

## امکان سنجی استفاده از رادیونوکلئید سزیم-۱۳۷ در تخمین فرسایش خاک‌های حوزه آبخیز شصت کلا استان گلستان

نیلوفر بابانژاد<sup>۱</sup>، \*فرشاد کیانی<sup>۲</sup>، عبدالمجید ایزدپناه<sup>۳</sup>، فرهاد خرمالی<sup>۴</sup> و فرید اصغری زاده<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup>دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،  
<sup>۲</sup>دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، آستادیار گروه فیزیک، دانشگاه گلستان،  
<sup>۳</sup>استاد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،<sup>۴</sup>کارشناس ارشد فیزیک هسته‌ای سازمان انرژی اتمی کشور  
تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۲/۱۷

### چکیده

**سابقه و هدف:** فرسایش خاک جدی‌ترین و غیرقابل برگشت‌ترین تهدید برای توسعه پایدار در هر منطقه است. رادیوسزیم در اثر انجام آزمایش‌های هسته‌ای دهه‌های گذشته تولید و وارد استراتوسفر شده است و سپس همراه نزولات جوی به سطح زمین رسیده است. اهمیت این رادیونوکلئید در مطالعات فرسایش خاک به دلیل جذب آن توسط بخش رس خاک است به نحوی که به سختی قابل تبادل می‌باشد.

**مواد و روش‌ها:** به منظور بررسی امکان استفاده از عنصر سزیم-۱۳۷ برای تخمین فرسایش در خاک‌های جنگلی و غیرجنگلی روی سازندهای زمین‌شناسی متفاوت، شش منطقه با کاربری جنگل و زراعی در سازندهای لسی، ژوراسیک و لس آبرفتی انتخاب و نمونه‌برداری از سطح تا عمق ۱۰۰ سانتی متری خاک صورت گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که سزیم-۱۳۷ از سطح تا عمق ۴۰ سانتی متر در این خاک‌ها پیشروی نموده است. پراکنش عمودی سزیم در نیم‌رخ خاک نشان داد که در نیم‌رخ‌های مورد مطالعه در مناطق جنگلی با افزایش عمق میزان سزیم خاک کاهش می‌یابد نشان‌دهنده پایداری و عدم بهم خوردگی خاک در این مناطق می‌باشد در حالی تغییرات سزیم در مناطق زارعی با عمق به صورت نامنظم می‌باشد. همچنین بین ماده آلی خاک با سزیم همبستگی مثبت در سطح ۵ درصد به دست آمد. میزان فرسایش در کاربری‌های و سازندهای مختلف زمین‌شناسی بین ۱۸ تا ۴۷ تن بر هکتار در سال به دست آمد.

**نتیجه‌گیری:** به طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری نمود که استفاده از روش اندازه‌گیری سزیم-۱۳۷ در اندازه‌گیری میزان فرسایش خاک، می‌تواند به عنوان روش سریع و با دقت مناسب برای برآورد فرسایش و رسوب به کار گرفته شود. همچنین امکان اندازه‌گیری شدت فرسایش خاک را در دوره‌های چندین ساله میسر می‌سازد.

**واژه‌های کلیدی:** سزیم، فرسایش خاک، کاربری اراضی، استان گلستان

\* مسئول مکاتبه: [kiani@gau.ac.ir](mailto:kiani@gau.ac.ir)

## مقدمه

فرسایش خاک یکی از مشکلات مهم در عصر حاضر به‌شمار می‌رود، که نتیجه آن عدم امنیت غذایی و پیامدهای متفاوت زیست‌محیطی است (۱۲). هدررفت خاک یکی از اساسی‌ترین معضلات زیست‌محیطی، کشاورزی و تولید غذا در جهان است که اثرات مخربی بر تمامی اکوسیستم‌های طبیعی و تحت مدیریت انسان دارد (۷ و ۲۸). امروزه افزایش شدت فرسایش در حوزه‌های آبخیز کشور و ترسیب رسوبات ناشی از آن در رودخانه‌ها، نهرهای آبرسانی اراضی زراعی و مخازن سدهای ذخیره آب یکی از دغدغه‌های کشاورزان و مدیران ذیربط در جهان و ایران شده است. نمونه‌های فراوانی از مشکلات ناشی از رخداد فرسایش و تولید رسوب را می‌توان نام برد به‌طور مثال حجم سالانه رسوبات به مخزن سد سفیدرود حدود ۳۸ میلیون مترمکعب است میانگین فرسایش سالانه در کشور ۱۶/۸ تن در هکتار می‌باشد و هر ساله ۲ میلیارد تن خاک سرزمین از دست می‌رود این در حالی است که برخی از آمارهای غیررسمی میزان فرسایش خاک را سالانه ۲۰ تن در هکتار در سال ذکر کرده‌اند (۱۹).

نظر به اهمیت فرسایش، برای محاسبه فرسایش خاک روش‌ها، معادلات، مدل‌های تجربی و فرآیندی زیادی توسط پژوهشگران توسعه یافته‌اند. یکی از روش‌های محاسبه فرسایش خاک استفاده از عنصر رادیونوکلوئید سزیم ۱۳۷ است (۱۸ و ۲۰). سزیم-۱۳۷ یک رادیونوکلوئید مصنوعی با تشعشع گاما و بتا با نیمه‌عمر ۳۰/۱۷ سال است که در اثر انجام آزمایش‌های هسته‌ای دهه‌های گذشته (خلال سال‌های ۱۹۵۰ تا ۱۹۶۰) تولید و وارد استراتوسفر شده است و پس از توزیع در آن، سپس به لایه تروپوسفر منتقل و همراه نزولات جوی به سطح زمین رسیده است (۵۰). سزیم ۱۳۷ به سرعت جذب ذرات ریز (رس و ماده آلی)

افق سطحی خاک خاک می‌شود (۴۵). اهمیت این رادیونوکلوئید در مطالعات فرسایش خاک به‌دلیل تحرک بسیار اندک سزیم ۱۳۷ در خاک به‌صورت شیمیایی و بیولوژیکی بوده و تنها به‌صورت فیزیکی همراه ذرات کلوئیدی در خاک جابجا می‌شود (۱). پراکنش مجدد آن اصولاً همراه به تحولات فیزیکی در خاک مانند فرسایش و شخم می‌باشد، همچنین به سبب نیمه‌عمر طولانی و نگهداری آن در لایه سطحی می‌تواند به‌عنوان یک ردیاب مناسب برای تعیین جابجایی خاک از طریق فرسایش آبی و یا بادی مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین توزیع این رادیوایزوتوپ در خاک می‌تواند بازتاب مستقیمی از فرسایش و رسوب ذرات خاک باشد (۱۳ و ۲۷).

از دلایل عمده استفاده از این عنصر برای ردیابی می‌توان به الگوی توزیع زمانی، سهولت در اندازه‌گیری و نیمه‌عمر آن اشاره کرد. این رادیوایزوتوپ به‌صورت طبیعی در محیط وجود ندارد بنابراین زمان ورود آن به محیط می‌تواند به‌عنوان زمان مبنا برای مطالعات فرسایش و رسوب‌گذاری مورد استفاده قرار گیرد (۴۴ و ۴۵). سهولت و سرعت نمونه‌برداری در این روش (سزیم-۱۳۷) نسبت به سایر روش‌های اندازه‌گیری فرسایش بیش‌تر است و به حداقل عملیات میدانی و تعداد دفعات کم‌تر بازدید از اراضی نیاز دارد. این روش یک روش غیرمستقیم برای اندازه‌گیری میزان تلفات خاک و توزیع رسوب در اکثر مناطق و در زمان‌های مختلف و بدون نیاز به بررسی طولانی‌مدت و پرهزینه می‌باشد (۲۴). اولین تلاش‌ها برای استفاده از سزیم برای مطالعه فرسایش و حرکت خاک توسط یاماگاتا و همکاران (۱۹۶۳)، روگوسکی و تمورا (۱۹۷۰) صورت گرفت. ایشان ارتباط معنی‌داری بین هدررفت خاک و هدررفت سزیم را گزارش کردند (۳۱ و ۴۹). زاپاتا و همکاران (۲۰۰۳) با روش سزیم-۱۳۷ میزان فرسایش و رسوب

نشان دادند که روش هسته‌ای اندازه‌گیری سزیم-۱۳۷ در برآورد فرسایش و رسوب خاک، روش کمی و دقیق است که امکان محاسبه شدت فرسایش خاک و مقدار فرسایش خالص را در دوره‌های چندین ساله میسر می‌سازد (۲). سید علیپور و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی هدررفت خاک توسط روش سزیم-۱۳۷ و مدل RUSLE-3D در حوزه آبخیز آق‌امام گزارش کردند که نتایج ناشی از مقایسه روش سزیم ۱۳۷ با مدل RUSLE-3D دارای همبستگی پایینی است که عدم تناسب مدل مذکور را برای پیش‌بینی فرسایش نهشته‌های لسی نشان می‌دهد (۳۳). براتی (۲۰۱۱) پژوهشی با هدف پیش‌بینی مکانی توزیع سزیم-۱۳۷ به‌عنوان شاخصی از فرسایش و رسوب و بررسی وضعیت فرسایش مواد زمین‌شناسی در مارن‌های شمالی طالقان انجام دادند میزان فرسایش ناشی از مارن را  $12/38-22/73$  تن بر هکتار در سال تعیین کردند (۵). خواجه‌وی و همکاران (۲۰۱۵) دو روش سزیم-۱۳۷ و روش پلات آزمایشی از ارقام اندازه‌گیری‌شده در ایران را در برآورد فرسایش و تلفات خاک در کاربری و شیب‌های مختلف مقایسه نمودند و به این نتیجه رسیدند که اراضی جنگلی کم‌ترین مقدار فرسایش و پس از آن اراضی مرتعی و دیم‌زارها جای دارند. همچنین بیش‌ترین میزان فرسایش و تلفات خاک را در شیب ۱۲-۱/۵ درصد رخ داده است و بیان نمودند که کاهش نرخ فرسایش در شیب‌های تندتر به احتمال زیاد ناشی از فرسایش پوشش سنگریزه سطحی است (۱۹).

با توجه به مدیریت نامناسب اراضی کشاورزی و همچنین تخریب اراضی جنگلی به زمین‌های زارعی در استان گلستان، تخمین دقیق فرسایش خاک در این اراضی از اهمیت زیادی برخوردار است. به‌دلیل قابلیت روش سزیم در اندازه‌گیری میزان فرسایش

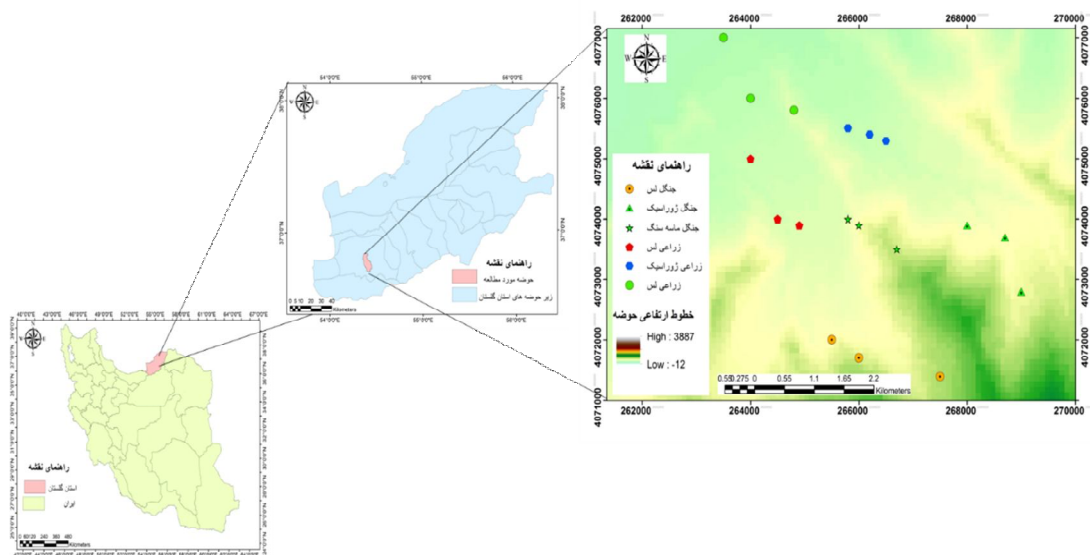
را در یک حوضه بررسی نمودند و دریافتند که این روش جهت مطالعه فرسایش و رسوب در سطح حوضه بسیار مناسب می‌باشد (۵۰). ماتیسوف و همکاران (۲۰۰۱) در حوضه‌ای به مساحت ۷۰ کیلومتر مربع در اوهایو ایالات متحده با استفاده از روش سزیم-۱۳۷، سرب-۲۱۰ و بریلیم-۷ تأثیر شخم و مدیریت بدون شخم، میزان فرسایش و رسوب را در دوره زمانی کوتاه مورد بررسی قرار داده و دریافتند که میزان فرسایش در اراضی شخم خورده بیش‌تر است (۲۳). دوارینگ و همکاران (۲۰۰۶) جهت ارزیابی فرسایش و رسوب در منطقه‌ای با پوشش علفی در ایالت کوینزلند استرالیا با استفاده از روش سزیم-۱۳۷ و سرب-۲۱۰ و بریلیم-۷ دریافتند که این روش برای تخمین سرعت فرسایش در این ناحیه مفید است. همچنین بیان کردند که توزیع عمقی بریلیم و سرب به‌صورت لگاریتمی، ولی توزیع عمقی سزیم به‌صورت خطی است (۱۰). اسمیت و دراگوچی (۲۰۰۸) در اراضی مرتفع جنوب‌شرقی استرالیا، جهت افزایش دقت در سنجش منبع رسوب و تشخیص فرآیندهای فرسایش در نقاط مختلف حوضه، از روش سرب-۲۱۰ و سزیم-۱۳۷ استفاده نمودند و این روش را بسیار مناسب اعلام نمودند (۳۷). پژوهش‌های بسیاری در ارتباط استفاده سزیم در مطالعات فرسایش صورت گرفته است، از جمله متین‌فر و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از روش سزیم-۱۳۷ میزان متوسط فرسایش خاک در موقعیت‌های شیب مرکب بالای تپه، شانه شیب، و شیب برگشتی به‌ترتیب  $31/74$ ،  $66/28$  و  $67/77$  و در موقعیت‌های شیب یکنواخت به‌ترتیب  $78/60$ ،  $54/47$  و  $79/54$  تن در هکتار در سال اندازه‌گیری نمودند (۲۲). عباس‌زاده افشار و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی میزان فرسایش و رسوب با استفاده از روش سزیم در منطقه اردل چهارمحال و بختیاری

۵۸' ۱۴" تا ۵۴' ۳۶" ۲۵' ۵۴" واقع شده است. مساحت حوضه مورد مطالعه در حدود ۱۳۴۷۸/۵ هکتار با شیب متوسط وزنی ۲۷/۵ درصد است (شکل ۱). متوسط بارندگی سالانه منطقه ۵۶۲ میلی‌متر و دمای متوسط آن ۱۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. کاربری‌های اصلی در حوضه مورد مطالعه شامل زراعت، مرتع و جنگل می‌باشد که ۱۵ درصد از کل مساحت حوضه شامل اراضی زراعی تخریب شده از جنگل‌ها می‌باشد. بیش‌ترین سطح حوضه (۷۲ درصد) اراضی جنگلی می‌باشد. میزان تاج پوشش در کاربری جنگل به‌طور متوسط ۷۰ درصد است در حالی‌که میزان پوشش کف جنگل حدود ۵۰ درصد می‌باشد. حداکثر ارتفاع منطقه ۲۸۰۳ متر و حداقل آن هم سطح دریا می‌باشد (۱۱). بررسی‌های زمین‌شناسی نشان داد که حوضه مورد مطالعه دارای سازندهای لار (ماسه سنگ) و رسوبات لسی بادی و لسی آبرفتی می‌باشد.

رسوب در سازندهای مختلف زمین‌شناسی و کاربری‌های مختلف، بنابراین از روش سزیم برای برآورد میزان فرسایش استفاده گردید. با توجه به این‌که توزیع رادیوایزوتوپ سزیم-۱۳۷ در خاک تحت‌تأثیر مستقیم نوع خاک، خصوصیات خاک، فرسایش و رسوب خاک می‌باشد. در نتیجه این مطالعه با هدف بررسی پراکنش عمودی سزیم در کاربری‌ها و سازندهای زمین‌شناسی متفاوت، همچنین تعیین میزان فرسایش در منطقه مورد مطالعه و مقایسه با تلفات خاک اندازه‌گیری‌شده با استفاده از پلات‌های آزمایشی صورت گرفت.

### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه، حوزه آبخیز شصت‌کلا در جنوب‌غربی شهرستان گرگان در استان گلستان است. این حوضه در بین عرض شمالی ۳۶° ۴۹' ۱۶" تا ۳۶° ۳۸' ۱۴" و طول شرقی



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه و توپوگرافی حوضه شصت‌کلا استان گلستان.

Figure 1. Studied area and topography of Shast Kalateh basin of Golestan Province.

در نمونه‌ها در پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای وابسته به سازمان انرژی اتمی ایران توسط دستگاه اسپکترومتری اشعه گاما صورت گرفت.

**تجزیه آزمایشگاهی:** بافت خاک، پس از اکسیداسیون مواد آلی با روش هیدرومتری و با استفاده از محلول هگزا متافسفات سدیم جهت پراکنده نمودن ذرات خاک و قرائت هیدرومتر در زمان های ۴۰ ثانیه و ۷ ساعت اندازه‌گیری و تعیین‌گردید (۶). واکنش خاک، در حالت گل اشباع و با استفاده از دستگاه پ.ه‌اش متر دارای الکتروود شیشه‌ای اندازه‌گیری شد. هدایت الکتریکی، با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی، در عصاره اشباع اندازه‌گیری شد (۳۲). کربن آلی، توسط دی‌کرومات پتاسیم در مجاورت اسیدسولفوریک غلیظ اکسیداسیون مواد آلی صورت گرفته و سپس توسط آمونیوم فرسولفات نیم نرمال در مجاورت معرف فنانتروتن با روش تیتراسیون اسید اضافی با سود صورت پذیرفت (۴۲). ظرفیت تبادل کاتیونی، با استفاده از روش چاپمن (۱۹۶۵) (۹) شامل اشباع‌سازی با استات سدیم و شستشو با الکل و سپس جایگزینی کاتیون‌های قابل تبادل با استات آمونیم و قرائت سدیم عصاره‌گیری شده با دستگاه فلیم‌فتومتر صورت پذیرفت (۸). آهک، به روش خشتی نمودن مواد خشتی‌شده با اسید کلریدریک و تیتراسیون اسید اضافی با سود صورت پذیرفت (۳۲). جهت انجام مقایسه میانگین بین داده‌های به‌دست آمده از آزمایش‌های در کاربری‌ها و سازندهای مختلف از نرم‌افزار آماری SAS و آزمون دانکن استفاده گردید.

**اندازه‌گیری فرسایش خاک:** به‌طور معمول مطالعات فرسایش و رسوب به روش سزیم-۱۳۷، دارای سه مرحله می‌باشد. اندازه‌گیری مقدار سزیم خاک در یک محل شاهد، اندازه‌گیری مقدار سزیم باقی‌مانده در خاک هر عارضه سطحی پس از فرسایش و رسوب و

بر اساس روش دومارتن- گاتمن، حوضه مورد مطالعه دارای اقلیم معتدله است. متوسط بارندگی سالانه منطقه ۵۶۲ میلی‌متر و دمای متوسط آن ۱۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین با توجه به منحنی آمبروترمیک، ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور جزء ماه‌های خشک سال محسوب می‌شود. این خشکی مصادف با دوره رویش گیاهی و رشد نهال‌ها و درختان جنگلی است که باعث آسیب رسیدن به پوشش مزبور می‌گردد. در صورتی که خشکی ماه‌های فصول پاییز و زمستان در زمان خواب گیاهی مؤثر می‌باشد و تأثیر نامطلوب بر روی رشد و بقای گیاهان ندارد.

#### مطالعه آزمایشگاهی

**کارهای میدانی:** پس از بررسی‌های میدانی حوضه مورد مطالعه در تاریخ بهمن ۱۳۸۷، ۳ نیم‌رخ در هر یک از سازندهای زمین‌شناسی (لس بادی، لس آبرفتی و ژوراسیک) تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری در کاربری جنگل و زراعی حفر گردید. همچنین در هر یک از سازندهای زمین‌شناسی در کاربری زراعی نیز ۳ نیم‌رخ حفر گردید. در مجموع ۱۸ نیم‌رخ در منطقه مورد مطالعه حفر گردید. از هر یک از نیم‌رخ‌ها با فواصل ۱۰ سانتی‌متری تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری شد. در مجموع ۱۸۰ نمونه خاک برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و سزیم برداشت شد. برای آماده‌سازی، نمونه‌ها ابتدا در هوای آزاد خشک شدند. سپس وزن کل نمونه‌های خشک شده یادداشت گردید و نمونه‌ها پس از خرد شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. در ادامه نمونه‌ها برای تجزیه آماده و در داخل ظرف پلاستیکی ریخته شدند و برای تجزیه سزیم به سازمان انرژی اتمی فرستاده شدند. اندازه‌گیری میزان غلظت پرتوزایی سزیم-۱۳۷

مورد مطالعه است؛ بنابراین رابطه کاجانوسکی (۱۹۸۷) که دارای ضریب خاصی نمی‌باشد (۱۸)، در پژوهش حاضر به کار گرفته شد رابطه ۱، که به شرح زیر است:

$$E = \frac{CPR \times Bd \times D}{T} \quad (1)$$

که در آن، E میزان هدررفت خاک (کیلوگرم بر مترمربع)، CPR درصد هدررفت سزیم، Bd چگالی ظاهری خاک منطقه (کیلوگرم بر مترمکعب)، D ضخامت لایه‌ای که سزیم در آن وجود دارد. T دوره زمانی بین حداکثر انباشت سزیم (۱۹۶۳) و سال نمونه‌برداری (۲۰۰۹).

همچنین CPR به صورت زیر محاسبه می‌شود:

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

که در آن، CPR عبارت است از درصد هدررفت سزیم، CPI موجودی سزیم-۱۳۷ در نقاط مورد مطالعه بر حسب بکرل بر مترمربع، CRI مقدار سزیم-۱۳۷ در نقاط مرجع (شاهد) بر حسب بکرل بر مترمربع می‌باشد. اگر مقدار CPR، منفی باشد نقطه مورد مطالعه تحت فرسایش بوده و اگر CPR، مثبت باشد در آن نقطه رسوبگذاری رخ داده است. میزان انحراف از سطوح فعال نیم‌رخ مرجع معیاری جهت ارزیابی کیفیت خاک می‌باشد.

**اندازه‌گیری توزیع عمودی سزیم:** برای اندازه‌گیری توزیع عمودی سزیم در محل‌های مورد مطالعه در فواصل ۱۰ سانتی‌متری تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری صورت گرفت.

بر خلاف نقاط مرجع در خاک‌های زراعی سزیم به‌طور یکنواخت در لایه شخم توزیع شده است، در خاک‌های دست‌نخورده توزیع عمقی سزیم-۱۳۷ در

در نهایت مقایسه مقادیر سزیم باقی‌مانده با سزیم محل شاهد، که مقدار فرسایش یا رسوب به‌دست می‌آید (۹ و ۴۳). بنابراین، در این پژوهش از مراحل زیر برای ردیابی فرسایش و رسوب استفاده گردید.

**تعیین سطح سزیم محل شاهد:** جهت تعیین میزان فرسایش و رسوب توسط سزیم در ابتدا باید نقاطی را یافت که از بدو ورود رادیوایزوتوپ‌ها به خاک تا زمان نمونه‌برداری، تحت تأثیر فرآیندهای فرسایش و رسوبگذاری نبوده و بنابراین به‌جز زوال طبیعی سزیم-۱۳۷ (واپاشی هسته‌ای) متحمل هیچ‌گونه تغییر کمی در مقدار سزیم-۱۳۷ نشده باشند. بدیهی است مقدار رادیوایزوتوپ سزیم موجود در این نقاط بیانگر کل رادیوسزیم ریزش شده در منطقه، از شروع انجام آزمایش‌های هسته‌ای تا زمان نمونه‌برداری می‌باشد. به این نقاط، نقاط شاهد یا مرجع گویند. میزان سزیم این نقاط، سطح شاهد سزیم گفته می‌شود که واحد آن بکرل در مترمربع است (۲۲). لازم به ذکر است که انتخاب نقاط مبناء (مرجع) مستلزم رعایت نکاتی می‌باشد، این نقاط باید نزدیک به منطقه مورد مطالعه، دارای ارتفاعی مشابه آن، خاک آن‌ها عمیق، فاقد آثار به‌هم‌ریختگی، فرسایش و رسوب، در صورت امکان فاقد شیب و دارای پوشش گیاهی در طول سال باشد. به‌دلیل وجود فرسایش در کاربری جنگل نمی‌توان به‌عنوان شاهد در نظر گرفت، در نتیجه پروفیل شاهد مطالعه شاهیوی و رفاهی (۱۹۹۸) به‌عنوان مرجع در نظر گرفته شد. با توجه به این‌که ۱۵ سال از فعالیت سزیم در این نقاط می‌گذرد بنابراین نیمه‌عمر سزیم به ربع مقدار خود رسیده در نتیجه موجودی سزیم نیم‌رخ شاهد حدود ۸۲۵ بکرل بر مترمربع محاسبه شد (۳۵).

**تعیین میزان فرسایش و رسوب:** برای محاسبه میزان فرسایش و ترسیب روابط متعددی ارائه شده است، اما اکثر روابط دارای ضرائبی هستند که مختص به مناطق

$\lambda$  ضریب توصیف شکل نیم‌رخ و  $h$  عمق مشخص از سطح خاک (بر حسب سانتی‌متر) است.

### نتایج و بحث

نتایج آزمایش‌های شیمیایی نیم‌رخ‌های مورد مطالعه: نتایج ویژگی‌های شیمیایی خاک‌های منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. همان‌گونه که در جدول نشان داده شده است، میزان کربن آلی در اراضی جنگلی تقریباً به‌میزان دو برابر اراضی کشاورزی است. درصد کربن آلی در نیم‌رخ‌ها روند کاهشی را دارا می‌باشد. به‌عبارتی تغییر کاربری اراضی از جنگل به زراعی باعث کاهش کربن آلی خاک شده است.

نیم‌رخ خاک بسیار متفاوت از خاک‌های زراعی است. در خاک‌های دست‌نخورده در بسیاری از موارد توزیع عمقی سزیم-۱۳۷ به‌نحوی است که مقدار این رادیو ایزوتوپ با عمق به‌طور نمایی کاهش می‌یابد. رابطه ۳ چگونگی کاهش سزیم با عمق را تعریف می‌کند (۴۴ و ۵۰).

$$A_h = Z(1 - e^{-\lambda h}) \quad (3)$$

که در آن،  $A_h$  مقدار سزیم-۱۳۷ در عمق مشخص در پروفیل خاک (بر حسب بکرل بر مترمربع)،  $Z$  مقدار موجودی سزیم-۱۳۷ (بر حسب بکرل بر مترمربع)،

جدول ۱- نتایج آزمایش‌های شیمیایی نیم‌رخ‌های مورد مطالعه.

Table 1. The results of chemical analysis of the studied profiles.

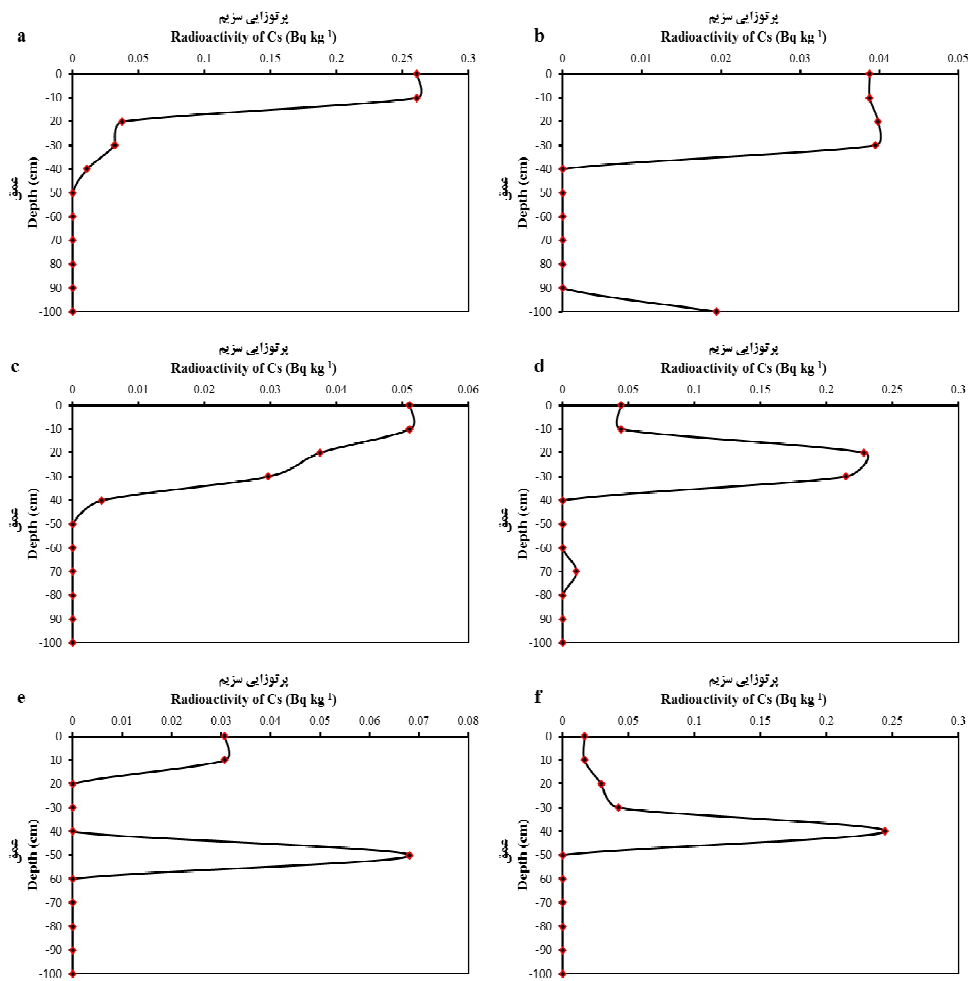
کربنات کلسیم CCE (%)	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC (Cmol/kg)	مواد آلی OM (%)	هدایت الکتریکی EC (dS/m)	پ‌هاش pH	عمق Depth (cm)	کاربری / سازند Land use / formation
11	33.05	4.88	1.5	6.76	0-13	جنگل (لس) Forest (Loess)
8.5	21.28	0.62	1.3	6.45	13-35	
6	31.22	1.44	0.7	7.41	35-61	
8	19.42	0.25	0.6	7.22	61-100	
9.75	40.9	4.5	0.61	5.63	0-25	جنگل (لس آبرفتی) Forest (Alluvial-loess)
15	28.8	2.9	0.7	6.61	25-50	
30.25	27	1.87	0.58	7.05	50-75	
16	28.26	1.17	0.62	7.1	75-100	
7.5	37	4.37	0.62	6.9	0-25	جنگل (ژوراسیک) Forest (Jurassic)
8.75	36.1	3.1	0.56	7.13	25-50	
9.25	31.3	2.9	0.62	7.17	50-75	
10	22	2.98	0.61	7.5	75-100	
36.25	34.76	4.5	0.57	7.4	0-25	زراعی لس آبرفتی Alluvial-Loess cultivated
30.25	34.28	2.9	0.53	7.6	25-50	
30.25	22.73	1.87	0.57	7.43	50-75	
32	20.86	1.17	0.27	7.41	75-100	
14	25	2.9	0.67	7.18	0-25	زراعی ژوراسیک Jurassic cultivated
16.25	40.56	3.51	0.57	7.25	25-50	
10.2	34.78	2.65	0.66	7.34	50-75	
11.25	41.3	1.48	0.67	7.4	75-100	
36.25	18	2.96	0.62	7.4	0-25	زراعی لس Loess cultivated
25.3	25	2.57	0.9	7.3	25-50	
30.25	22.73	1.87	0.58	7.49	50-75	
32	20.84	1.1	0.62	7.52	75-100	

مقدار آن افزایش می‌یابد که این خود می‌تواند به دلیل برداشته شدن خاک سطحی در اثر فرسایش باشد. در نیم‌رخ‌های لس آبرفتی که فاقد شیب بود، پراکندگی توزیع سزیم-۱۳۷ از سطح به عمق مشاهده می‌گردد بدین مفهوم که میزان غلظت سزیم-۱۳۷ در لایه ۱۰-۰ سانتی‌متری کم بوده و با افزایش عمق در لایه ۲۰-۱۰ سانتی‌متر به صفر رسیده است و این روند تا عمق ۴۰ سانتی‌متر ادامه می‌یابد. همچنین پورب و بلوسزس (۲۰۰۶) بیان کردند که غلظت سزیم به‌طور قابل‌توجه به سمت لایه شخم افزایش می‌یابد و سپس کاهش می‌یابد. خاک درون لایه شخم به‌صورت مکانیکی تخریب و نرم می‌شود (۲۹).

در شکل ۳ ارتباط بین فعالیت سزیم با میزان ماده آلی نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بین میزان ماده آلی خاک با فعالیت سزیم همبستگی مثبت و معنی‌داری ( $R^2=0/86$ ) در سطح ۵ درصد وجود دارد. این نتایج با یافته‌های والینگ و همکاران (۱۹۹۱)، وان‌برجیک و همکاران (۱۹۹۲) و اصلانی همکاران (۲۰۰۵) و متین‌فر و همکاران (۲۰۱۳) هم‌خوانی دارد (۴، ۲۲، ۴۱ و ۴۵). ژانگ-آن و همکاران (۲۰۱۰) همبستگی مثبت و معنی‌داری را بین میزان ماده آلی و میزان سزیم خاک در اراضی لسی چین گزارش کردند. ایزوتوپ‌های سزیم جذب ذرات ریز خاک به‌خصوص رس و هوموس خاک به‌خاطر سطوح ویژه بالای آن‌ها می‌شوند (۵۱). شاهویی و رفاهی (۱۹۹۹) ارتباط معنی‌دار بین میزان سزیم ۱۳۷ به‌عنوان شاخص فرسایش خاک و میزان کربن آلی خاک با ضریب تبیین ۰/۶۴ را گزارش کردند (۳۶). در حالی‌که بین میزان رس خاک و فعالیت سزیم ارتباط معنی‌داری به‌دست نیامد. در همین زمینه متین‌فر و همکاران (۲۰۱۲) بیان کردند که بین سزیم و رس همبستگی منفی را گزارش کردند.

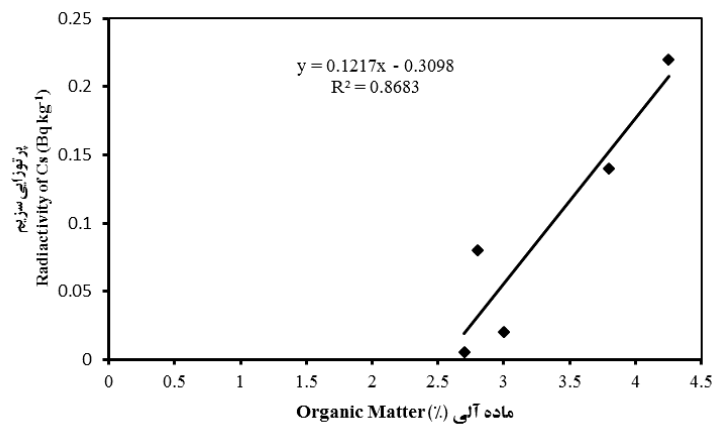
در شکل ۲ توزیع عمودی فعالیت سزیم-۱۳۷ در کابری‌های و سازندهای مورد مطالعه نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، روند توزیع فعالیت سزیم با عمق در کاربری جنگل با کاربری زراعی متفاوت است. در کاربری جنگل با افزایش عمق خاک میزان فعالیت سزیم تقریباً به‌طور منظم کاهش می‌یابد در حالی‌که در کاربری زراعی روند منظمی در فعالیت سزیم با عمق مشاهده نمی‌شود. همچنین سزیم-۱۳۷ از سطح تا عمق ۴۰ سانتی‌متری در خاک‌ها پیشروی نموده است. با توجه به شکل ۲، سزیم-۱۳۷ در نیم‌رخ جنگل-لس و نیم‌رخ جنگل-ژوراسیک به وضوح بیانگر پایداری و عدم بهم‌خوردگی خاک می‌باشد. به‌طوری‌که فعالیت سزیم-۱۳۷ با عمق به صورت نمایی کاهش می‌یابد. این یافته‌ها با نتایج وینکلر و همکاران (۲۰۱۲)، ترامگ و همکاران (۲۰۱۴) و تکاهاشی و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد (۳۹، ۴۰ و ۴۶). نتایج آن‌ها نشان که در خاک‌های تخریب نشده میزان سزیم خاک با افزایش عمق خاک کاهش می‌یابد. همچنین بر طبق اظهارات والینگ و کویین (۱۹۹۰)، ژانبو و همکاران (۱۹۹۰) و پورب و همکاران (۲۰۰۳) روند توزیع سزیم-۱۳۷ در خاک‌های زراعی به‌طور یکنواخت در لایه شخم توزیع شده است (۳۰، ۴۴ و ۴۸). در حالی‌که در نیم‌رخ‌های کشاورزی مورد مطالعه در این پژوهش، روند توزیع سزیم-۱۳۷ نامنظم می‌باشد، به‌طوری‌که در نیم‌رخ ژوراسیک در عمق ۳۰ الی ۵۰ سانتی‌متری مقدار غلظت سزیم-۱۳۷ افزایش یافته است و می‌توان عنوان کرد که لایه ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری تحت تأثیر فرآیند فرسایش می‌باشد. در نیم‌رخ زراعی لس نیز که در رأس شیب واقع است روند توزیع سزیم-۱۳۷ نامنظم بود به‌طوری‌که در سطح مقدار غلظت سزیم-۱۳۷ کم و از عمق ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متری





شکل ۲- توزیع عمودی فعالیت سزیم-۱۳۷ در نیمرخ خاک (a) جنگل لس، (b) جنگل لس آبرفتی، (c) جنگل ژوارسیک، (d) زراعی لس، (e) زراعی لس آبرفتی (f) زراعی ژوارسیک.

Figure 2. Vertical distribution of  $^{137}\text{Cs}$  activity in soil profile a) Loess forest, b) Alluvial-Loess forest, c) Jurassic forest, d) Loess cultivated, e) Alluvial-Loess cultivated, f) Jurassic cultivated.

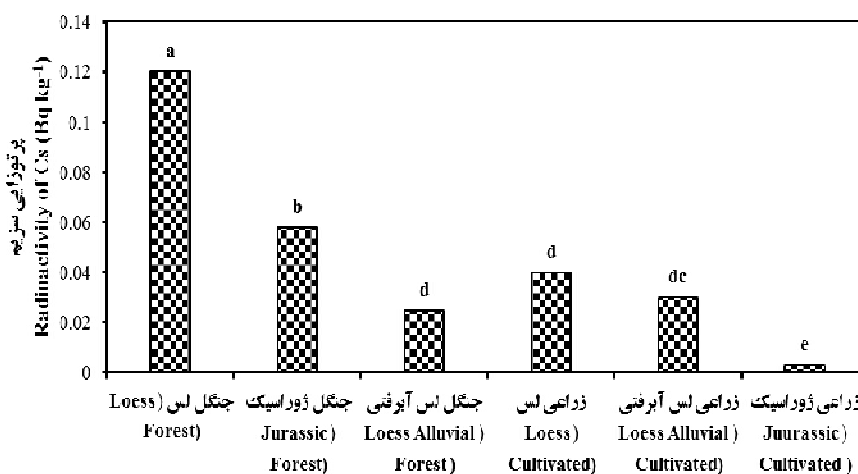


شکل ۳- ارتباط ماده آلی و جذب سزیم-۱۳۷ در نمونه‌های سطحی.

Figure 3. Relation between organic matter and Cs absorption in surface samples.

سزیم در کاربری تخریب نشده بیش‌تر از کاربری‌های تحت‌تأثیر تخریب خاک و فرسایش است. همچنین در هر کاربری بیش‌ترین موجودی سزیم در سازند لس و کم‌ترین موجودی سزیم در سازند ژوراسیک مشاهده شد. همچنین همان‌طور در شکل ۴ نشان داده شده است، بین سازندهای زمین‌شناسی از نظر میزان سزیم خاک تفاوت معنی‌داری وجود دارد.

در شکل ۴ موجودی سزیم در سازندهای مختلف و کاربری‌های مختلف نشان داده شده است. بین دو کاربری مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد مشاهده شد. در همین زمینه سان و همکاران (۲۰۱۴) و ژاو-ین و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند که موجودی سزیم در کاربری‌های مختلف با همدیگر متفاوت می‌باشد (۳۸ و ۴۷). به‌طوری‌که موجودی



شکل ۴- میزان فعالیت سزیم در کاربری‌های مختلف.

Figure 4. Cs activity in different land uses.

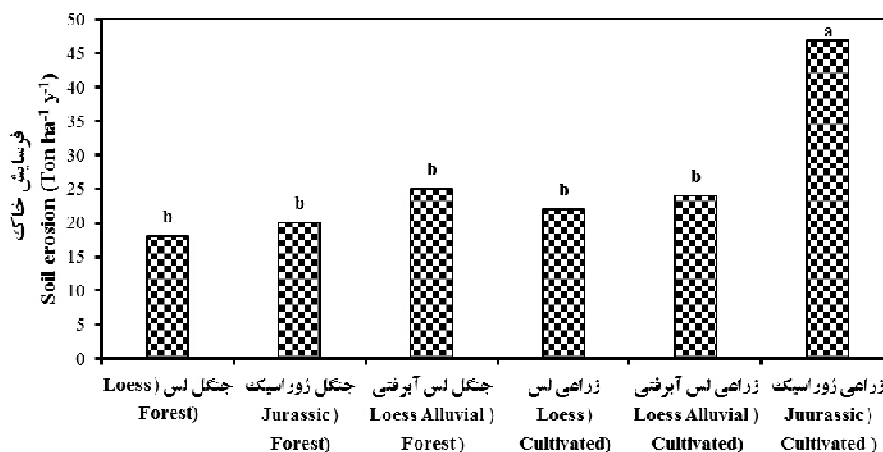
برابر ۴۷ تن بر هکتار در سال مشاهده شد در حالی‌که کم‌ترین میزان فرسایش در کاربری جنگل با سازند لس برابر با ۱۸ تن بر هکتار در سال مشاهده شد. حسینعلی‌زاده و سیدعلیپور (۲۰۱۲) میزان فرسایش اراضی لسی حوزه آبخیز آق‌امام استان گلستان در کاربری کشاورزی و غیرکشاورزی با استفاده از سزیم-۱۳۷ به‌ترتیب ۱۸/۱ و ۲/۷ تن در هکتار گزارش کردند (۱۵). همچنین حسینعلی‌زاده و همکاران (۲۰۱۲) متوسط فرسایش سالانه را در زیرحوضه‌های آبخیز گرگانرود بین ۱۰/۱ تا ۱۱/۴ تن در هکتار گزارش کردند (۱۶).

میزان تلفات خاک از طریق پلات‌های آزمایشی (۲۶) در شرایط طبیعی در منطقه مورد مطالعه بین ۱/۴

در شکل ۵ میزان فرسایش خاک در کاربری‌های مختلف نشان داده شده است. با توجه به شکل، میزان فرسایش خاک از ۱۸ تن بر هکتار در سال تا ۴۷ تن بر هکتار در سال در کاربری‌های مختلف متفاوت است. بین دو کاربری زراعی و جنگل از نظر میزان فرسایش اختلاف معنی‌داری در سطح ۱ درصد وجود دارد. به‌طوری‌که میزان فرسایش در کاربری جنگل و زراعی به‌ترتیب برابر با ۲۱ و ۳۱ تن بر هکتار در سال است. در کاربری زراعی بین سازندهای مورد مطالعه تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ وجود دارد در حالی‌که در کاربری جنگل بین سازندهای مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. بیش‌ترین فرسایش در کاربری‌های زراعی با سازند زمین‌شناسی ژوراسیک

۱۷/۴۱، ۳۰/۶۸ و ۶۰/۵۷ تن بر هکتار در سال و متوسط تلفات خاک به روش پلات آزمایشی در کاربری‌های مذکور را به ترتیب ۰/۰۰۰۳، ۰/۰۰۹ و ۱/۱۷ تن بر هکتار در سال گزارش کرده‌اند (۱۹). دلیل تفاوت بین میزان فرسایش اندازه‌گیری شده با روش سزیم با پلات‌های آزمایشی در این است که فرسایش در روش سزیم با استفاده از اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای تعیین می‌شود. مقدار فرسایش ارایه شده از این روش، در نتیجه تأثیر مواردی مانند باران‌های شدید، سیلاب و فرسایش‌های متعدد می‌باشد که در گذشته رخ داده است در حالی که پلات‌های آزمایشی از تأثیر این گونه مسائل دور هستند.

تا ۸۵/۰۴ کیلوگرم در هکتار اندازه‌گیری شده است. در حالی که میزان فرسایش خاک به روش سزیم-۱۳۷ بین ۱۸ تا ۴۷ تن در هکتار اندازه‌گیری شده است. در مطالعات صورت گرفته در مناطق مختلف کشور، میزان فرسایش با استفاده از روش سزیم بین یک تا ۸۷ تن در هکتار در سال و در برخی موارد تا ۲۰۰ تن در هکتار در سال گزارش شده است (۱۴، ۲۱ و ۳۴). در حالی که با استفاده از پلات‌های آزمایشی، متوسط فرسایش خاک به طور عمده کم‌تر از یک تن در هکتار و به ندرت تا ۵۰ تن در هکتار در سال گزارش شده است (۳، ۱۷ و ۲۵). در همین زمینه خواجهی و همکاران (۲۰۱۵) متوسط فرسایش با روش سزیم در اراضی جنگلی، مرتع و دیم در کشور را به ترتیب



شکل ۵- میزان فرسایش خاک در کاربری‌های مختلف.

Figure 5. Soil erosion rate in different land uses.

نموده است. بین مواد آلی خاک با میزان سزیم اندازه‌گیری شده همبستگی مثبت بسیار بالایی وجود داشت. میزان فرسایش با استفاده از روش سزیم بین ۱۸ تا ۴۷ تن بر هکتار در سال به دست آمد در حالی که تلفات خاک در منطقه مورد مطالعه با استفاده از کرت‌های آزمایشی بسیار پایین گزارش شده بود. به طور کلی می‌توان نتیجه‌گیری نمود که استفاده از

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که در اراضی جنگلی و تخریب‌نشده با افزایش عمق خاک میزان سزیم خاک به طور نمایی کاهش می‌یابد در صورتی که بین عمق خاک و میزان سزیم در کاربری‌های زراعی رابطه به خصوصی وجود نداشت. همچنین میزان سزیم-۱۳۷ از سطح تا عمق ۴۰ سانتی‌متر در این خاک‌ها پیشروی

نتایج نشان می‌دهد که کاربری‌ها و سازندهای مختلف در منطقه مورد مطالعه بر پیدایش انواع فرسایش و شدت آن‌ها تأثیرگذار است. بنابراین مدیریت صحیح کاربری اراضی جنگلی می‌تواند نقش مهمی در کاهش رواناب، هدررفت خاک و عناصر غذایی داشته باشد.

روش اندازه‌گیری سزیم-۱۳۷ در اندازه‌گیری میزان فرسایش خاک، می‌تواند به‌عنوان روش سریع و با دقت مناسب برای برآورد فرسایش و رسوب به‌کار گرفته شود. همچنین امکان اندازه‌گیری شدت فرسایش خاک را در دوره‌های چندین ساله میسر می‌سازد.

### منابع

1. Afshar, F.A., Ayoubi, S., and Jalalian, A. 2010. Soil redistribution rate and its relationship with soil organic carbon and total nitrogen using  $^{137}\text{Cs}$  technique in a cultivated complex hillslope in western Iran. *J. Environ. Radioact.* 101: 8. 606-614.
2. Afshar, F.A., Ayoubi, S., Jalalian, A., Kholghi, H., and Asgharizadeh, F. 2010. A Comparison of Proportional and Mass Balance Model to Predict Soil Erosion and Deposition Rates Using Cs-137 Technique in Ardal District, Charmahal and Bakhtiari Province. Iran. *J. Soil Water Res.* 41: 1. 131-137. (In Persian)
3. Agharazi, H., Ghodoosi, J., and Poormatin, A. 2003. Measured erosion and runoff on standard plots for evaluating universal soil loss equation. Soil Conservation and Watershed Management Institute. 102p. (In Persian)
4. Aslani, M.A.A., Akyil, S., Aytas, S., Gurboga, G., and Eral, M. 2005. Activity concentration of  $^{210}\text{Pb}$  ( $^{210}\text{Po}$ ) in soil s taken from cultivated lands. *Radiat. Measur.* 39: 2. 129-135.
5. Barati, H., Yavari, A., and Feiznia, S. 2011. Analysis of Erosion Rate in Marine Soils of Taleghan Area By  $^{137}\text{Cs}$ . M.Sc. Thesis. University of Tehran. Tehran. 134p. (In Persian)
6. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer Method Improved for Making Particle Size Analyses of Soils. *Agron. J.* 54: 5. 464-465.
7. Busari, M.A., Kukal, S.S., Kaur, A., Bhatt, R., and Dulazi, A.A. 2015. Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. *Int. Soil. Water. Cons. Res.* 3: 2. 119-129.
8. Chapman, H. 1965. Cation-exchange capacity. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties.* Pp: 891-901.
9. Collins, A., Walling, D., Sickingabula, H., and Leeks, G. 2001. Using  $^{137}\text{Cs}$  measurements to quantify soil erosion and redistribution rates for areas under different land use in the Upper Kaleya River basin, southern Zambia. *Geoderma.* 104: 3. 299-323.
10. Doering, C., Akber, R., and Heijnis, H. 2006. Vertical distributions of  $^{210}\text{Pb}$  excess,  $^7\text{Be}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in selected grass covered soils in Southeast Queensland, Australia. *J. Environ. Radioact.* 87: 2. 135-147.
11. Etminan, S., Kiani, F., Khormali, F., and Habashi, H. 2011. Effect of soil properties with different parent materials on aggregate stability: in Shastkola watershed, Golestan province. *Electron. J. Soil. Manage. Sust. Prod.* 1: 2. 39-58. (In Persian)
12. Field, J.P., Breshears, D.D., and Whicker, J.J. 2009. Toward a more holistic perspective of soil erosion: why aeolian research needs to explicitly consider fluvial processes and interactions. *Aeolian Res.* 1: 2. 9-17.
13. Gaspar, L., Navas, A., Walling, D., Machín, J., and Arozamena, J.G. 2013. Using  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{210}\text{Pb}$  to assess soil redistribution on slopes at different temporal scales. *Catena.* 102: 46-54.
14. Honarjoo, N., Mahmoodi, S., Charkhabi, A.H., Ghafoorian, H., and Ali Mohammadi, A. 2005. The Use of Cs-137 for Measuring Erosion and Sediment in Gorgak Watershed. *J. Nucl. Sci. Technol.* 34: 39-45.
15. Hosseinalizadeh, M., and Seyedalipour, H. 2012. Application of Radionuclides in transporting of Soil Particles in Loesses of Maraveh Tapeh, Golestan Province. *J. Arid. Reg. Geogr. Stud.* 2: 7. 83-101. (In Persian)

16. Hossenalizadeh, M., Ahmadi, H., Feiznia, S., Rivaz, F., and Nasari, M.S. 2012. Using  $^{137}\text{Cs}$  Technique to Investigate Soil Redistribution Rates by Portable HPGe (Case Studies, Kachik Paired Subcatchments). *Q. J. Environ. Erosion Res.* 2: 2. 1-14. (In Persian)
17. Jafari Ardakani, A., Partovi, A., Peyrovan, H.R., and Ghoddosi, J. 2003. Effect of Gypsum in Different Slopes on Discharge and Unstable Soil Erosion. Soil Conservation and Watershed Management Institute. 48p. (In Persian)
18. Kachanoski, R. 1987. Comparison of measured soil  $^{137}\text{Cs}$  losses and erosion rates. *Can. J. Soil Sci.* 67: 1. 199-203.
19. Khajavi, E., ArabKhedri, M., Mahdian, M.H., and Shadfar, S. 2015. Investigation of Water Erosion and Soil Loss Values with using the Measured Data from Cs-137 Method and Experimental Plots in Iran. *J. Water. Manage. Res.* 6: 11. 137-151. (In Persian)
20. Mabit, L., Meusburger, K., Fulajtar, E., and Alewell, C. 2013. The usefulness of  $^{137}\text{Cs}$  as a tracer for soil erosion assessment. *Earth-Sci. Rev.* 127: 300-307.
21. Mahmoodi, M. 1996. Feasibility Study on Generalization of the Results of Cs-137 Method for Estimating Surface Erosion for Homogenous Region. MSc Thesis in Soil Science, Tarbiat Modarres University. 176p. (In Persian)
22. Matinfar, H.R., Kalthor, M., Shabani, A., and 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.
23. Matisoff, G., Ketterer, M.E., Wilson, C.G., Layman, R., and Whiting, P.J. 2001. Transport of rare earth element-tagged soil particles in response to thunderstorm runoff. *Environ. Sci. Technol.* 35: 16. 3356-3362.
24. Mehra, O., and Jackson, M. 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and clay minerals: Proceedings of the Seventh National Conference.* Pp: 317-327.
25. Nabaei, M.G., and Ghodoosi, J. 1997. Assessment of badlands Stabilization Methods in SefidRood Watershed. Soil Conservation and Watershed Management Institute. 41p. (In Persian)
26. Norouzi Mahiari, R., Kiani, F., and Habashi, H. 2015. Study on the effect of forest, afforested and disturbed forest using natural rainfall on infiltration, runoff and sediment in Shastkalate watershed, Golestan Province. *J. Water. Soil. Cons.* 22: 4. 139-153. (In Persian)
27. Parsons, A., and Foster, I.D. 2011. What can we learn about soil erosion from the use of  $^{137}\text{Cs}$ . *Earth-Sci. Rev.* 108: 2. 101-113.
28. Pimentel, D. 2006. Soil erosion: a food and environmental threat. *Environ. Dev. Sust.* 8: 1. 119-137.
29. Poręba, G., and Bluszcz, A. 2006. Measurement of  $^{137}\text{Cs}$  in cultivated soils from two loess areas in Poland. *Isot. Environ. Health Stud.* 42: 2. 181-188.
30. Poręba, G., Bluszcz, A., and Śnieszko, Z. 2003. Concentration and vertical distribution of  $^{137}\text{Cs}$  in agricultural and undisturbed soils from Chechło and Czarnocin areas. *Geochronometria.* 22: 67-72.
31. Rogowski, A.S., and Tamura, T. 1970. Erosional Behavior of Cesium-137. *Health Physics.* 11: 1333-1340.
32. Sadusky, M., Sparks, D., Noll, M., and Hendricks, G. 1987. Kinetics and Mechanisms of Potassium Release from Sandy Middle Atlantic Coastal Plain Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 6. 1460-1465.
33. Seyedalipour, H., Feiznia, S., Ahmadi, H., Zare, M.R., and Hosseinalizadeh, M. 2014. Comparison of Soil Erosion by  $^{137}\text{Cs}$  and RUSLE-3D for Loess Deposits North-East of Iran (Study Area: Aghemam Catchment). *J. Water. Soil. Cons.* 21: 5. 27-47. (In Persian)
34. Shahoe, S. 1996. The Study of Different Landscapes of Land Degradation and the Estimation its Roll in Change Soil Properties, Decrease of Productivity Power and How to Use of Hill Slope in Gorganrood Watershed. PhD Thesis in Soil Science, Tehran University. 132p. (In Persian)

35. Shahoei, S., and Rafahi, H. 1998. Assessment the impacts of erosion on soil properties and productivity of cropland in a part of Gorgan Watershed. Iran. J. Agric. Sci. 29: 1-18. (In Persian)
36. Shahoei, S., and Rafahi, H. 1999. Effect of soil erosion on soil properties and crop productivity for loess under dryland farming in northern semiarid region of Iran. Conference on Soil Erosion and Dryland Farming Yangling, China, Pp: 247-256.
37. Smith, H., and Dragovich, D. 2008. Improving precision in sediment source and erosion process distinction in an upland catchment, south-eastern Australia. Catena. 72: 1. 191-203.
38. Sun, W., Shao, Q., Liu, J., and Zhai, J. 2014. Assessing the effects of land use and topography on soil erosion on the Loess Plateau in China. Catena. 121: 151-163.
39. Takahashi, J., Tamura, K., Suda, T., Matsumura, R., and Onda, Y. 2015. Vertical distribution and temporal changes of  $^{137}\text{Cs}$  in soil profiles under various land uses after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident. J. Environ. Radioact. 139: 351-361.
40. Teramage, M.T., Onda, Y., Patin, J., Kato, H., Gomi, T., and Nam, S. 2014. Vertical distribution of radiocesium in coniferous forest soil after the Fukushima nuclear power plant accident. J. Environ. Radioact. 137: 37-45.
41. Van Bergeijk, K., Noordijk, V.H., Lembrechts, J., and Frissel, M. 1992. Influence of pH, soil type and soil organic matter content on soil-to-plant transfer of radiocesium and-strontium as analyzed by a nonparametric method. J. Environ. Radioact. 15: 3. 265-276.
42. Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil. Sci. 37: 1. 29-38.
43. Wallbrink, P., Belyaev, V., Golosov, V., Murray, A., and Sidorchuk, A.Y. 2002. Use of radionuclide, field based and erosion modeling methods for quantifying rates and amounts of soil erosion processes. CSIRO Land and Water Consultancy Report. 340p.
44. Walling, D., and Quine, T. 1990. Calibration of caesium- 137 measurements to provide quantitative erosion rate data. Land. Degrad. Dev. 2: 3. 161-175.
45. Walling, D., and Quine, T. 1991. Use of  $^{137}\text{Cs}$  measurements to investigate soil erosion on arable fields in the UK: potential applications and limitations. Eur. J. Soil Sci. 42: 1. 147-165.
46. Winkelbauer, J., Völkel, J., Leopold, M., Hürkamp, K., and Dehos, R. 2012. The vertical distribution of Cs-137 in Bavarian forest soils. Eur. J. For. Res. 131: 5. 1585-1599.
47. Xiao-Yin, N., Yan-Hua, W., Hao, Y., Jia-Wen, Z., Jun, Z., Mei-Na, X., Shan-Shan, W., and Biao, X. 2015. Effect of land use on soil erosion and nutrients in Dianchi Lake watershed, China. Pedosphere. 25: 1. 103-111.
48. Xinbao, Z., Higgitt, D., and Walling, D. 1990. A preliminary assessment of the potential for using caesium-137 to estimate rates of soil erosion in the Loess Plateau of China. Hydrol. Sci. J. 35: 3. 243-252.
49. Yamagata, N., Matsuda, S., and Kodaira, K. 1963. Run-off of caesium-137 and strontium-90 from rivers. Nature. 200: 668-669.
50. Zapata, F. 2003. The use of environmental radionuclides as tracers in soil erosion and sedimentation investigations: recent advances and future developments. Soil. Till. Res. 69: 2. 3-13.
51. Zheng-An, S., Zhang, J.-H., and Xiao-Jun, N. 2010. Effect of soil erosion on soil properties and crop yields on slopes in the Sichuan Basin, China. Pedosphere. 20: 6. 736-746.



---

## The feasibility study of using $^{137}\text{Cs}$ radionuclide for estimating soil erosion in Shastkola watershed, Golestan province

N. Babanejad<sup>1</sup>, \*F. Kiani<sup>2</sup>, A.M. Izadpanah<sup>3</sup>, F. Khormali<sup>4</sup> and F. Asgharizadeh<sup>5</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>2</sup>Associate Prof., Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>3</sup>Assistant Prof., Dept. of Physics, Golestan University, <sup>4</sup>Professor, Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>5</sup>Nuclear Physics Engineer of the Atomic Energy Organization of Iran

Received: 01.10.2016; Accepted: 05.07.2018

---

### Abstract

**Background and Objectives:** Soil erosion is one of the most serious and irreversible threat for the sustainable development in each region. Cesium has been produced due to nuclear testing in the last decades and entered into the stratosphere and then comes to the soil by rainfall. These radionuclides have an importance in soil erosion studies because it is absorbed by the clay soil in a way that it is exchanged hardly.

**Materials and Methods:** This study was conducted to investigate the use of  $^{137}\text{Cs}$  in measuring the rate of soil erosion and distribution of sediments in forest and unforest soils and on different parent material. So, six regions (three in forest with loess, Jurassic material, alluvium loess and other in cultivated area) were selected. Samples were taken from surface to 100 cm depth.

**Results:** Results showed that  $^{137}\text{Cs}$  had progressed from surface to depth of 40 cm in these soils. The vertical distribution of Cs in soil profiles under forest land use indicated that Cs concentration decreased with increasing depth, indicating the stability and non-permeability of the soil, while the Cs concentration changed irregularly with increasing depth in cultivated soils. Also, soil organic matter had a positive correlation with Cs at level 5%. The average rates of soil erosion are estimated between 18 and 47 t ha<sup>-1</sup> y<sup>-1</sup> at the different land use.

**Conclusion:** Generally, it can be concluded that Cesium 137 could be considered as a high accuracy and fast method to estimate soil loss and sedimentation. It is also possible to measure the soil erosion rate over a period of several years.

**Keywords:** Cs, Soil erosion, Land use, Golestan Province

---

\* Corresponding Author; Email: [kiani@gau.ac.ir](mailto:kiani@gau.ac.ir)

