شده است. با توجه به سرشت

جدول ۵- فرسایش و رسوب‌گذاری کل و فرسایش خالص در زیرآبخیزهای نمونه و شاهد (تن در هکتار در سال).

Table 5- Total Erosion and Sedimentation and Net Erosion in Treated and Control Sub-Watersheds (ton/ha/year).

Sub-Watershed	SDR	Net Erosion	Total Sedimentation	Total Erosion
Treated	0.00	- 2.521	4.112	1.590
Control	20.47	0.748	2.908	3.656

* علامت منفی (-) در فرسایش خالص یا رسوب‌دهی ویژه نشان‌دهنده بیش‌تر بودن رسوب‌گذاری نسبت به فرسایش در زیرآبخیز نمونه است.

برای بررسی دقیق‌تر نسبت تحویل رسوب و تغییرات آن در هر دو زیرآبخیز و با استفاده از هم‌پوشانی نقشه‌ی توزیعی فرسایش و رسوب با نقشه‌ی شیب، نسبت تحویل رسوب به تفکیک طبقه‌های مختلف شیب محاسبه شد و نتایج در جدول ۶ نشان داده شده است.

نتایج زیرآبخیز نمونه در مقایسه با زیرآبخیز شاهد نشان داد که در زیرآبخیز نمونه فرسایش با شدت کم‌تر و رسوب‌گذاری با شدت بیش‌تر رخ داده است. نتایج مقایسه‌ی نقطه به نقطه در دو زیرآبخیز نمونه و شاهد، نیز نشان‌دهنده‌ی اثر مثبت اقدام‌های آبخیزداری در کاهش فرسایش و کمک به ترسیب بیش‌تر رسوبات بود.

جدول ۶- نسبت تحویل رسوب (درصد) به تفکیک طبقه‌های مختلف شیب در زیرآبخیزهای نمونه و شاهد.

Table 6- Sediment Delivery Ratio (%) for Different Slope Classes in Treated and Control Sub-Watersheds.

Slope Class (%)	SDR (%)	
	Treated Sub-Watershed	Control Sub-Watershed
0-2	100.00	77.25
2-5	(Zero) -112.28	55.96
5-8	(Zero) -144.94	(Zero) -55.96
8-12	(Zero) -121.50	(Zero) -102.19
12-20	(Zero) -104.68	33.79
20-30	(Zero) -153.83	83.66
30-60	(Zero) -371.58	74.52
>60	(Zero) -3790.65	(Zero) -1720.00
Whole Sub-Watershed	0.00	20.47

انتخاب و اندازه‌گیری‌های نقاط پژوهش شده در منطقه‌ی مرجع است و با نتایج بسیاری از پژوهش‌گران خارج و داخل کشور از جمله نصرتی و همکاران (۲۰۱۵)، قیصری و همکاران (۲۰۱۶)، باسوکی و همکاران (۲۰۱۸)، ولاسکو (۲۰۱۹)، یوی و همکاران (۲۰۱۹)، خدادادی و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارد. در پژوهش مناطق غربی ایران، شاهویی و خالدیان (۲۰۰۵) گزارش دادند که بیش‌ترین اندازه‌ی موجودیت سزیم-۱۳۷ اندازه‌گیری شده برای محدوده سندج ۲۳۸۹، مریوان ۲۸۹۵، بانه ۲۷۲۷ و قروه ۱۳۳۰ بکرل بر مترمربع است.

رسوب‌گذاری در کاربری مرتع با شیب ۲۰-۳۰٪ در زیرآبخیز شاهد به اندازه‌ی متوسط ۰/۲۳ تن در هکتار در سال است اما فرسایش در نقطه‌ی دیگر در همین کاربری با شیب ۳۰-۶۰٪ به اندازه‌ی متوسط ۰/۷۰ تن در هکتار در سال بود. رسوب‌گذاری در کاربری مرتع همراه با اقدام‌های آبخیزداری در زیرآبخیز نمونه در نقطه‌ای با شیب ۲۰-۳۰٪ به اندازه‌ی ۰/۱۶ تن در هکتار در سال است اما در دو نقطه‌ی دیگر با شیب ۳۰-۶۰٪ به اندازه‌ی ۹۵/۶ تن در هکتار در سال رسوب‌گذاری و ۰/۸۰ تن در هکتار در سال فرسایش بود. در کاربری مرتع همراه با اقدام‌های آبخیزداری در زیرآبخیز نمونه در دو نقطه با شیب شمالی ۳۰-۶۰٪ فرسایش به‌ترتیب ۰/۴۰- و ۰/۳۰- تن در هکتار در سال است. اما در کاربری

اقدام‌های آبخیزداری در زیرآبخیز نمونه در بیش‌تر طبقه‌های شیب انتقال و تحویل رسوب را کاهش داد (جدول ۶). اگرچه تناقض‌هایی در این نتیجه‌گیری کلی به‌ویژه برای شیب‌های کم وجود دارد اما می‌توان آن را به اختلاف محلی پستی‌بلندی و یا دخالت دیگر عامل‌ها مانند شیب کم ناحیه‌ی خروجی زیرآبخیزها مرتبط دانست. اثر مثبت اقدام‌های آبخیزداری به ویژه بانکت‌بندی بر افزایش تله‌اندازی و کاهش نسبت تحویل رسوب به پایین‌دست دامنه‌ها در کل قابل نتیجه‌گیری است (خدادادی و همکاران ۲۰۱۹).

در این پژوهش میانگین موجودیت سزیم-۱۳۷ برای نقاط نمونه‌برداری شده در منطقه‌ی مرجع ۲۹۸۲/۵۵ بکرل بر مترمربع و ضریب تغییرات ۲۹/۵۹٪ محاسبه شد. براساس گزارش ایوانو و همکاران (۲۰۱۵)، فولاجتار و همکاران (۲۰۱۷) ضریب تغییرات کمتر از ۳۰٪ به این معنی است که منطقه‌ی مرجع انتخاب شده از نظر ضریب تغییرات موجودیت سزیم-۱۳۷ مناسب و قابل استناد بوده است.

موجودیت سزیم-۱۳۷ در نیم‌رخ عمقی و نیم‌رخ میانگین ۱۱ نقطه‌ی پژوهش شده در منطقه‌ی مرجع نشان داد که موجودیت سزیم-۱۳۷ از سطح به عمق به‌شکل نمایی کاهش و بیش‌ترین اندازه‌ی موجودیت سزیم-۱۳۷ مربوط به لایه‌ی ۰-۳ سانتی‌متر خاک است. این نتیجه نشان‌دهنده‌ی صحت

است. نتایج برخی پژوهش‌گران از جمله زاپاتا (۲۰۰۳) و ژانگ و همکاران (۲۰۱۹) نیز نشان داد که بیش‌ترین اندازه‌ی موجودیت سزیم ۱۳۷- برای منطقه‌ی دست‌نخورده عمق ۱۵-۱۰ سانتی‌متر است و دلیل اختلاف نتایج می‌تواند ویژگی‌های خاک در نقاط مختلف باشد که منجر به شدت‌های مختلف آبشویی حتی در بارندگی‌های یکسان شود.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که فرسایش ناخالص یا کل در زیرآبخیز نمونه ۱/۵۹ و در زیرآبخیز شاهد ۳/۶۵ تن در هکتار در سال است و اندازه‌ی رسوب‌گذاری کل در زیرآبخیز نمونه ۴/۱۱ و در زیرآبخیز شاهد ۲/۹۰ تن در هکتار در سال است. از این رو با تفاضل رسوب کل و فرسایش کل، اندازه‌ی فرسایش خالص یا رسوب‌دهی ویژه در زیرآبخیز نمونه ۲/۵۲- و در زیرآبخیز شاهد ۰/۷۴ تن در هکتار در سال محاسبه شد. با توجه به مفهوم نسبت تحویل رسوب، نتایج نشان داد در زیرآبخیز نمونه شرایط به‌شکلی است که در عمل رسوبی از فرسایش خاک دامنه‌ها به خروجی نمی‌رسد. البته ممکن است اندازه‌ی کمی رسوب از فرسایش خاک در دامنه‌ها به شبکه‌ی آبراهه‌ها رسیده و سرانجام به خروجی منتقل شود. نتایج کاربرد سزیم-۱۳۷ برای محاسبه‌ی نسبت تحویل رسوب کلیت موضوع را نشان داده و توانایی اصلی آن در نشان دادن موقعیت سطوح بحرانی فرسایش و همچنین سطوح اصلی تله‌اندازی رسوب است.

براساس نتایج این پژوهش اندازه‌ی فرسایش و رسوب‌گذاری در کاربری مرتع با شیب ۳۰-۲۰٪ نشان داد که در هر دو زیرآبخیز نمونه و شاهد رسوب‌گذاری حاکم است. اما در مرتع همراه با اقدام‌های آبخیزداری در زیرآبخیز نمونه، افزایش اندازه‌ی رسوب‌گذاری ۱۴۴۵/۶۵٪ بود که در مقایسه با مرتع بدون اقدام‌های حفاظتی در زیرآبخیز شاهد نشان‌دهنده‌ی تأثیر مثبت اقدام‌های آبخیزداری در مراتع زیرآبخیز نمونه با شیب ۳۰-۲۰٪ است. این یافته نشان‌دهنده‌ی اثر ویژه‌ی بانکت‌بندی بر افزایش تله‌اندازی رسوب و همچنین کاهش حجم و سرعت رواناب و سرانجام کاهش قدرت انتقال رسوب است. همچنین در هر دو زیرآبخیز نمونه و شاهد در شیب ۳۰-۶۰٪ شرایط فرسایش حاکم است، اما با اقدام‌های آبخیزداری در کاربری مرتع در زیرآبخیز نمونه نسبت به نقطه‌ی همانند در زیرآبخیز شاهد فرسایش خاک ۲۸/۵۷٪ کاهش یافت. نتایج پژوهش خدادادی و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که اقدام‌های حفاظت خاک، در کاهش فرسایش در مقایسه با مناطق بدون اقدام‌های حفاظتی موثر بوده است. همچنین زاپاتا (۲۰۰۳) با بررسی شیب‌های مختلف دریافت که در شیب کم‌تر از ۲۰٪ به دلیل خاک‌ورزی زیاد اندازه

مرتع زیرآبخیزهای دیگر با شیب شمالی ۳۰-۶۰٪ فرسایش ۰/۶۰ تن در هکتار در سال بود. سرانجام می‌توان گزارش کرد که در کاربری مرتع در هر دو زیرآبخیز نمونه و شاهد شرایط رسوب‌گذاری بر فرسایش غالبیت داشت با این تفاوت که اندازه‌ی رسوب‌گذاری در کاربری مرتع همراه با اقدام‌های آبخیزداری (بانکت‌بندی) در زیرآبخیز نمونه با شیب ۳۰-۲۰٪ بیش‌تر از مرتع با همان ویژگی‌ها در زیرآبخیز شاهد است. اگرچه در کاربری مرتع همراه با اقدام‌های آبخیزداری در شیب بیشتر از ۳۰-۶۰٪ شرایط فرسایشی غالب بود اما فرسایش در شرایط حفاظت شده نسبت به نقطه‌ی همانند در زیرآبخیز شاهد کم‌تر است. نتایج پژوهش توچارپولوس و همکاران (۲۰۰۳)، در مناطق کشاورزی نشان داد که اندازه‌ی فرسایش و رسوب همبستگی زیادی با P خاک، k خاک، بلندی از سطح دریا، شیب منطقه و اندازه‌ی رس و ماده‌ی آلی خاک دارد.

اندازه‌ی موجودیت سزیم-۱۳۷ در نیم‌رخ عمقی خاک کاربری مرتع (بدون اقدام‌های حفاظتی) نشان داد که اگرچه فرسایش به‌طور متوسط ۰/۶۰ تن در هکتار در سال بود اما تغییرات موجودیت سزیم-۱۳۷ روند طبیعی داشت و از سطح به عمق به‌شکل نمایی کاهش یافت. به طوری که بیش‌ترین موجودیت سزیم-۱۳۷ در عمق ۳-۰ سانتی‌متری و کم‌ترین موجودیت در ۲۵-۲۰ سانتی‌متری مشاهده شد. این روند طبیعی و کاهش از سطح به عمق نشان‌دهنده‌ی آن است که این نیم‌رخ از بدو ورود سزیم-۱۳۷ به خاک دست‌نخورده و بدون جابه‌جایی خاک باقی مانده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که فرسایش‌های عمیق در آن اتفاق نیفتاده و فرآیند غالب در مراتع آبخیز خامسان فرسایش سطحی یا ورقه‌ای بوده است. در کاربری مرتع همراه با اقدام‌های آبخیزداری دو نمونه به صورت لایه‌ای تهیه شد که در نمونه اول نیم‌رخ تغییرات موجودیت سزیم-۱۳۷ از سطح به عمق به‌شکل نمایی و کاهش بود و بیش‌ترین اندازه‌ی موجودیت در عمق ۳-۰ سانتی‌متری مشاهده شد و در عمق‌های ۲۰-۱۵ و ۲۵-۲۰ سانتی‌متری سزیم-۱۳۷ موجود نبود. این یافته سرانجام نشان‌دهنده‌ی عبور رواناب کم‌تر و فرسایش سطحی مهار شده است که سبب شده سزیم-۱۳۷ بیش‌تر در لایه سطحی خاک باقی بماند و آبشویی کم‌تری رخ دهد. در نیم‌رخ کاربری مرتع همراه با اقدام‌های آبخیزداری نتایج نشان داد که کاهش فعالیت سزیم-۱۳۷ از سطح به عمق روند نمایی نداشت و بیش‌ترین اندازه در عمق ۱۰-۶ سانتی‌متری مشاهده شد ولی از این عمق به پایین کاهش با روندی طبیعی، به‌شکل نمایی بود. این روند موجودیت سزیم-۱۳۷ نشان‌دهنده‌ی جابه‌جایی خاک در لایه‌های ۳-۰ و ۶-۳ سانتی‌متری بود که ناشی از اجرای بانکت یا فعالیت طبیعی موجودات زنده و به‌دنبال آن جابه‌جایی خاک سطحی

است. در واقع پس از ۱۸ سال از اجرای اقدام‌های آبخیزداری در زیرآبخیز نمونه متوسط فرسایش در سطوح فرسایشی کاهش و متوسط رسوب‌گذاری در سطوح رسوبی افزایش یافت. ذکر این نکته الزامی است که داده‌های فرسایش و رسوب اندازه‌گیری شده با روش سزیم-۱۳۷ یک عدد متوسط مربوط به دوره ۶۰ ساله است در حالی که از اجرای اقدام‌های آبخیزداری فقط ۱۸ سال می‌گذرد. اگرچه پس از گذشت زمان شیار ایجاد شده در بانکت‌بندی پر شده و کارایی تله‌اندازی رسوب در بانکت کاهش یافته، اما به دلیل تغییر شیب هرچند جزئی در محل بانکت همچنان سرعت رواناب در این محدوده کاهش می‌یابد، ضمن اینکه اثر پایدارتر بانکت بر تقویت پوشش گیاهی بسیار بلندمدت‌تر است، از این رو می‌توان گفت که با گذشت زمان ممکن است اثر حفاظتی اقدام‌های آبخیزداری مشهودتر شود. با توجه به عملکرد مثبت اقدام‌های آبخیزداری به‌ویژه بانکت‌بندی، پیشنهاد می‌شود از این اقدامات در سایر آبخیزهای مشابه با آبخیز معرف خامسان نیز استفاده شود. همچنین پیشنهاد می‌شود که پژوهش‌های مشابه در سایر آبخیزهای معرف کشور نیز انجام و یافته‌ها با هم مقایسه شود.

فرسایش بیشتر از زمین‌های با شیب بیشتر از ۲۰٪ می‌باشد. در همین راستا نتایج پژوهش صدیقی و همکاران (۲۰۲۱) در آبخیز خامسان نشان داد که حداکثر اندازه‌ی فرسایش خالص مربوط به شیب‌های متوسط و یا کمتر از ۲۰٪ بوده است که نشان‌دهنده‌ی نقش کاربری زمین و شیب بر اندازه‌ی فرسایش است. همچنین در این پژوهش که هدف اصلی آن ارزیابی عملکرد اقدام‌های حفاظتی بود، در کاربری مرتع همراه با اقدام‌های آبخیزداری در سطوح با شیب ۳۰-۲۰٪ تأثیر مثبت اقدام‌های آبخیزداری به‌خوبی مشاهده شد. از طرف دیگر اقدام‌های آبخیزداری توانست اندازه‌ی متوسط رسوب‌گذاری را از ۰/۲۳ تن در هکتار در سال در مرتع بدون اقدام‌های حفاظتی را به اندازه‌ی متوسط رسوب‌گذاری ۳/۵۶ تن در هکتار در سال برساند. در هر دو زیرآبخیز نمونه و شاهد در مراتع با شیب ۶۰-۳۰٪ فرسایش وجود داشت. در این شرایط نیز تأثیر مثبت اقدام‌های حفاظتی مشاهده شد زیرا فرسایش متوسط ۰/۷۰ تن در هکتار در سال را به ۰/۵۰ تن در هکتار در سال کاهش داد. براساس نتایج بخش‌های بالایی، فرسایش در هر دو زیرآبخیز با کاربری مرتع، ۷-۴ تن در هکتار در سال است، در حالی که بخش‌های میانی عمدتاً با کاربری کشاورزی دیم دارای فرسایش بیشتر (۱۷-۴ تن در هکتار در سال)

فهرست منابع

- Arata L, Meusburger K, Frenkel E, A'Campo-Neuen A, Iurian AR, Ketterer ME, Mabit L, Alewell C. 2016. Modelling deposition and Erosion rates with RadioNuclides (MODERN)–Part 1: A new conversion model to derive soil redistribution rates from inventories of fallout radionuclides, *Journal of Environmental Radioactivity*, 162: 45-55.
- Arata Meusburger K, Bürge A, Zehring M, Ketterer ME, Mabit L, Alewell C. 2017. Decision support for the selection of reference sites using ¹³⁷Cs as a soil erosion tracer, *Soil*, 3(3): 113-122.
- Basuki T, Miyashita S, Tsujimoto M, Nakashima S. 2018. Deposition density of ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs and particle size distribution of soil and sediment profile in Hibara Lake area. Fukushima: An investigation of ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs indirect deposition into lake from surrounding area, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 316(3): 1039-1046.
- 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*, 104(3-4): 105-116.
- Blanco H, Lal R. 2008: *Principles of Soil Conservation and Management*: Springer Science+ Business Media BV p 626.
- Borrelli P, Robinson DA, Fleischer LR, Lugato E, Ballabio C, Alewell C, Meusburger K, Modugno S, Schütt B, Ferro V, Bagarello V. 2017. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion, *Nature Communications*, 8(1): 1-13.
- Ellison WD. 1947. Soil erosion studies, Part II, *Agricultural Engineering*, 1(28): 197-201.
- Estrany J, Garcia C, Martínez-Carreras N, Walling DE. 2012. A suspended sediment budget for the agricultural Can Revull catchment (Mallorca, Spain), *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementary Issues*, 56(3): 169-193.
- Fulajtar E, Mabit L, Renschler CS. Zhi Yi AL. 2017. Use of ¹³⁷Cs for soil erosion assessment. *FAO-IAEA*.
- Gheysari F, Ayoubi S, Abdi M. 2016. Using Cesium-137 to estimate soil particle redistribution by wind in an arid region of central Iran, *Eurasian Journal of Soil Science*, 5(4): 285-293.
- He Q, Walling DE. 2003. Testing distributed soil erosion and sediment delivery models using ¹³⁷Cs measurements, *Hydrological Processes*, 17(5): 901-916.
- Heydari M, Zahmatkesh Maromi H, Karam A. 2022. Soil erosion hazard Zonation using SLEMSA model in the Ziarat catchment, *Researches in Earth Sciences*, 12(4): 50-67. (In Persian).
- Ivanov M, Golosov V, Shamsurina E. 2015. Evaluation of optimal number of soil samples for detail reconstruction of initial field of ¹³⁷Cs fallout in Chernobyl affected areas, *Eurasian Journal of Soil Science*, 4(4): 227-233.
- Jin F, Yang W, Fu J, Li Z. 2021. Effects of vegetation and climate on the changes of soil erosion in the Loess Plateau of China, *Science of The Total Environment*, 773: 145514.
- 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 Sedi-*

- ments, 19(4): 2103-2113.
- Li M, Li Z, Yao W, Liu P. 2009. Estimating the erosion and deposition rate in a small watershed by the ¹³⁷Cs tracing method, *Applied Radiation and Isotopes*, 67(2): 362-366.
- Loughran RJ, Pennock DJ, Walling DE. 2002. Spatial distribution of caesium-137. In: Zapata, F. (Ed.), *Handbook for the Assessment of Soil Erosion and Sedimentation Using Environmental Radionuclides*. Springer, Netherlands, pp. 97-109.
- Mabit L, Bernard C, Laverdier. M.. 2007. Assessment of erosion in the Boyer River watershed (Canada) using a GIS oriented sampling strategy and ¹³⁷Cs measurements, *Catena*, 71(2): 242-249.
- Mabit L, Klik A, Benmansour M, Toloza A, Geisler A, Gerstmann UC. 2009. Assessment of erosion and deposition rates within an Austrian agricultural watershed by combining ¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb and conventional measurements, *Geoderma*, 150(3-4): 231-239.
- Nikkami D, Shadfar S. 2021. Soil erosion mapping in sediment gauged watersheds of Iran, *Watershed Engineering and Management*, 13(2): 479-496. (In Persian).
- 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*, 243-244: 29-40.
- Olson KR, Gennadiyev AN, Zhidkin AP, Markelov MV, Golosov VN, Lang JM. 2013. Use of magnetic tracer and radiocesium methods to determine past cropland soil erosion amounts and rates, *Catena*, 104: 103-110.
- Petrovic J, Dragovic S, Dragovic R, ĐorCević M, Đokic M, Zlatkovic B, Walling D. 2016. Using ¹³⁷Cs measurements to estimate soil erosion rates in the Pcinja and South Morava River Basins, southeastern Serbia, *Journal of Environmental Radioactivity*, 158-159: 71-80.
- Sedighi F, Khaledi Darvishan A, Zare MR. 2021. Effect of watershed geomorphological characteristics on sediment redistribution, *Geomorphology*, 375: 107559.
- Shahoei S, Khaledian H. 2005. Relation of ¹³⁷Cs fallout with annual precipitation in northwestern Iran, *Iranian Journal of Soil and Waters Sciences*, 19(1): 77-86. (In Persian).
- Theocharopoulos SP, Florou H, Walling DE, Kalantzos H, Christou M, Tountas P, Nikolaou T. 2003. Soil erosion and deposition rates in a cultivated catchment area in central Greece, estimated using the ¹³⁷Cs technique, *Soil and Tillage Research*, 69(1-2): 153-162.
- Velasco H. 2019. Modifications in the gamma dose rate in air due to downward and lateral mobility of ¹³⁷Cs in the soil, *Journal of Environmental Radioactivity*, 198(1): 159-164.
- Walling DE, He Q, Whelan PA. 2003. Using ¹³⁷Cs measurements to validate the application of the AGNPS and ANSWERS erosion and sediment yield models in two small Devon catchments, *Soil and 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, Quine TA. 1991. Use of ¹³⁷Cs measurements to investigate soil erosion on arable fields in the UK: Potential applications and limitations, *European Journal of Soil Science*, 42(1): 147-165.
- Walling DE, Zhang Y, He Q. 2007. Models

- for converting measurements of environmental radionuclide inventories (^{137}Cs , Excess ^{210}Pb , and ^7Be) to estimates of soil erosion and deposition rates (including software for model implementation). University of Exeter, UK.
- Yue Y, Keli Z, Liang L, Qianhong M, Jianyong L. 2019. Estimating long-term erosion and sedimentation rate on farmland using magnetic susceptibility in northeast China, *Soil and Tillage Research*, 187: 41-49.
- Zapata F. 2003. The use of environmental radionuclides as tracers in soil erosion and sedimentation investigations: recent advances and future developments, *Soil and Tillage Research*, 69(1-2): 3-13.
- Zhang J, Yang M, Deng X, Liu Z, Zhang F. 2019. The effects of tillage on sheet erosion on sloping fields in the wind-water erosion crisscross region of the Chinese Loess Plateau, *Soil and Tillage Research*, 187: 235-245.
- Zhang John XC, Zhanga GH, Liuc BL, Liud B. 2016. Using Cesium-137 to quantify sediment source contribution and uncertainty in a small watershed, *Catena*, 140: 116-124.



Performance Evaluation of Watershed Management Measures in Reducing Soil Erosion in treated and control sub-watersheds of Khamsan Representative Watershed using Cs-137 Method

Hamid Khodamoradi¹, Abdulvahed Khaledi Darvishan^{*2}, Seyed Hamid Reza Sadeghi³

- 1- Former Master Student, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran
- 2- Associate Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran
- 3- Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

Extended Abstract

Introduction and Objective

Soil is a part of every ecosystem and one of the most valuable and important sources of food production in every country, which plays a significant role in the continuation of human life. Today, soil erosion is one of the most important threats to water and soil resources and has become one of the most important human environmental problems. Soil supports food security and environmental quality, both of which are essential for human life. The purpose of this research was to evaluate the performance of watershed management measures in the treated sub-watershed of Khamsan representative watershed. The lake of Gavshan Reservoir has receded at the maximum level to the outlet of the Khamsan watershed. This has caused soil erosion from this watershed to enter the Gavshan dam lake directly and with the shortest distance. Therefore, it is very important to evaluate the performance of the measures taken in this watershed, especially based on the distribution map of erosion and sedimentation.

Materials and Methods

The first step of measuring soil erosion using cesium-137 is to select a control or reference area.

Article Type: Research Article

*Corresponding Author E-mail: a.khaledi@modares.ac.ir

Citation: Khodamoradi, H., Khaledi Darvishan, A., Sadeghi, S.H.R. 2023. Performance Evaluation of Watershed Management Measures in Reducing Soil Erosion in treated and control sub-watersheds of Khamsan Representative Watershed using Cs-137 Method. *Watershed Management Research*. 36(2): 2-17.

DOI: 10.22092/wmrj.2022.358701.1474

Received: 18 May 2022, **Received in revised form:** 12 July 2022, **Accepted:** 21 September 2022,

Published online: 22 June 2023

Watershed Management Research, VOL. 36, No. 2, Ser. No: 139, Summer 2023, pp. 2-17.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center ©Author(s)



Slope and land use maps were used to determine the final sampling points in this research. After measuring the activity of cesium-137 (becquerels per kilogram of soil), the presence of cesium-137 per square meter of soil sample is needed to calculate soil erosion. The activity of cesium-137 in reference points was compared with the activity of cesium-137 remaining in the research points. If the cesium-137 activity of the soil samples was lower than the activity in the reference profile, soil loss and erosion occurred. The increase in the activity of cesium-137 in the soil samples compared to the reference profile was indicative of soil transfer to the sampling point and considered as a sedimentation site.

Results and Discussion

The results of the comparison of the same points in the rangelands in both treated and control sub-watersheds showed that sedimentation conditions prevail over erosion. The amount of sedimentation in the rangelands with watershed management measures (contour trenching, seeding and enclosure) in the treated sub-watershed with a slope of 20-30% was more than the rangeland with the same characteristics in the control sub-watershed. In rangeland with watershed management measures, erosion conditions prevailed in the slope of more than 30-60%, but erosion in protected conditions was less compared to the same point in the control sub-watershed.

Conclusion and Suggestions

The results of the amount of erosion and sedimentation in both treated and control sub-watersheds in rangeland with a slope of 20-30% showed that sedimentation conditions prevail. However, the amount of sediment deposition in the rangeland with watershed management measures in the treated sub-watershed showed an increase of 1445.65% compared to the rangeland without protective measures in the control sub-watershed, which indicates the positive effect of watershed management measures in the treated sub-watershed rangelands with a slope of 20-30%. This finding shows the special effect of contour trenching on increasing sediment trapping, reducing the volume and speed of runoff, and thus reducing the power of sediment transfer. Also, in the slope of 30-60%, although erosion conditions prevailed in both treated and control sub-watersheds, watershed management measures in rangeland in the treated sub-watershed showed a 28.57% reduction in soil erosion compared to the same point in the control sub-watershed. Considering the positive performance of watershed management measures, especially contour trenching, it is suggested to use these measures in other watersheds similar to Khamsan representative watershed.

Key word: Contour trenching, enclosure, sediment delivery ratio, sediment yield, spatial distribution of erosion