

## برآورد میزان فرسایش و رسوبگذاری با استفاده از روش سزیم-۱۳۷ مطالعه موردی (حوزه آبخیز ریمله-لرستان)

حمیدرضا متین فر<sup>۱</sup>، منوچهر کلهر<sup>۲</sup>، افشین شعبانی<sup>۳</sup> و صالح آرخی<sup>۴</sup>

۱- نویسنده مسئول: استادیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان (matinfar44@gmail.com)

۲- کارشناس ارشد مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه تهران

۴- استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه گلستان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۱/۲۵

### چکیده

تخمین میزان فرسایش خاک و بار رسوب در حوزه‌های آبخیز از جمله مهم‌ترین اطلاعاتی هستند که برای عملیات حفاظت خاک و آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. به دلیل مشکلات و محدودیت‌های موجود در روش‌ها و مدل‌های برآورد فرسایش خاک و رسوب، استفاده از روشی که بتواند با کم‌ترین هزینه و صرف وقت، با دقت بالا و به سهولت میزان فرسایش و رسوب را برآورد کند، بسیار مهم به نظر می‌رسد. هدف از تحقیق حاضر برآورد فرسایش و رسوب در اراضی تپه ماهوره با قابلیت مرتع است که به علت افزایش روز افزون جمعیت و دست‌یابی به غذای بیش‌تر تحت کشت قرار گرفته‌اند و نیز بررسی توانایی سزیم-۱۳۷ در برآورد فرسایش و رسوب در اراضی کشاورزی پایین دست آن می‌باشد. در این مطالعه، با استفاده از سزیم-۱۳۷ در حوزه آبخیز ریمله که در آن تبدیل گسترده کاربری‌ها رایج است فرسایش خاک برآورد گردید. به کمک عکس‌های هوایی با مقیاس  $\frac{1}{25,000}$  و نقشه توپوگرافی  $\frac{1}{50,000}$  در مجموع ۱۷ ترانسکت روی اراضی شامل ۱۱ ترانسکت روی اراضی تپه ماهوری (از نوع مرکب با شیب ۵ تا ۵۰ درصد) و ۶ ترانسکت در دشت‌های دامنه‌ای (از نوع یکنواخت با شیب ۲-۸ درصد) مشخص شد و نمونه‌برداری خاک و مطالعه خصوصیات سطحی در آنها به عمل آمد. هم‌چنین در شیب‌های مرکب (شامل بالای شیب، شانه شیب، شیب برگشتی، پای شیب و پنجه شیب) و یکنواخت (شامل قسمت‌های فوقانی، میانی، تحتانی) بسته به طول شیب بین ۲ تا ۷ نمونه برای برداشت نمونه خاک سطحی (۲۷-۰ سانتی‌متری) حفر گردید و سزیم-۱۳۷ آن‌ها توسط دستگاه اسپکترومتر اشعه گاما اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که میزان متوسط فرسایش خاک در موقعیت‌های شیب مرکب بالای تپه، شانه شیب، و شیب برگشتی به ترتیب  $31/74$ ،  $66/28$  و  $46/77$  و در موقعیت‌های شیب یکنواخت به ترتیب  $78/60$ ،  $54/47$  و  $79/54$  تن در هکتار در سال است. میزان رسوب‌گذاری در مناطق غیر فرسایشی (پنجه شیب)  $64/27$  تن در هکتار در سال و در موقعیت پای شیب انباشت خاک غالب تر از فرسایش خاک بود. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت به کارگیری روش اندازه‌گیری سزیم-۱۳۷ می‌تواند به‌عنوان یک روش سریع و با دقت مناسب برای برآورد فرسایش و رسوب به کار گرفته شود.

کلید واژه‌ها: اسپکترومتر، حوزه آبخیز ریمله، سزیم ۱۳۷، فرسایش خاک، رسوبگذاری خاک

متین فر و همکاران: برآورد میزان فرسایش و رسوبگذاری با استفاده از ...

### مقدمه

فرسایش خاک را می‌توان به عنوان یکی از مهم‌ترین موانع دستیابی به توسعه پایدار کشاورزی و منابع طبیعی دانست. رسوبات ناشی از فرسایش حوزه‌های آبخیز علاوه بر هدر رفت خاک و کاهش حاصلخیزی آن موجب کاهش کیفیت آب می‌شود و عمر مفید سدها را به دلیل انباشت رسوبات در مخزن به مخاطره می‌اندازد. برای تخمین فرسایش خاک و بار رسوب در سر تا سر جهان، روش‌های کمی و کیفی متعددی ابداع و استفاده گردیده است؛ ولی اکثر آنها الگوهای مکانی جا به جایی خاک و توزیع مجدد ذرات خاک فرسایش یافته را در داخل مزارع و عرصه‌های طبیعی نشان نمی‌دهند. یکی از اولین تلاش‌ها برای استفاده از سزیم برای مطالعه فرسایش و حرکت خاک به وسیله یاماگاتا و همکاران<sup>۱</sup> (۱۹۶۳)، مک کالان و همکاران<sup>۲</sup> (۱۹۸۰) ارائه شد. آن‌ها نتیجه گرفتند که هدر رفت سزیم از آبخیزها به وسیله روان آب اتفاق می‌افتد (یاماگاتا و همکاران (۱۹۶۳). در واقع روش سزیم ۱۳۷ بر پایه بارش رادیواکتیو و بازگشت مواد رادیواکتیو از جو به سطح زمین استوار است (مورجان و ویلسون<sup>۳</sup>، ۱۹۹۲). روگوسکی و تامورا<sup>۴</sup> (۱۹۶۵)، از تکنیک سزیم-۱۳۷ در کرت‌های کوچک آزمایشی برای برآورد فرسایش استفاده نمودند. آن‌ها سزیم ۱۳۷ را به پلات کوچک آزمایشی اضافه کردند و یک رابطه توانی بین تلفات خاک و سزیم پیدا کردند. این اندازه گیری نسبتاً کوتاه مدت (۸۱ روز) نتوانست هیچ نتیجه‌ای در مورد رفتار طولانی مدت سزیم فراهم نکند. در تحقیق مشابهی ریتیچی و مک هنری<sup>۵</sup> (۱۹۷۷)، نتایج اندازه‌گیری‌های سزیم ۱۳۷ را در بعضی

آبخیزهای ایالات متحده امریکا ارائه دادند. آن‌ها دریافتند که ساخت مدل‌هایی برای پیش‌بینی توزیع مجدد سزیم ۱۳۷ در آبخیزهای کوچک امکان پذیر می‌باشد همچنین ریتیچی و همکاران (۱۹۷۴)، از اندازه‌گیری سزیم ۱۳۷ برای مطالعه فرسایش خاک استفاده نمودند. آن‌ها هدررفت سزیم-۱۳۷ را با نتایج هدررفت خاک به دست آمده از طریق مدل جهانی فرسایش خاک مقایسه کردند. آن‌ها دریافتند که یک رابطه توانی بین تلفات خاک و هدر رفت سزیم وجود دارد. براون و همکاران<sup>۶</sup> (۱۹۸۱)، نتایج مطالعاتشان را با استفاده از سزیم-۱۳۷ به عنوان یک شاخص فرسایش منتشر کردند. نتایج آن‌ها حاکی از آن است که یک جا به جایی قابل توجه خاک‌ها در درون مزارع کشت شده اتفاق افتاده و رسوبات به سرعت سزیم ۱۳۷ را جذب می‌کنند.

به طور کلی جابه‌جایی سزیم-۱۳۷ در خاک به صورت شیمیایی و بیولوژیکی بسیار اندک است و فقط به صورت فیزیکی همراه با ذرات کلوئیدی در خاک جابه‌جا شده و پراکنش مجدد آن در خاک اصولاً با تحولات فیزیکی نظیر فرسایش و شخم همراه است؛ به این جهت می‌توان آن را به عنوان یک نشان دار (ردیاب) مناسب برای تعیین جابه‌جایی خاک از طریق فرسایش آبی یا فرسایش بادی در نظر گرفت ریتیچی و همکاران<sup>۷</sup> (۱۹۷۴). البته رادیو ایزوتوپ سزیم در خاک‌های شخم خورده یک توزیع یکنواخت در سراسر لایه شخم را نشان می‌دهد (کولینز و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۰۱؛ وال برینک و همکاران<sup>۹</sup>، ۲۰۰۲). همچنین استفاده از روش سزیم ۱۳۷ در مناطق و کاربری‌های مختلف موفقیت آمیز بوده است. به عنوان مثال وانگ و همکاران<sup>۱۰</sup> (۲۰۰۸)، از سزیم-۱۳۷ برای تعیین سرعت فرسایش در مناطق کوهستانی در چین استفاده

1 - Yamagata *et al.*

2 - McCallan *et al.*

3 - Moore Jan and Wilson

4 - Rogowski and Tamura

5 - Ritchie and McHenry

6 - Brown *et al.*

7 - Ritchie *et al.*

8 - Collins *et al.*

9 - Wallbrink *et al.*

10 - wang *et al.*

مناسب است. مقایسه مدل‌های نسبی و توازن جرمی در برآورد میزان فرسایش و رسوب با روش رادیونوکلئید سزیم ۱۳۷ در منطقه اردل چهارمحال بختیاری نشان داد که این اراضی فرسایش خاک نسبتاً بالایی دارند. هم‌چنین میزان تحویل رسوب محاسبه شده توسط سه مدل نشان داد که بخش زیادی از خاک فرسایش یافته دوباره در منطقه مورد مطالعه رسوب می‌نماید (احمدیان، ۱۳۷۴؛ عباس زاده و همکاران، ۱۳۸۹).

با توجه به مدیریت نامناسب در اراضی شیدار استان لرستان از جمله جنگل تراشی و تبدیل مراتع به دیم زارهای کم بازده، تخمین دقیق فرسایش خاک و رسوب دارای اهمیت بالایی است. به دلیل قابلیت روش سزیم در برآورد میزان فرسایش و رسوب در قسمت‌های مختلف شیب و نیز تپه ماهوری بودن منطقه مورد مطالعه (حوزه آبخیز ریمله) از روش سزیم-۱۳۷ برای برآورد میزان فرسایش استفاده گردید. در واقع هدف از تحقیق حاضر، برآورد فرسایش سطحی در اراضی تپه ماهورای است که قابلیت مرتع دارند؛ ولی به علت افزایش روز افزون جمعیت و دستیابی به غذای بیشتر این اراضی کشت شده‌اند. این امر سبب ظهور علائم فرسایشی در این منطقه شده و عملیات حفاظتی امری ضروری می‌نماید.

### مواد و روش‌ها

#### ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

حوزه مورد مطالعه یکی از زیر حوزه‌های شمال خرم‌آباد (در ۳۵ کیلومتری مرکز استان) می‌باشد که بین ۴۸ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۷ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۳۹ دقیقه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). مساحت حوزه ۱۸۵۱ هکتار بوده و دارای متوسط ارتفاع ۱۷۹۹ متر از سطح دریا می‌باشد. متوسط بارندگی این حوزه ۶۹۶ میلی‌متر بوده و دی ماه سردترین و تیرماه گرم‌ترین ماه سال است. اقلیم حوزه به روش دومارتن

کردند. جان و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۰) از روش سزیم-۱۳۷ در برآورد میزان فرسایش در اراضی کشاورزی و مرتعی استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش سزیم برآوردی نزدیک به واقعیت داشته و میزان فرسایش در اراضی کشاورزی از اراضی مرتعی بیشتر می‌باشد. استفاده از روش سزیم-۱۳۷ در سریلانکا نشان داد که این روش توانایی بالایی در برآورد میزان فرسایش در اراضی با مساحت‌های مختلف و کاربری‌های مختلف دارد (چامپا و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۰).

خالدیان (۱۳۷۴)، در اراضی تپه ماهوری طالقان و بردکل شیراز با استفاده از این روش فرسایش سطحی را اندازه‌گیری کرد و نتایج آن را با معادله جهانی تلفات خاک مقایسه کرد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که با استفاده از روش سزیم-۱۳۷، با سرعت و دقت قابل قبول و به آسانی می‌توان فرسایش سطحی را روی اراضی شیب‌دار به دست آورد. محمودی (۱۳۷۶)، درحوزه آبخیز کسلیان واقع در استان مازندران نیز از روش سزیم ۱۳۷ در برآورد فرسایش خاک استفاده نمود و نتایج مشابهی به دست آورد.

اسدی و همکاران (۱۳۸۴)، از روش سزیم-۱۳۷ برای تخمین فرسایش سطحی استفاده کردند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که استفاده از روش سزیم-۱۳۷ به عنوان یک روش فیزیکی از یک سو نیاز به کار صحرایی کمی داشته و از سوی دیگر دست یابی به نتایج مورد نظر در کم‌ترین زمان امکان‌پذیر است. هنرجو و همکاران (۱۳۸۴)، نیز برای اندازه‌گیری میزان فرسایش و رسوب از روش سزیم-۱۳۷ استفاده کرده و نتیجه گرفتند که با روش سزیم-۱۳۷ مقدار هدر رفت خاک را می‌توان محاسبه کرد. نتایج آن‌ها نشان داد که پتانسیل روش سزیم-۱۳۷ در بررسی الگوهای مکانی توزیع مجدد خاک در منطقه مورد مطالعه

1- John *et al.*

2- Champa *et al.*

متین فر و همکاران: برآورد میزان فرسایش و رسوبگذاری با استفاده از ....

نخورده باقی مانده و هیچ گونه علائم فرسایش و ترسیب در آن وجود نداشته دارای پوشش چمنی و دائمی کاملاً مسطح و عمق خاک بیش از ۱۰۰ سانتی متر است.

ب- محل انباشت خرمن محصولات روستای پشت مله با ارتفاع ۱۹۰۰ متر که برای انباشت محصول هر ساله در تابستان اختصاص می‌یابد و دارای مشخصات قبرستان ریمله می‌باشد (شکل ۲). قابل ذکر است که دو محل شاهد از نظر بارندگی، ارتفاع و خصوصیات دیگر شرایط مشابه نقاط مطالعه را داشتند. در دو مکان شاهد ۱۷ نقطه نمونه‌برداری تا عمق ۳۰ سانتی‌متری (با فواصل افزایشی ۳ سانتی‌متر با عمق) انتخاب گردید و مورد تجزیه قرار گرفتند.

اندازه‌گیری توزیع مکانی سزیم: برای اندازه‌گیری توزیع مکانی سزیم در نقاط شاهد (محل‌های شاهد) در فواصل مختلف تا عمق ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری صورت گرفت و نمونه‌ها برای مراحل بعدی مورد استفاده قرار گرفتند.

برای تعیین میزان فرسایش و رسوبگذاری روی موقعیت‌های مختلف شیب (شامل شیب مرکب و یکنواخت) با کمک رادیو ایزوتوپ سزیم-۱۳۷، یازده ترانسکت (T) روی واحد اراضی تپه ماهور (شامل اراضی مرتعی با شیب ۵-۵۰ درصد) با وضعیت متفاوت فرسایشی و تعداد ۶ ترانسکت در واحد اراضی دشت‌های دامنه‌ای (شامل اراضی زراعی با شیب ۲-۸ درصد) برای تعیین میزان فرسایش و رسوبگذاری استفاده گردید. در ضمن، تعداد نقاط نمونه‌برداری (P) بر حسب طول ترانسکت از ۳ تا ۷ نقطه نمونه‌برداری روی موقعیت‌های مختلف شیب متغیر بود؛ همچنین نقاط نمونه‌برداری بر حسب طول شیب، طول ترانسکت تغییر می‌کرد که در مجموع ۵۳ نقطه نمونه‌برداری برای واحد اراضی تپه ماهور و دشت‌های دامنه‌ای حفر گردید. موقعیت‌های مختلف برای اندازه‌گیری در شیب‌های مرکب در شکل ۳ مشاهده می‌گردد.

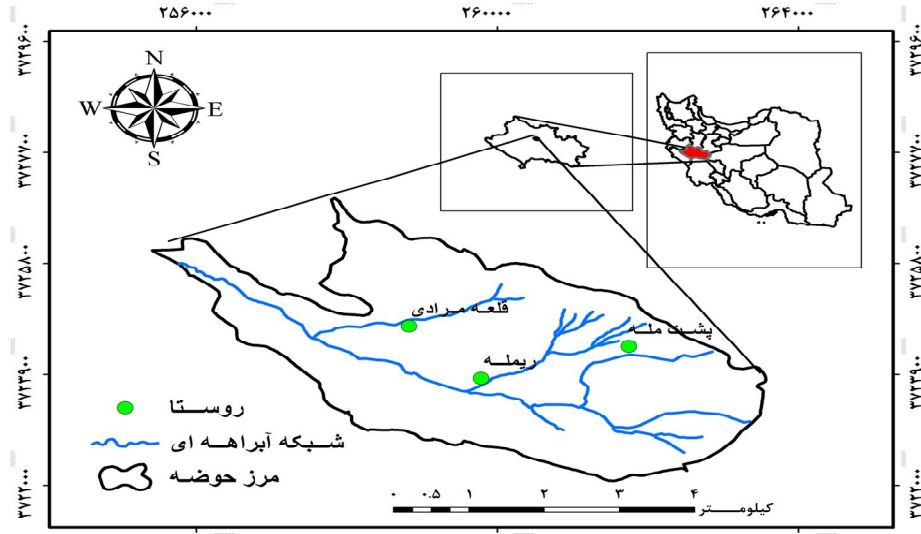
و آمبرژه به ترتیب از نوع مرطوب و معتدل مرطوب می‌باشد. از لحاظ زمین‌شناسی دارای تنوع سنگ‌شناسی بوده که مربوط به دوران‌های دوم تا چهارم زمین‌شناسی است. براساس مطالعات زمین‌شناسی، حوزه دارای سه واحد و هفت تیپ (آهک، مارن، دولومیت، آهک مارنی، کنگلومرا، ماسه سنگ و آبرفت) و ۱۶ رخساره (بیرون زدگی سنگی، لغزش و سولیفلوکسیون<sup>۱</sup>) است (بی نام، ۱۳۷۶).

### روش کار

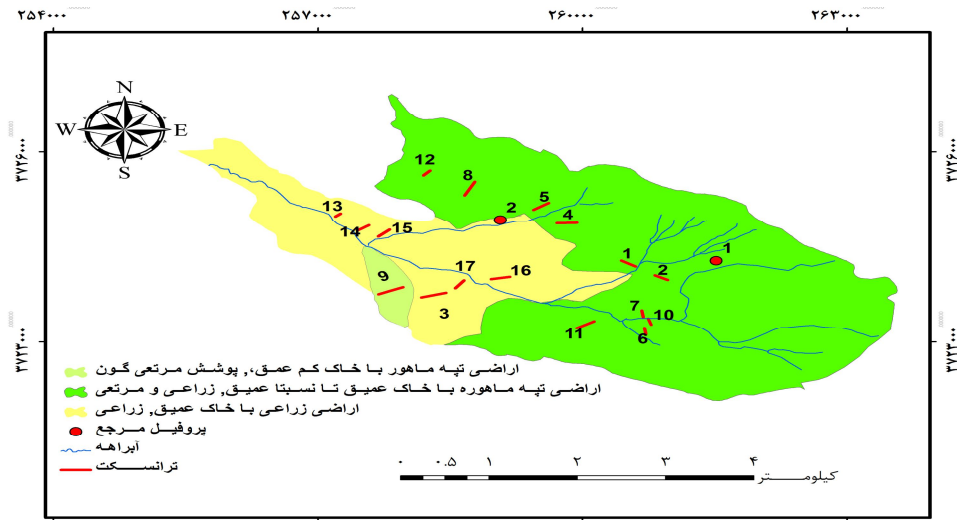
به طور معمول مطالعات فرسایش و رسوب به روش سزیم-۱۳۷، دارای سه مرحله می‌باشد. اندازه‌گیری مقدار سزیم خاک در یک محل شاهد، اندازه‌گیری مقدار سزیم باقی‌مانده در خاک هر عارضه سطحی پس از فرسایش و رسوب، و در آخر مقایسه مقادیر سزیم باقی‌مانده با سزیم محل شاهد، که مقدار فرسایش یا رسوب به دست می‌آید (کولینز و همکاران، ۲۰۰۱؛ والبرینک و همکاران، ۲۰۰۲). بنابراین، در این پژوهش از مراحل زیر برای ردیابی فرسایش و رسوب استفاده گردید.

تعیین سطح سزیم محل شاهد: تعیین سزیم محل شاهد، مساوی کل ریزش دریافتی در یک محل دست نخورده غیر فرسایشی (عدم فرآیندهای جدا شدن خاک و ترسیب خاک) است. از آنجا که سطح سزیم، پایه و اساس هدر رفت خاک و یا استحصال رسوب است، به آن سطح شاهد سزیم گفته می‌شود که واحد آن بکرل در مترمربع است. برای انجام آزمایش لازم است محل‌هایی به عنوان شاهد انتخاب شوند که خاک آن‌ها عمیق باشد، کاملاً مسطح و علائم فرسایش و رسوب در آنها دیده نشود. بر این اساس دو محل انتخاب گردید (شکل ۲) که خصوصیات این دو محل شاهد عبارتند از:

الف- قبرستان رها شده ریمله با ارتفاع ۱۷۱۰ متر از سطح دریا که بیش از ۷۰ سال خاک این قبرستان به صورت دست

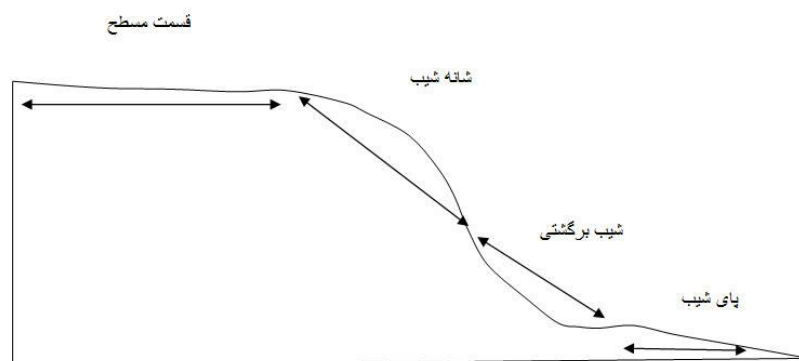


شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه (حوزه آبخیز ریمله)



شکل ۲- موقعیت نقاط نمونه برداری شاهد و ترانسکت های مطالعاتی در حوزه آبخیز ریمله

متین فر و همکاران: برآورد میزان فرسایش و رسوبگذاری با استفاده از ....



شکل ۳- موقعیت های مختلف شیب مرکب

سازمان انرژی اتمی ایران توسط دستگاه اسپکترومتری اشعه گاما صورت گرفت. مقدار سزیم رادیواکتیو بر حسب بکرل بر کیلوگرم خاک تعیین، سپس با استفاده از جرم مخصوص ظاهری خاک به واحد بکرل بر مترمربع تبدیل شد. وزن مخصوص ظاهری خاک به روش کلوخه و پارافین و برای هر نمونه در سه تکرار اندازه گیری شد. بافت خاک به روش هیدرومتر بایکاس تعیین شد. میزان آهک به روش تیتراسیون در حضور فنل فتالین و کربن آلی خاک به روش واکنی بلک تعیین گردیدند (جکسون<sup>۱</sup>، ۱۹۶۰).

#### مدل های 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 مورد مطالعه است؛ لذا رابطه کاجانوسکی<sup>۲</sup> (۱۹۸۷) که دارای ضریب خاصی نمی باشد، در تحقیق حاضر به کار گرفته شد (رابطه ۱)، که به شرح زیر است:

$$E = Bd \times P(m) \left[ 1 - \left( \frac{C_m}{C_o} \right)^{1.34} \right] \quad (1)$$

1- Jakson

2 -Kachanoski

در این تحقیق به علت محدودیت امکانات و بزرگی محل مطالعه، از روش نیمرخ طولی به جای شبکه ای استفاده شد. علاوه بر آن، نمونه گیری از خاک به وسیله اوگر، با قطر ۷/۵ سانتی متر با سطح مقطع ۴/۱۵ سانتی متر مربع از عمق ۰-۲۷ سانتی متری در محل ترانسکت ها صورت گرفت. شایان ذکر است که در بعضی نقاط نمونه برداری شده که احتمال رسوبگذاری بود از عمق ۲۷-۴۰ سانتی متری نیز نمونه برداری انجام شد و جمعاً ۷۰ نمونه برای تجزیه و تحلیل سزیم-۱۳۷ مورد استفاده قرار گرفت.

برای آماده سازی، نمونه ها ابتدا در هوای آزاد خشک شدند. سپس وزن کل نمونه های خشک شده یادداشت گردید و نمونه ها پس از آسیاب شدن از الک ۲ میلی متری عبور داده شدند. در ادامه دوباره وزن آن ها یادداشت گردید و یک نمونه فرعی بین ۲۶۰ تا ۳۰۰ گرم برای تجزیه آماده و در داخل ظرف پلاستیکی بیکر مارنیلی با قطر ۶/۲ سانتی متر و ارتفاع ۸/۷ سانتی متر ریخته شد و برای تجزیه سزیم، نمونه ها به سازمان انرژی اتمی فرستاده شد تا توسط آشکار ساز ژرمانیم غلظت سزیم نمونه به مدت ۶ تا ۹ ساعت شمارش گردد.

اندازه گیری میزان غلظت پرتوزایی سزیم-۱۳۷ در نمونه ها در پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای وابسته به

$$q = \frac{h \times Bd}{n} \quad (۴)$$

$Bd$ ؛ وزن مخصوص ظاهری رسوبات (خاک منطقه)،  $h$ ؛ عمق نمونه برداری به سانتی متر  
 $q$ ؛ میزان فرسایش یا رسوب (کیلوگرم/متر مربع)  
 $n$ ؛ تعداد سالهایی که از تجمع مواد رادیواکتیو در خاک تا سال اندازه گیری سپری شده است.

برای محاسبه میزان رسوبگذاری در مناطق ترسیمی حوزه، دو رابطه توسط کاجانوسکی (۱۹۸۷) ارائه شده است که در این مطالعه از رابطه ای استفاده شد که در آن نیازی به حداکثر عمق انتشار سزیم در نقاط نمونه برداری در موقعیت ترسیمی نیست زیرا محدودیت تعداد و عمق نمونه از نظر هزینه تجزیه وجود داشت:

$$d = \frac{Bd \times P \times Co - Cm}{Co \times 34} \quad (۵)$$

در ضمن، فعالیت سزیم نقاط نمونه برداری (شاهد) مبنای محاسبات فرسایش و رسوب خاک قرار گرفت. در این مطالعه، فعالیت سزیم شاهد در واحد سطح در هر لایه با استفاده از رابطه ۶ محاسبه گردید.

$$cls = \frac{cass \times cfw}{hsa} \quad (۶)$$

$cls$ ؛ فعالیت سزیم-۱۳۷ در واحد سطح (بکرل بر متر مربع)،  $Cass$ ؛ فعالیت سزیم-۱۳۷ بر حسب واحد وزن (بکرل بر کیلو گرم)،  $cfw$ ؛ وزن خاک هوا خشک کمتر از ۲ میلی متر،  $has$ ؛ سطح مقطع نمونه (سانتی متر مربع)

### نتایج و بحث

همان گونه که در شکل های ۴ و ۵ مشاهده می گردد، توزیع نمایی فعالیت سزیم نسبت به عمق نقاط نمونه برداری شاهد به وضوح بیان گر پایداری و عدم بهم خوردگی نقاط

که در این رابطه  $E$ ؛ میزان هدر رفت خاک (کیلوگرم / متر مربع)،  $Bd$ ؛ چگالی ظاهری خاک منطقه ۱۳۰۰ (کیلوگرم/ مترمکعب) به دست آمده از روش پارافین و کلوخه خشک،  $P$ ؛ عمق لایه شخم که در این مطالعه ۳۰ سانتی متر در نظر گرفته شد.

$C_m$ ؛ سزیم باقی مانده در لایه شخم (بکرل بر متر مربع)،  $C_0$ ؛ سزیم نقطه شاهد (بکرل بر متر مربع)  
 برای اراضی مرتعی نیز از رابطه ژانگ و همکاران<sup>۱</sup> (۱۹۹۰)، استفاده شد:

$$cd = c_i e^{-\lambda d} \quad (۲)$$

$Cd$ ؛ فعالیت سزیم در عمقی است (سانتی متر) که ۹۰ درصد کل سزیم شاهد در بالای آن عمق و ۱۰ درصد مابقی سزیم نقطه نمونه برداری شاهد در پایین تر از آن عمق قرار دارد.

$C_i$ ؛ کل فعالیت سزیم نقطه نمونه برداری شاهد (بکرل بر متر مربع)  
 $d$ ؛ عمق (سانتی متر)  
 $\lambda$ ؛ ضریب ژانگ  
 با لگاریتم گرفتن از طرفین، معادله ژانگ، به صورت زیر تبدیل شود:

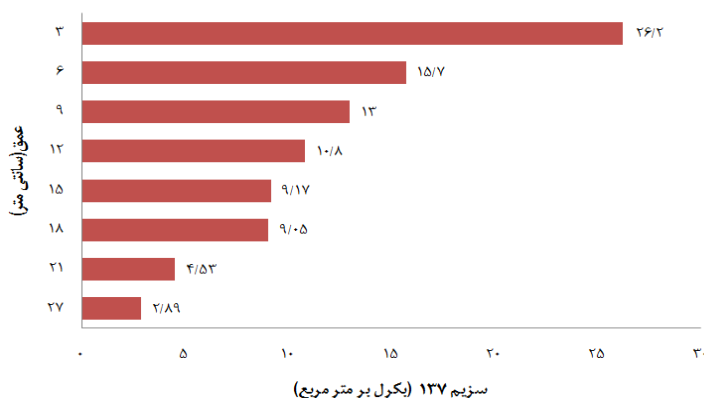
$$-\lambda = \frac{\ln 0.1}{d} \quad (۳)$$

با قرار دادن مقدار  $d$  در رابطه بالا (که ۹۰ درصد سزیم نقطه نمونه برداری از سطح خاک تا عمق تجمع یافته است) مقدار ضریب ژانگ به دست می آید. بعد از مشخص شدن ضریب ژانگ طبق رابطه زیر اقدام به تعیین میزان فرسایش یا رسوبگذاری گردید.

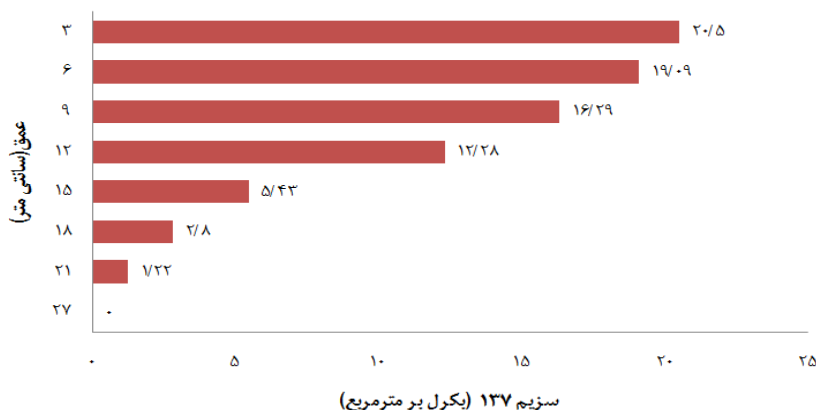
متین فرو و همکاران: برآورد میزان فرسایش و رسوبگذاری با استفاده از ....

مجموع فعالیت سزیم ۱۳۷ (بکرل بر متر مربع) لایه صفر تا ۲۷ سانتی متر نقاط نمونه برداری شاهد ۱ و ۲ به ترتیب ۲۳۷۸/۵ و ۲۳۰۰/۱۲ بکرل بر مترمربع محاسبه شد. تحقیقات انجام شده در نقاط دیگر کشور توسط خالدیان (۱۳۷۴) و محمودی (۱۳۷۶) فعالیت کل سزیم نقاط نمونه برداری شاهد را به ترتیب ۵۰۷۰ و ۳۷۰۰ بکرل بر مترمربع گزارش کرده‌اند (۳ و ۵). در این مطالعه، میانگین نقاط نمونه برداری ۱ و ۲ یعنی ۲۳۳۹/۲ بکرل بر متر مربع مبنای مطالعه فرسایش و رسوب برای منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شد (جدول ۱).

شاهد است. چرا که توزیع نمایی سزیم ۱۳۷ بیانگر این است که هیچ گونه اثری از انباشت یا فرسایش خاک در نقاط شاهد رخ نداده است. مقدار سزیم نقاط شاهد بیانگر مقدار کل فرونشست سزیم ۱۳۷ در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. لذا میانگین فعالیت سزیم (بکرل بر متر مربع) نقاط نمونه برداری شاهد مبنای محاسبات فرسایش و رسوب خاک قرار گرفت. محاسبات فعالیت سزیم شاهد در واحد سطح با توجه به مقطع نمونه (سانتی متر مربع) و وزن خاک خشک هر لایه (جدول ۱) با استفاده از رابطه (۶) محاسبه گردید.



شکل ۴- توزیع میزان سزیم اصلاح شده در عمق های مختلف نقطه نمونه برداری شاهد ۱



شکل ۵- توزیع میزان سزیم اصلاح شده در عمق های مختلف نقطه نمونه برداری شاهد ۲



جدول ۱- میزان فعالیت سزیم اصلاح شده برای نقاط نمونه برداری شاهد

محل نقاط نمونه برداری حفر شده	وزن خاک خشک کمتر از ۲ میلی متر (گرم)	عمق نمونه برداری (سانتی متر)	سطح مقطع نمونه برداری (سانتی متر مربع)	میزان فعالیت سزیم اصلاح شده (بکرل/کیلوگرم)	درصد مواد آلی	فعالیت کل سزیم اصلاح شده (بکرل/کیلوگرم)	مقدار سزیم (بکرل/متر مربع)
پشت مله	۴۵۲/۲۷	۰-۳	۲۳۵/۵	۱۱/۸۴	۷/۴۹	۲۶/۲	۵۰۲/۸۶
	۵۸۰/۴۷	۳-۶	۲۳۵/۵	۹/۱۶	۴/۵۹	۱۵/۷	۳۸۸/۹۵
	۶۶۹/۴۷	۶-۹	۲۳۵/۵	۸/۷۰	۲/۸۱	۱۳	۳۶۹/۴۲
	۶۴۲/۳۷	۹-۱۲	۲۳۵/۵	۶/۹۳	۲/۸۱	۱۰/۸	۲۹۴/۴۲
	۶۸۸/۷۷	۱۲-۱۵	۲۳۵/۵	۶/۳۰	۲/۰۱	۹/۱۷	۲۶۷/۹۰
	۶۶۵/۲۷	۱۵-۱۸	۲۳۵/۵	۶/۰۱	۲/۰۱	۹/۰۵	۲۵۵/۶۰
	۶۷۹/۰۲	۱۸-۲۱	۲۳۵/۵	۳/۰۷	۲/۰۵	۴/۵۳	۱۳۰/۶۱
	۱۳۷۳/۸۷	۲۱-۲۷	۲۳۵/۵	۳/۹۶	۱/۵۱	۲/۸۹	۱۶۸/۴۹
	۱۱۴۵/۲۷	۲۷-۳۰	۲۳۵/۵	LDD*			۲۳۷۸/۲۵ = مجموع
قبرستان ریمله	۷۶۶/۳۷	۰-۳	۲۳۵/۵	۱۵/۷۰	۳/۴۹	۲۰/۵	۶۶۶/۷۰
	۷۰۵/۳۷	۳-۶	۲۳۵/۵	۱۱/۹۱	۲/۶۴	۱۹/۰۹	۵۰۵/۹۲
	۶۶۴	۶-۹	۲۳۵/۵	۱۰/۸۱	۲/۴۱	۱۶/۲۹	۴۵۹/۳
	۸۱۴/۸۷	۹-۱۲	۲۳۵/۵	۱۰	۱/۷۸	۱۲/۲۸	۴۲۴/۹
	۶۲۹/۳۷	۱۲-۱۵	۲۳۵/۵	۳/۴۲	۱/۳۴	۵/۴۳	۱۴۵/۲۲
	۴۶۴/۳۷	۱۵-۱۸	۲۳۵/۵	۱/۳۰	۱/۰۶	۲/۸	۵۵/۲۰
	۸۲۸/۵۷	۱۸-۲۱	۲۳۵/۵	۰/۱/۱	۰/۹۱	۱/۲۲	۴۲/۸۹
	۸۸۷/۳۷	۲۱-۲۷	۲۳۵/۵	LDD			۲۳۰۰/۱۳ = مجموع

\* ۱- آستانه ای که دستگاه گاما اسپکترومتر قادر به شمارش میزان فعالیت سزیم نیست.

به شمارش میزان فعالیت سزیم نشده است. همچنین در نقاط شاهد، مواد آلی نظیر فعالیت سزیم در عمق صفر تا ۳ سانتی متر با متوسط ۵/۷۱۵ درصد بیشترین مقدار را دارا می باشد که با افزایش عمق میزان مواد آلی کاهش یافت؛ به طوری که در عمق ۲۱ سانتی متری میزان مواد آلی نقاط نمونه برداری شاهد به ۲/۸۵ درصد رسید. این شواهد حاکی از رابطه مستقیم بین فعالیت سزیم و مواد آلی به خاطر

با توجه به نتایج تجزیه شیمیایی و فیزیکی نقاط شاهد ۱ و ۲ و همچنین نتایج تجزیه معادلات رگرسیون دو متغیره و چند متغیره واریانس نقاط شاهد مشاهده می گردد که در عمق صفر تا ۳ سانتی متر میزان سزیم بیش از ۵۰۲/۸۶ بکرل بر متر مربع است که با افزایش عمق روند نزولی دارد، به طوری که در عمق پایین تر از ۲۱ سانتی متر در نقطه شاهد ۲ فعالیت سزیم ناچیز بوده که دستگاه گاما اسپکترومتر قادر

متین فر و همکاران: برآورد میزان فرسایش و رسوبگذاری با استفاده از ....

با افزایش عمق خاک میزان رس افزایش می‌یابد. به سبب جذب سزیم توسط رس این امر سبب توزیع نمایی منفی سزیم با عمق می‌گردد تا جایی که دیگر به علت جذب زیاد رس توزیع سزیم به صفر میل می‌کند. این توزیع نمایی منفی در نقاط نمونه‌برداری شاهد ۱ و ۲ به خوبی قابل مشاهده است که این امر خود نشان دهنده عدم بهم خوردگی خاک این مناطق است.

همان‌گونه که در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ مشاهده می‌گردد. بین آهک خاک سطحی (۲۷-۰) با فعالیت سزیم خاک همبستگی منفی وجود دارد که بر این اساس، آزمون  $t$  استیودنت به ترتیب در سطح ۳/۵ در صد و ۰/۰۰۸ معنی دار می‌باشد. علت این امر را بایستی در جذب سطحی بسیار کم ذرات آهک دانست.

#### تعیین ضریب ژانگ (۸) برای نقاط شاهد حوزه مورد مطالعه

نتایج حاصل از محاسبه ضریب ژانگ حاکی از آن است که ۹۰ درصد تجمع سزیم در نقاط نمونه‌برداری شاهد ۱ و ۲ به ترتیب در عمق ۱۸ و ۱۲ سانتی‌متری می‌باشد. در ضمن، ضرایب ژانگ برای نقاط نمونه‌برداری شاهد به ترتیب ۰/۱۲۸ و ۰/۱۹۱ به دست آمد که میانگین آن‌ها یعنی ۰/۱۵۹ برای این منطقه مطالعه انتخاب شد. هم‌چنین خالیدیان (۱۳۷۴) ضریب ژانگ را برای حوزه چهل‌گزی واقع در شمال شهر سنندج در سه نقطه شاهد به ترتیب ۰/۱۲، ۰/۱۳۸ و ۰/۱۲۷ به دست آورد و میانگین آن‌ها ۰/۱۲۸ را انتخاب کرد (خالیدیان، ۱۳۷۴).

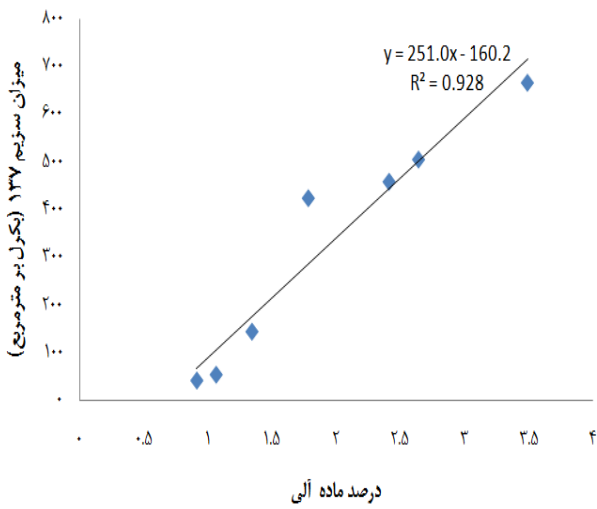
#### محاسبه میزان فرسایش در موقعیت‌های مختلف شیب مرکب

شیب مرکب از قسمت‌های مختلفی تشکیل شده است که میزان فرسایش و رسوبگذاری در آن‌ها متفاوت است. در این تحقیق میزان فرسایش و رسوبگذاری در قسمت‌های مختلف شیب مرکب محاسبه گردید.

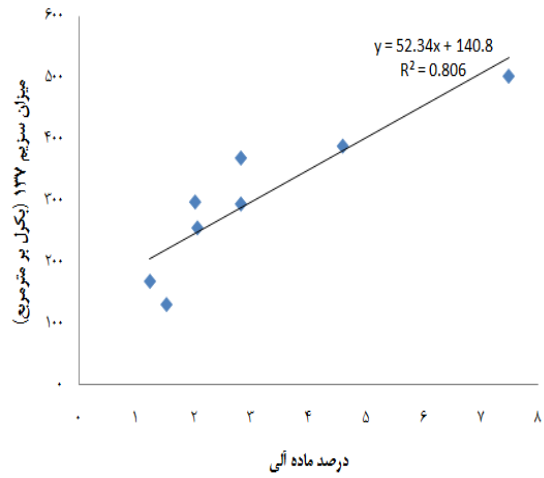
وجود سطوح ویژه جذب زیاد برای جذب این رادیو ایزوتوپ در محل‌های غیر فرسایشی است. معادلات رگرسیون نقاط شاهد ۱ و ۲ که فعالیت سزیم آن‌ها با سایر خصوصیات خاک برای محاسبه میزان فرسایش و رسوب در این مطالعه در نظر گرفته شده بود، در شکل‌های ۶ تا ۱۱ مشاهده می‌گردد.

همان‌گونه که در شکل‌های ۶ و ۷ مشاهده می‌شود، ضرایب تبیین بسیار بالایی بین فعالیت سزیم با مواد آلی وجود دارد ( $R^2 = 0.982$  و  $0.806$ )، به طوری که آزمون  $t$  استیودنت در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار و آزمون  $F$  ضرائب معادله رگرسیون دو متغیره در سطح ۰/۰۰۱ مدل رگرسیونی دو متغیره را به خوبی برازش می‌کند. تحقیقات انجام شده در نقاط مختلف ایران همبستگی بین فعالیت سزیم با مواد آلی خاک را نیز گزارش کرده‌اند (محمودی، ۱۳۷۶).

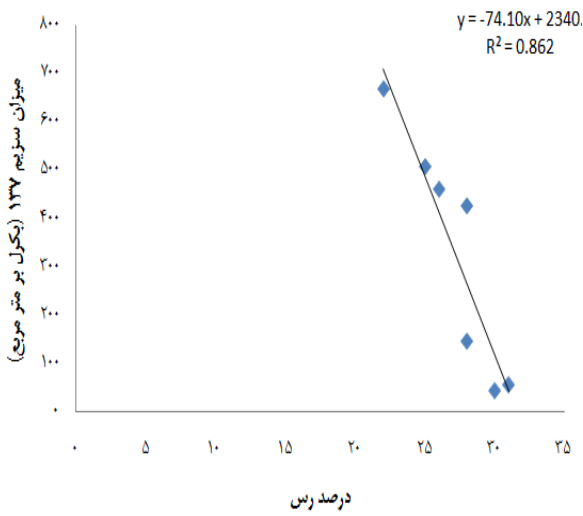
بررسی ارتباط بین فعالیت سزیم با میزان رس نقاط شاهد ۱ و ۲ به ترتیب در شکل‌های ۸ و ۹ نشان می‌دهد میزان رس با میزان سزیم همبستگی منفی دارد. رابطه رگرسیونی بین فعالیت سزیم و میزان رس نقاط نمونه‌برداری شاهد ۱ و ۲ (شکل‌های ۸ و ۹) نشان می‌دهد که در نقاط نمونه‌برداری شاهد ۱ همبستگی منفی و ضریب تبیین ( $R^2 = 0.389$ ) کم‌تری بین فعالیت سزیم و میزان رس نسبت به نقطه نمونه‌برداری ۲ ( $R^2 = 0.862$ ) وجود دارد؛ به طوری که آزمون  $t$  استیودنت در نقطه نمونه‌برداری شاهد ۱ در سطح ۷/۵ درصد ولی نقطه نمونه‌برداری شاهد ۲ در سطح ۰/۰۰۰۱ معنی‌دار است و آزمون  $F$  ضرائب معادله رگرسیونی دو متغیره در نمونه‌برداری شماره ۱ و در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. ذرات رس به علت جذب سطحی سزیم را به طور محکم نگاه می‌دارند و مانع حرکت آن در اعماق خاک می‌شوند (مک کالان و همکاران، ۱۹۸۰). به صورت طبیعی در خاکی که دست نخورده باشد،



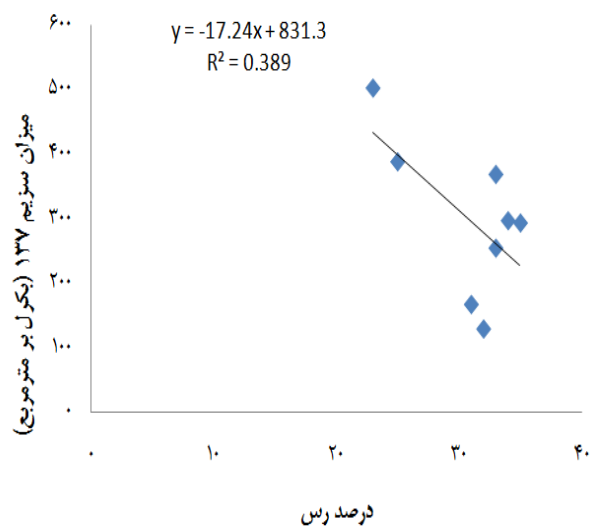
شکل ۷- رابطه رگرسیونی بین سزیم و درصد مواد آلی خاک در نقطه نمونه برداری شاهد ۲



شکل ۶- رابطه رگرسیونی بین سزیم و درصد مواد آلی خاک در نقطه نمونه برداری شاهد ۱

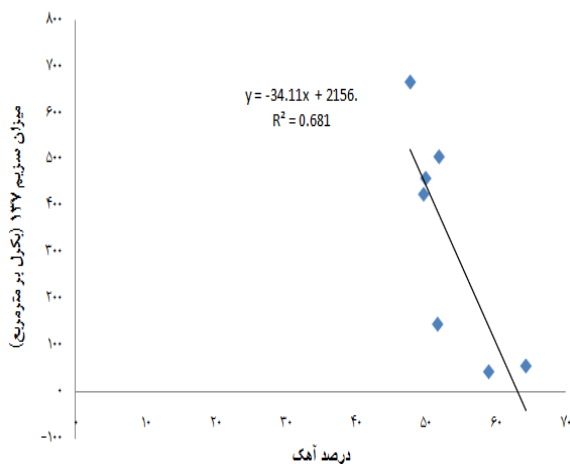


شکل ۹- رابطه رگرسیونی بین میزان سزیم و درصد رس در نقطه نمونه برداری شاهد ۲

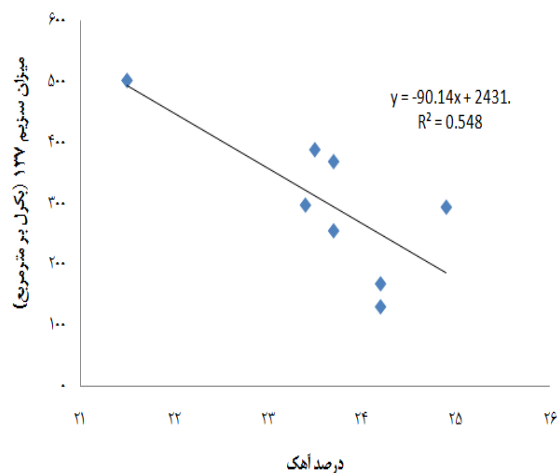


شکل ۸- رابطه رگرسیونی بین میزان سزیم و درصد رس در نقطه نمونه برداری شاهد ۱

متین فر و همکاران: برآورد میزان فرسایش و رسوبگذاری با استفاده از ....



شکل ۱۱- همبستگی بین میزان سزیم و درصد آهک در نمونه برداری شاهد ۲



شکل ۱۰- همبستگی بین میزان سزیم و درصد آهک در نقطه نمونه برداری شاهد ۱

#### موقعیت شانه شیب<sup>۱</sup>

برای بررسی فرسایش در شانه شیب تعداد ۱۱ نقطه بر روی مناطق تپه ماهوره که دارای شیب بین ۱۱/۵ تا ۵۰ درصد می‌باشند، حفر گردید. نتایج در جدول (۲) نشان می‌دهد، میانگین فرسایش در موقعیت شانه شیب حدود ۶۶/۲۸ تن در هکتار در سال است که علل عمده فرسایش زیاد در شانه شیب را می‌توان در درجه اول عملیات خاک‌ورزی و درجه دوم فرسایش آبی دانست. هم‌چنین در شانه شیب زمانی که پوشش آن مرتعی است و نسبت به نقاط دیگر از شیب کمتری برخوردار می‌باشد، میزان فرسایش به حداقل می‌رسد نظیر ترانسکت‌های (T<sub>۱۷</sub>-P<sub>۴</sub>)<sup>۲</sup>، (P<sub>۱</sub>-T<sub>۳</sub>) و (T<sub>۴</sub>-P<sub>۱</sub>) که دارای پوشش مرتعی می‌باشند، در مقابل در ترانسکت T<sub>۱۱</sub>-P<sub>۲</sub> مشاهده می‌شود که به علت شیب زیاد و عملیات خاک‌ورزی میزان فرسایش به ۱۰۰/۹ تن در هکتار در سال می‌رسد. از این رو توجه به اهمیت قابلیت و استعداد اراضی مشخص می‌شود. بررسی نقاط نمونه‌برداری در این موقعیت هم‌چنین نشان می‌دهد که میانگین مواد آلی

۰/۷۴ درصد است. هم‌چنین به دلیل پایین بودن مواد آلی خاک‌ها در شانه شیب (کم‌تر از یک درصد) همبستگی بین مواد آلی خاک‌ها با تلفات سزیم در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار نشود. در مشاهدات صحرایی در شانه شیب در بعضی نقاط به خوبی مواد مادری مشهود و آهک در اثر شخم با خاک سطحی مخلوط شده بود که در نقاط نمونه‌برداری P<sub>۲</sub>-T<sub>۱۷</sub> و P<sub>۲</sub>-T<sub>۵</sub> به ترتیب دارای ۴۷/۷ و ۴۱/۵ درصد آهک و در سایر نقاط کمتر از ۳۰ درصد بود.

#### موقعیت قله شیب<sup>۴</sup>

در موقعیت مسطح تپه‌ها، تعداد چهار نقطه نمونه‌برداری که دارای پوشش مرتعی و زراعی بودند، حفر گردید (جدول ۲). در این منطقه همانند شانه شیب مشخص شد زمانی که نقاط نمونه‌برداری دارای پوشش علفی هستند (همانند نقاط نمونه‌برداری P<sub>۳</sub>-T<sub>۳</sub> و P<sub>۴</sub>-T<sub>۴</sub>) و عملیات شخم و شیار صورت نمی‌گیرد به نسبت نقاطی همچون P<sub>۱</sub>-T<sub>۵</sub> و P<sub>۱</sub>-T<sub>۱۱</sub> که دارای پوشش زراعی بوده و عملیات شخم و شیار انجام می‌شود از فرسایش کمتری برخوردار هستند (حداقل یک سوم). هم‌چنین بسته به نوع سازند که حساس به فرسایش می‌باشند (مارن) نظیر نقطه P<sub>۱</sub>-T<sub>۵</sub> میزان

- 1- Shoulder
- 2- Point
- 3- Transect

4- Summit

مختلفی در میزان مواد آلی نقش دارند. به دلیل اینکه مواد آلی روند مشخصی در قسمت مسطح راس تپه‌ها از خود نشان داد، همبستگی معنی‌داری بین مواد آلی و میزان تلفات سزیم به دست آمد.

فرسایش ۶۰/۴۱ تن در هکتار در سال توسط مدل سزیم برآورد شد. همچنین وضعیت مواد آلی در قسمت مسطح تپه ماهور که دارای پوشش مرتعی هستند به ترتیب ۱/۳۳ و ۱/۴۴ درصد می‌باشد؛ ولی در نواحی زراعی مواد آلی به علت فرسایش شدید به ۰/۵۸ درصد رسیده است. البته عوامل

جدول ۲- میزان فرسایش و ترسیب در موقعیت شانه، مسطح تپه‌ها و پشت شیب

شماره ترانسکت و نقطه نمونه برداری	موقعیت شیب	میزان فرسایش برآورد شده		ملاحظات
		سزیم از دست رفته (درصد)	توسط سزیم-۱۳۷ (سال/هکتار/تن)	
T <sub>3</sub> -P <sub>1</sub>	شانه شیب	-۲۰/۵۷	۲۶/۳۲	
T <sub>3</sub> -P <sub>2</sub>		-۴۸/۸۷	۷۶/۲	
T <sub>3</sub> -P <sub>3</sub>		-۴۸/۴۷	۷۵/۳۵	
T <sub>4</sub> -P <sub>1</sub>		-۲۵/۶۰	۳۳/۷۸	
T <sub>4</sub> -P <sub>2</sub>		-۴۹/۳۳	۷۷/۳	
T <sub>5</sub> -P <sub>2</sub>		-۳۹/۴۶	۵۷/۱۵	
T <sub>8</sub> -P <sub>2</sub>		-۵۷/۳۵	۹۶/۵۵	
T <sub>8</sub> -P <sub>3</sub>		-۵۱/۹۴	۹۳/۱۷	
T <sub>11</sub> -P <sub>3</sub>		-۵۸/۹۹	۱۰۰/۹	
T <sub>17</sub> -P <sub>3</sub>		-۴۲/۳۶	۶۳/۲۲	
T <sub>17</sub> -P <sub>4</sub>		-۲۲/۵۵	۲۹/۲۰	
میانگین=۶۶/۲۸				
انحراف معیار= ضریب ۲۶/۹۷				
T <sub>3</sub> -P <sub>0</sub>	مسطح تپه‌ها	-۱۰/۲۶	۱۲/۴۰	پوشش مرتعی
T <sub>4</sub> -P <sub>0</sub>		-۱۳/۹۵	۱۷/۱۹	
T <sub>5</sub> -P <sub>1</sub>		-۴۱/۱۸	۶۰/۴۱	پوشش زراعی و تشکیلات
T <sub>11</sub> -P <sub>1</sub>		-۲۷/۶۷	۳۶/۹۸	مارن سبز زراعی (آهکی)
میانگین=۳۱/۷۴				
T <sub>3</sub> -P <sub>4</sub>	پشت شیب	-۳۹/۹۵	۵۸/۰۸	
T <sub>3</sub> -P <sub>5</sub>		۱۵/۵۲	-	
T <sub>4</sub> -P <sub>3</sub>		-۳۰/۶۹	۴۲/۲۷	
T <sub>4</sub> -P <sub>4</sub>		-۶/۳۳	۷/۴۹	
T <sub>5</sub> -P <sub>2</sub>		-۳۹/۴۶	۵۷/۱	
T <sub>8</sub> -P <sub>4</sub>		-۳۶/۴۹	۵۱/۷۳	
T <sub>11</sub> -P <sub>4</sub>		-۱۳/۵۹	۱۷/۲۰	
T <sub>17</sub> -P <sub>2</sub>		۱۴/۷۱	-	
میانگین=۴۶/۷۷				
انحراف معیار=۱۱/۲۸				

متین فر و همکاران: برآورد میزان فرسایش و رسوبگذاری با استفاده از ....

### موقعیت پشت شیب<sup>۱</sup>

در موقعیت شیب برگشتی در جدول (۲) تلفات و انباشت خاک می‌گردید. این موقعیت شیب دارای وضعیت فعال است یعنی همزمان فرآیند انباشت و فرسایش در این منطقه وجود دارد و بسته به اینکه کدام فرآیند غالب تر باشد اتفاق می‌افتد؛ ولی اغلب در این مطالعه فرسایش مشاهده گردید. به لحاظ فعال بودن، در منطقه شیب برگشتی بین مواد آلی با تلفات سزیم همبستگی معنی‌داری مشاهده نگردید.

### موقعیت پای شیب<sup>۲</sup> و پنجه شیب<sup>۳</sup>

بررسی نتایج (جدول ۳) نشان می‌دهد که در پای شیب به استثناء نقطه  $T_3-P_7$  که تلفات خاک به میزان ۱۱/۹۷ تن در هکتار وجود داشت، بقیه نقطه‌ها ( $T_3-P_6$  و  $T_8-P_5$ ،  $T_1-P_1$  و  $T_{17}-P_5$ ) انباشت خاک مشاهده گردید که میانگین انباشت ۲۱/۰۴ تن در هکتار در سال است. در این منطقه همبستگی معنی‌داری بین تلفات خاک با انباشت سزیم و میزان مواد آلی در سطح ۲ درصد وجود داشت که به علت غالب بودن فرآیند انباشت خاک به فرآیند فرسایش است؛ همچنین در موقعیت پنجه شیب فرآیند انباشت خاک کاملاً مشهود بود. تمام نقاط نمونه برداری حفر شده به خوبی انباشت خاک را نشان می‌داد.

### بررسی وضعیت فرسایش در موقعیت‌های مختلف شیب یکنواخت

#### روند فرسایش در بخش فوقانی<sup>۴</sup> شیب‌های یکنواخت

جهت بررسی روند فرسایش در بخش فوقانی شیب یکنواخت با شیب‌های متفاوت، تعداد ۶ نقطه نمونه برداری حفر گردید. جدول ۴ میانگین فرسایش برآورد شده توسط روش سزیم ۱۳۷، را نشان می‌دهد. بیش‌ترین تلفات خاک مربوط به نقطه نمونه برداری  $T_{17}-P_1$  با شیب ۵۰ درصدی،

کم‌ترین تلفات خاک مربوط به نقطه نمونه برداری  $T_1-P_1$  با شیب ۳۵/۵ درصد بود. اولین عامل، تفاوت فاکتور توپوگرافی (طول شیب و درجه شیب) نقطه نمونه برداری  $P_1$ - $T_1$  است که نسبت به نقطه نمونه برداری  $P_1$ - $T_{10}$  کمتر است. ثانیاً در نقطه نمونه برداری  $T_1-P_1$ ، نمونه برداری از قسمت فوقانی شیب نزدیک به پوشش مرتعی (۱۰ متر) انجام گرفت که نشان دهنده این بود که روان آب کم‌تری نسبت به بخشی که دارای پوشش مرتعی است حاصل می‌گردد؛ در صورتی که در نقطه  $T_{10}-P_1$  به علت حساسیت زیاد سازند به فرسایش (مارن) و وجود فرسایش خندقی و شیاری تلفات سزیم خاک زیاد بود.

#### روند فرسایش در بخش میانی<sup>۵</sup> شیب‌های یکنواخت

به منظور بررسی روند فرسایش در بخش میانی شیب‌های یکنواخت تعداد ۹ نقطه نمونه برداری حفر گردید. نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که میانگین فرسایش در این موقعیت شیب نسبت به بخش فوقانی از تلفات خاک کم‌تری برخوردار است. کم‌ترین تلفات خاک مربوط به بخش میانی، نقطه نمونه برداری  $T_6-P_2$  با شیب ۵ درصد معادل ۵/۲۰ تن در هکتار در سال است. بیش‌ترین تلفات خاک مربوط به نمونه برداری  $T_{10}-P_2$  با شیب ۵۰ درصد که دارای تلفات خاک ۱۰۳/۵ تن در هکتار در سال است که نشان دهنده تاثیر عامل توپوگرافی، عملیات خاک‌ورزی و حساسیت سازند به فرسایش در میزان فرسایش می‌باشد. در این موقعیت تنها در نقطه نمونه برداری  $T_9-P_2$  تجمع خاک به میزان ۱/۳ تن در هکتار مشاهده گردید که این نقطه نمونه برداری در سری خاک‌های رده مالی سول (کاستانوزوم)، می‌باشد که دارای سنگریزه (۳۵-۱۵) درصد در بخش سطحی و تحتانی خاک است همچنین در این نقطه بالا بودن مواد آلی خاک ساختمان مناسبی به خاک سطحی داده است (به دلیل افزایش نفوذپذیری خاک و کاهش میزان روان آب).

- 1 - Back slope
- 2 - Foot slope
- 3 - Toe slope
- 4 - Upper

## جدول ۳- میزان فرسایش و رسوب در موقعیت پای شیب و پنجه شیب

شماره ترانسکت و نقطه نمونه برداری	موقعیت شیب	میزان فرسایش برآورد شده		
		سزیم از دست رفته (درصد)	سزیم-۱۳۷ (سال/هکتار/تن)	
T <sub>1</sub> -P <sub>1</sub>	فوقانی	-۲۷/۱۳	۳۶/۱۴	
T <sub>1</sub> -P <sub>2</sub>	میانی	-۳۸/۷۲	۵۵/۷۸	
T <sub>1</sub> -P <sub>3</sub>	تحتانی	-۳۷/۸۴	۵۴/۱۶	
T <sub>2</sub> -P <sub>1</sub>	فوقانی	-۵۱/۰۷	۸۱/۱۴	
T <sub>2</sub> -P <sub>2</sub>	میانی	-۴۲/۶۶	۶۳/۲۸	
T <sub>2</sub> -P <sub>3</sub>	تحتانی	-۷۶/۵۸	۱۶۳	
T <sub>6</sub> -P <sub>1</sub>	فوقانی	-۳۲/۹۰	۴۵/۵۱	
T <sub>6</sub> -P <sub>2</sub>	میانی	-۴/۴۵	۵/۲	
T <sub>6</sub> -P <sub>3</sub>	میانی	-۴۸/۹۳	۷۶/۳۲	
T <sub>6</sub> -P <sub>4</sub>	تحتانی	-۴۲/۷۶	۶۳/۴۹	
T <sub>7</sub> -P <sub>2</sub>	فوقانی	-۳۵/۸۶	۵۰/۶۱	
T <sub>7</sub> -P <sub>3</sub>	میانی	-۶۳/۵۱	۱۱۳/۹۵	
T <sub>9</sub> -P <sub>4</sub>	فوقانی	-۴۱/۳۲	۶۰/۶۷	
T <sub>9</sub> -P <sub>3</sub>	میانی	-۴/۳۱	۴/۳	
T <sub>9</sub> -P <sub>2</sub>	میانی	+۱/۱۴	-	
T <sub>9</sub> -P <sub>1</sub>	تحتانی	۵۷/۷۷	۱۰۰/۱	
T <sub>10</sub> -P <sub>1</sub>	فوقانی	-۸۰	۱۸۰/۱۴	اراضی فرسایش خندقی
T <sub>10</sub> -P <sub>2</sub>	میانی	-۵۹/۷۸	۱۰۳/۰۵	اراضی فرسایش خندقی
T <sub>10</sub> -P <sub>3</sub>	میانی	-۴۲/۷	۶۲/۲۵	اراضی فرسایش خندقی
T <sub>10</sub> -P <sub>4</sub>	تحتانی	-۱۱/۸۴	۱۴/۴۴	

## جدول ۴- میزان فرسایش و ترسیب در موقعیت شیب های یکنواخت

شماره ترانسکت و نقطه نمونه برداری	موقعیت شیب	میزان فرسایش برآورد شده		
		سزیم از دست رفته (درصد)	سزیم-۱۳۷ (سال/هکتار/تن)	
T <sub>3</sub> -P <sub>6</sub>	پای شیب	۵/۳۴	-	۴/۷
T <sub>3</sub> -P <sub>7</sub>		-	۱۱/۹۷	-۹/۹۶
T <sub>8</sub> -P <sub>5</sub>		۱۰/۵۴	-	۹/۶
T <sub>17</sub> -P <sub>1</sub>		۴۷/۲۵	-	۳۳/۶۲
T <sub>4</sub> -P <sub>5</sub>		۵۶/۷۳	-	۳۸/۸
T <sub>1</sub> -P <sub>4</sub>		۲۷/۷۵	-	۱۲/۴۲
T <sub>4</sub> -P <sub>5</sub>	پنجه شیب	۵۶/۷۳	-	۳۸/۸
T <sub>7</sub> -P <sub>4</sub>		۹۹/۸	-	۲۳۶/۳
T <sub>10</sub> -P <sub>5</sub>		۶۸/۴۸	-	۱۸۰/۷۴
T <sub>17</sub> -P <sub>10</sub>		۶۸/۶۳	-	۱۸۰/۹۶

متین فر و همکاران: برآورد میزان فرسایش و رسوبگذاری با استفاده از ....

## روند فرسایش در بخش پایین شیب شیب یکنواخت

جهت بررسی روند فرسایش در موقعیت پایین شیب (۷۵ درصد طول شیب)، تعداد ۵ نقطه نمونه برداری بر روی شیب‌های با تندی متفاوت حفر گردید نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که با افزایش عامل توپوگرافی میزان فرسایش روند صعودی داشته است، که این موضوع با عامل طول شیب و درجه شیب در شیب‌های تند و طولانی همبستگی دارد.

### نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد، میزان سزیم ۱۳۷ اندازه‌گیری شده با میزان رس و مواد آلی وجود در خاک همبستگی بسیار بالایی دارد، بنابراین اندازه‌گیری میزان فرسایش و رسوب با استفاده از روش سزیم ۱۳۷ در خاک‌هایی که دارای بافت متوسط، بافت سنگین و مواد آلی می‌باشند، می‌تواند نتایج مطلوبی را به همراه داشته باشد. به عبارت دیگر استفاده از روش سزیم ۱۳۷ در خاک‌های با بافت سبک (شنی و ماسه‌ای) نمی‌تواند نتایج مطلوبی را به همراه داشته باشد. نتایج این تحقیق هم‌چنین بیانگر رابطه مستقیم بین هدر رفت سزیم ۱۳۷ و میزان کربن آلی خاک می‌باشد. که

این نتیجه در قسمت‌های مختلف شیب مرکب و شیب یکنواخت به خوبی اثبات گردید. شانه شیب با میانگین فرسایش ۶۶/۲۸ (سال/هکتار/تن) بیش‌ترین هدر رفت خاک (بیش‌ترین میانگین هدر رفت سزیم) را داشت که فقر مواد آلی موجود در این موقعیت نقش پوشش گیاهی در حفاظت فیزیکی خاک سطحی و همچنین کاهش فرسایش پذیری خاک را نشان می‌دهد. هدر رفت بیشتر سزیم ۱۳۷ و ناچیز بودن میزان کربن آلی اندازه‌گیری شده در مناطق زراعی تپه ماهوره‌ی نسبت به مناطق مرتعی خود نیز دلیل روشنی بر نقش و اهمیت پوشش گیاهی طبیعی در جلوگیری از فرسایش و نقش انسان در تشدید فرسایش در مزارع بود. معرفی موقعیت پشت شیب به عنوان یک ناحیه فعال که دارای فرآیند فرسایش و رسوب است و همچنین برآورد حداکثر فرسایش در قسمت ابتدائی شیب‌های یکنواخت، قابلیت روش سزیم ۱۳۷ در شیب‌های مختلف و موقعیت‌های مختلف یک شیب را برای برآورد فرسایش نشان می‌دهد.

### منابع

۱. اسدی، ت.، شاهوئی، س.، روحی پور، ح. و اسدی م. ۱۳۸۴. ارتباط بین خصوصیات شیمیایی خاک و سزیم ۱۳۷ در حوزه آبخیز طساران کبودر آهنگ. سومین کنفرانس ملی فرسایش خاک و رسوب، تهران. ۷۸-۷۵.
۲. احمدیان، ح. ۱۳۷۴. مطالعه و بررسی فرسایش پذیری خاک حوزه آبخیز سرخ آباد (شیرین رود) و نقش آن در ایجاد رسوب. پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی (فرسایش و حفاظت خاک) دانشگاه تهران. پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی (فرسایش و حفاظت خاک) دانشگاه تهران. ص. ۲۰۷.
۳. خالدیان، ح. ۱۳۷۴. استفاده از مواد رادیو اکتیو سزیم -۱۳۷ در مطالعات فرسایش خاک. مجموعه مقالات کنفرانس منطقه ای مدیریت منابع آب اصفهان.



۴. عباس زاده افشار، ف.، ایوبی، ش.، جلالیان، ا.، خلفی، ح. و اصغری زاده، ف. ۱۳۸۹. مقایسه مدل‌های نسبی و توازن جرمی در برآورد فرسایش و رسوب به روش‌رادیونوکلئوید سزیم-۱۳۷ در منطقه اردل چهارمحال و بختیاری، تحقیقات آب و خاک ایران، (۴۱): ۱۳۷-۱۳۱.
۵. محمودی، م. ۱۳۷۶. بررسی امکان سنجی تعمیم نتایج حاصل از روش سزیم-۱۳۷ برای محاسبه فرسایش سطحی خاک در عرصه‌های همگن. نشریه پژوهش و سازندگی ص: ۵۶-۶۰.
۶. بی‌نام، ۱۳۷۶. مطالعات نیمه تفصیلی خاک‌های شهرستان‌های خرم‌آباد و بروجرد. نشریه فنی جهاد کشاورزی. ص. ۲۶.
۷. هنرجو، ن.، محمودی، س.، چرخابی، ح.، علیمحمدی، ا.، غفوریان، ح. و جلالیان، ا. ۱۳۸۴. اندازه‌گیری فرسایش و رسوب با سزیم ۱۳۷ در حوزه آبخیز قرچک. نهمین کنگره علوم خاک، تهران. ۱۶۴-۱۶۷.
8. Brown, R.B., Cutshall, N.H., and Kling, G.F. 1981. Agricultural Erosion Indicated by <sup>137</sup>Cs Redistribution: I. Levels and distribution of <sup>137</sup>Cs activity in soils. Soil Science Society of America Journal, 41: 33-37.
9. Champa, K., Dissanayake, A.P., Mahawatte, B.K., Abeynayake, C., and Weerasekera, T.S.B. 2010. Use of Caesium-137 technique for the assessment of soil erosion in two selected sites in Uma Oya Catchment in Sri Lanka. World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. Brisbane, Australia.
10. Collins, A.L., Walling, D.E., Sichingabula, H.M., and Leeks, G.J.L. 2001. Using <sup>137</sup>Cs measurements to quantify soil erosion and redistribution rates for areas under different land use in the Upper Kaleyra River basin, southern Zambia. Geoderma, 104: 299-323.
11. Jakson, M.L. 1960. Soil chemical analysis. University of Wisconsin, Madison.
12. John, W., Baltimore, M.D. and Lynn, G. 2010. Agricultural soil erosion rates for the Linganore Creek watershed in the piedmont physiographic Province of the Chesapeake watershed. 2nd Joint Federal Interagency Conference, Las Vegas, NV, June 27- July 1.
13. Kachanoski, R.G. 1987. Comparison of measured soil <sup>137</sup>-cesium losses and erosion rates. Canadian Journal of Soil Science, 67: 199-203.
14. McCallan, M.E., O'Leary, B.M., and Rose, C.W. 1980. Redistribution of Caesium-137 by Erosion and Deposition on an Australian Soil. Australian Journal Soil Resource, 18: 119-128.

متین فرو و همکاران: برآورد میزان فرسایش و رسوبگذاری با استفاده از ....

15. Moorejan, D., and Wilson, J.P. 1992. Length slope factors for the revised universal soil loss equation simplified method of estimated. *Soil and Water Conservation*, 47: 423-428.
16. Ritchie, J., Spraberry, J.A. and Roger MCHenray, J. 1974. Estimating soil erosion from the redistribution of fallout cs-137 . *Soil Science Society of America Proceeding*, 38: 137-139.
17. Ritchie, J.R., and McHenry, J.C. 1977. The distribution of Cs-137 in some watersheds in the Eastern United States. *Health Physics*, 32: 101-105.
18. Rogowski, T., and Tamura, A.S. 1965. Movement of 137Cs by runoff, erosion and infiltration on the alluvial captina silt loam. *Health Physics*, 11: 1333-1345.
19. Wallbrink, P.J., Belyaev, V., Golosov, V.N., Sidorrchuk, A.S., and Murray, A.S., 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.
20. Wang, Y., Wang, G., Hu, H., and Cheng, H. 2008. Erosion rates evaluated by the 137Cs technique in the high altitude area of the Qinghai-Tibet Plateau of China. *Environmental Geology*, 53: 1743-1749.
21. Yamagata, N., Matsuda S., and Kodaira, K. 1963. Run-off of caesium-137 and strontium-90 from rivers. *Nature*, 200: 668-669.
22. Zhang, X., Higgitt, D.L., and Walling, D.E. 1990. A preliminary assessment of the potential for using caesium-137 to estimate rates of soil erosion in the Loess Plateau of China. *Hydrological Sciences Journal*, 35: 267-276.