



دانشگاه گوارزی و منابع طبیعی گران

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و یکم، شماره پنجم، ۱۳۹۳
<http://jwsc.gau.ac.ir>

مقایسه فرسایش خاک به روش سزیم ۱۳۷ و مدل RUSLE-3D در نهشته‌های لسی شمال شرق ایران (مطالعه موردی: حوزه آبخیز آق‌امام)

حسین سیدعلیپور^۱، سادات فیض‌نیا^۲، حسن احمدی^۲

محمدرضا زارع^۳ و *محسن حسینعلی‌زاده^۴

^۱ دانشجوی دکتری گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۲ استاد گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشگاه تهران، آستادپار گروه فیزیک، دانشگاه اصفهان،

^۳ آستادپار گروه آبخیزداری و مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۲/۲/۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۳/۱۸

چکیده

کاهش قابل توجه عملکرد حوزه‌های آبخیز ایران به دلیل حجم زیاد فرسایش، بیانگر ضرورت روزافزون پایش و پیگیری این پدیده مخرب است. در این مسیر، به کارگیری روش‌های نو و دانش روز از اهمیت زیادی برخوردار است. در سرتاسر جهان برای برآورد فرسایش خاک از روش‌ها و مدل‌های فرسایشی به‌ویژه سزیم ۱۳۷ و RUSLE-3D استفاده می‌شود. در این پژوهش با توجه به اهمیت نهشته‌های لسی از نظر حاصلخیزی و حساسیت بالا به فرسایش، اندازه‌گیری میزان جابه‌جایی ذرات خاک و برآورد فرسایش و رسوب به ترتیب به وسیله سزیم ۱۳۷ و مدل RUSLE-3D در حوزه آبخیز آق‌امام انجام شد. با توجه به نبود داده‌های مشاهداتی در منطقه و دقت بالای روش سزیم ۱۳۷ در اندازه‌گیری میزان فرسایش، با مقایسه داده‌های میزان جابه‌جایی ذرات خاک ناشی از روش سزیم ۱۳۷ با مدل RUSLE-3D، کارایی مدل RUSLE-3D برای مناطق لسی تعیین شد. در نهایت میزان متوسط فرسایش از روش سزیم ۱۳۷ در آبخیز آق‌امام، ۱۰/۷۸ تن در هکتار در سال به دست آمد، در حالی که با استفاده از مدل RUSLE-3D، میزان متوسط فرسایش منطقه، ۲/۶۱ تن در هکتار در سال

* مسئول مکاتبه: mhalizadeh@gau.ac.ir

برآورد شد. در این پژوهش میزان فرسایش به‌دست آمده از هر دو روش در کلاس‌های (شیب ۱۵-۰ و بیش‌تر از ۱۵ درجه) و (کاربری کشاورزی و غیرکشاورزی) مقایسه شدند. در نهایت، نتایج ناشی از مقایسه روش سزیم ۱۳۷ با مدل RUSLE-3D دارای همبستگی پایینی است که عدم تناسب مدل RUSLE-3D را برای نهشته‌های لسی نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: فرسایش خاک، نهشته‌های لسی، سزیم ۱۳۷، مدل RUSLE-3D، حوزه آبخیز آق‌امام

مقدمه

یکی از عوامل اصلی تخریب خاک، فرسایش آبی است. فرسایش آبی در سرتاسر جهان تقریباً بر روی ۱۱۰۰ میلیون هکتار از اراضی اثر گذاشته، که این مقدار بیانگر ۵۶ درصد کل اراضی تخریب شده است. این در حالی است که براساس برآوردهای فائو، بیش از ۵۶ میلیون هکتار از اراضی ایران در نتیجه فعالیت‌های انسانی در معرض فرسایش آبی بالاتر از ۱۰ تن در هکتار در سال است (فیشر و همکاران، ۲۰۰۶). کاهش قابل‌توجه عملکرد آبخیزهای ایران به‌دلیل حجم زیاد فرسایش، بیانگر ضرورت روزافزون پایش و پیگیری این پدیده مخرب است. در این مسیر، به‌کارگیری روش‌های نو و دانش روز از اهمیت زیادی برخوردار است. با وجود این‌که جمع‌آوری اطلاعات قابل اعتماد از میزان هدررفت خاک با هدف بررسی ابعاد مشکل و درک بهتر از کنترل‌های زیست‌محیطی و توسعه معیارهای حفاظتی و راهبردهای مدیریت سرزمین ضروری به‌نظر می‌آید، اما اندازه‌گیری فرسایش خاک و میزان رسوب به‌صورت مستقیم به‌دلیل زمان و هزینه‌بر بودن در بسیاری از آبخیزها، امری غیرممکن است. بنابراین برای رفع این مشکل می‌توان از مدل‌های فرسایشی استفاده کرد. بنابراین این پژوهش از روش سزیم ۱۳۷ و مدل RUSLE-3D^۱ به‌منظور برآورد فرسایش خاک در نهشته‌های لسی استفاده شده است. سزیم ۱۳۷ منبع طبیعی ندارد و در طی شکافت هسته‌ای آزمایش‌های هسته‌ای و آزادسازی از راکتورهای هسته‌ای ایجاد شده است (والینگ و همکاران، ۲۰۰۲؛ زاپاتا، ۲۰۰۳). در نتیجه پرکینز و توماس (۱۹۸۰) پراکنش وسیع سزیم ۱۳۷ را به محیط آزمایش‌های حرارتی اتمی سال ۱۹۵۲ مربوط دانستند (ریچی و مک‌هنری، ۱۹۹۰). خصوصیات سزیم ۱۳۷ مانند جذب سطحی رس‌ها

1- Revised Universal Soil Loss Equation

و مواد آلی، جذب جزئی به وسیله گیاهان، آبشویی اندک، اشعه گامای قوی، توزیع یکنواخت در لایه شخم، تحریک اندک به وسیله فعالیت‌های شیمیایی و بیولوژیکی موجب شد تا به‌عنوان یک عنصر برای اندازه‌گیری فرسایش و رسوب به‌کار رود. تمامی پژوهشگران که در کشورهای مختلف با سزیم ۱۳۷ کار کرده‌اند، با توجه به ویژگی‌های ممتازی که در این روش وجود دارد، توانمندی آن را تأیید کرده‌اند (گاسپارو همکاران، ۲۰۱۳؛ پورتو و والینگ، ۲۰۱۲؛ درکون و همکاران، ۲۰۱۲). محاسبه فرسایش به وسیله سزیم پرتوزا، براساس مقایسه مقدار سزیم ۱۳۷ (بر حسب بکرل بر مترمربع) موجود در خاک در معرض فرسایش با یک سطح مرجع است. کاهش نسبی سزیم در خاک نشان‌دهنده فرسایش و افزایش نسبی آن نشان‌دهنده رسوب یا افزوده شدن به خاک است. مقدار و جهت انحراف‌های اندازه‌گیری شده از سطح مرجع برای هر مکان بیانگر یک ارزیابی کیفی از توزیع مجدد رسوبات است. برای کسب برآورد کمی از میزان فرسایش و انتقال خاک باید رابطه‌ای بین اندازه انحراف از مقدار مرجع و میزان هدررفت خاک یا افزوده شدن خاک براساس داده‌های سزیم ۱۳۷ برقرار نمود که به آن تبدیل^۱ گفته می‌شود (والینگ و همکاران، ۲۰۰۲). بیش‌تر روش کار با سزیم ۱۳۷ برای برآورد فرسایش خاک شامل هفت مرحله جمع‌آوری نمونه‌های خاک از منطقه مورد مطالعه و مرجع، اندازه‌گیری کل سزیم باقی‌مانده ناشی از ریزش پرتویی در واحد سطح، اندازه‌گیری میزان سزیم (پرتوزایی در واحد سطح) برای هر مکان نمونه‌برداری، تعیین میزان هدررفت یا تجمع سزیم برای هر نمونه با مقیاس مقادیر اندازه‌گیری شده با نمونه مرجع، ایجاد کالیبراسیون برای هر منطقه بین هدررفت و تجمع سزیم و فرسایش و رسوب‌گذاری خاک، استفاده از روابط کالیبراسیون برای داده‌های سزیم ۱۳۷ و برآورد فرسایش برای هر ایستگاه و ترکیب نتایج فرسایش نقطه و داده‌های رسوبگذاری برای برآوردهای کلی از فرسایش و رسوبگذاری خاک است (کویین و همکاران، ۱۹۹۹؛ کویین و والینگ، ۱۹۹۳).

در سرتاسر جهان برای اندازه‌گیری و برآورد فرسایش خاک از روش‌ها و مدل‌های فرسایشی به‌ویژه سزیم ۱۳۷ و RUSLE-3D استفاده می‌شود. باساکا و همکاران (۱۹۹۳) اقدام به مقایسه RUSLE و روش سزیم ۱۳۷ در مقیاس چشم‌انداز در منطقه‌ای در آداهو آمریکا کردند که نتایج عدم همبستگی دو مدل را نشان می‌دهد. یوسف‌کلافی (۱۹۹۴) جز اولین استفاده‌کننده‌های روش سزیم ۱۳۷ در ایران با استفاده از این روش، فرسایش سطحی را در مراتع اندازه‌گیری کرد و نتایج را با مدل فرمول جهانی تلفات خاک مقایسه نمود. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از روش سزیم ۱۳۷ نسبت به

مدل معادله جهانی فرسایش به سهولت و دقت قابل قبولی می‌تواند فرسایش سطحی را روی یک سطح شیب‌دار محاسبه نماید. همچنین این مطالعه نشان داد که سرعت و نحوه اندازه‌گیری فرسایش با استفاده از روش سزیم ۱۳۷، سریع و آسان است. مونتگومری و همکاران (۱۹۹۷) در حوزه آبخیز پالوس اقدام به مقایسه RUSLE و روش سزیم ۱۳۷ کردند که در نهایت به این نتیجه رسیدند که با همبستگی خوبی ندارند. تورناگه و همکاران (۱۹۹۷) اقدام به مقایسه روش سزیم ۱۳۷ و مدل RUSLE در مناطق کارستی شرق تنسه کردند که در نهایت مدل RUSLE را برای این مناطق مناسب ندانستند. پورتو و همکاران (۲۰۰۱) اثر جنگل‌کاری بر فرسایش و حرکت رسوب را در کالابریا^۱ (ایتالیا) با کمک سزیم ۱۳۷ بررسی کردند. هاشمی و همکاران (۲۰۰۲) دو مدل RUSLE و MPSIAC را در حوزه آبخیز پگاه سرخ کتوند خوزستان با استفاده از RS و GIS مقایسه کردند. بوژان و همکاران (۲۰۰۳) در حوزه آبخیز پامپا در آرژانتین اقدام به مکان‌یابی مناطق فرسایش و رسوب با استفاده از روش سزیم ۱۳۷ کردند. هنرجو و همکاران (۲۰۰۴) میزان فرسایش خاک را در آبخیز ژنگ در استان چهارمحال و بختیاری با روش سزیم ۱۳۷ برآورد کردند. واران و همکاران (۲۰۰۵) اقدام به مقایسه دو نسخه از مدل USLE و مدل USPED با روش سزیم ۱۳۷ کردند که دو نسخه مدل USLE همبستگی خوبی با روش سزیم ۱۳۷ نداشته اما مدل USPED دارای همبستگی خوبی بود. چن و همکاران (۲۰۰۹) تغییرات ۳۰ ساله فرسایش بادی را در آبخیز رودخانه لوانه در چین با سزیم ۱۳۷ مورد بررسی قرار دادند. لی و همکاران (۲۰۰۹) تأثیر انواع کاربری اراضی و لندفرم را بر تولید فرسایش و رسوب را در حوزه آبخیز سیچوان هیل چین با استفاده از سزیم ۱۳۷ بررسی کردند. باگارلو و فرو (۲۰۱۰) در منطقه تحقیقاتی اسپاراسیا و سیسلی اثر طول پلات را با استفاده از RUSLE بر روی داده‌های هدررفت خاک مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. باسکان و همکاران (۲۰۱۰) در ترکیه با استفاده از معادله‌های مختلف فرسایش‌پذیری خاک، اقدام به بررسی فاکتور فرسایش‌پذیری خاک در مدل RUSLE کردند. اسدی و همکاران (۲۰۱۰) در حوزه آبخیز طاسران در ایران اقدام به محاسبه میزان فرسایش و رسوب در موقعیت‌های مختلف شیب با استفاده از روش سزیم ۱۳۷ کردند. رودوی و والینگ (۲۰۱۰) با استفاده از سزیم ۱۳۷ میزان فرسایش خاک را در مدت طولانی در مناطق تفریحی مانند پارک طبیعی دارتمو و مسیر ساحل جنوب غرب انگلستان تعیین کردند. افشار و همکاران (۲۰۱۰) در غرب ایران با استفاده از سزیم ۱۳۷ به بررسی رابطه بین

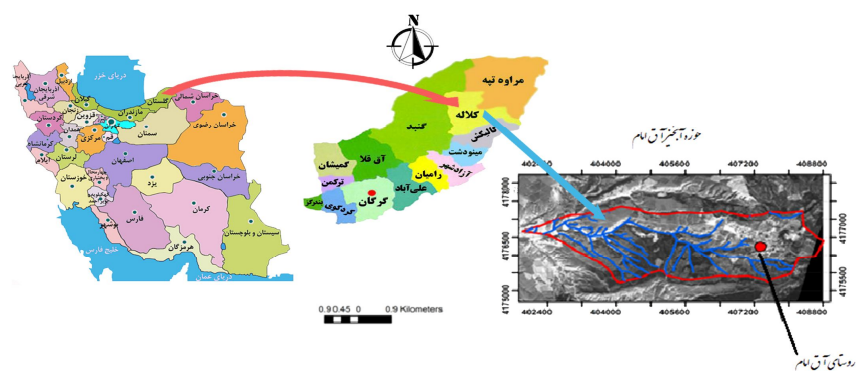
جابه‌جایی خاک و میزان نیتروژن و کربن خاک پرداختند. اورارد و همکاران (۲۰۱۰) در حوزه آبخیزی جابه‌جایی کشاورزی در اسپانیا با استفاده از سزیم ۱۳۷ اقدام به مدل‌سازی اثر تغییر کاربری زمین و بارندگی فصلی بر روی تولید رسوب در اراضی لسی کردند. حسینعلی‌زاده (۲۰۱۱) در حوزه آبخیز کچیک استان گلستان، با استفاده از رادیونوکلئوئیدهای ریزشی مانند سزیم ۱۳۷، برلیوم ۷ و سرب مازاد ۲۱۰ اقدام به بهینه‌سازی و شبیه‌سازی فرسایش سطحی کرده و به عیب‌ها و برتری‌های این رادیونوکلئوئیدها در نهشته‌های لسی اشاره نمود. براتی و همکاران (۲۰۱۱) پژوهشی با هدف پیش‌بینی مکانی توزیع سزیم ۱۳۷ به‌عنوان شاخصی از فرسایش و رسوب و بررسی وضعیت فرسایش مواد زمین‌شناسی در مارن‌های یال شمالی طالقان انجام دادند. آرخی و همکاران (۲۰۱۲) در آبخیز سد ایلام در غرب ایران مدل RUSLE را با کمک GIS اجرا کردند. رحیمی و همکاران (۲۰۱۲) در شهرستان فریدون‌شهر استان اصفهان اقدام به بررسی تأثیر موقعیت شیب و کاربری اراضی بر روی تغییرپذیری قابلیت مغناطیسی و موجودی سزیم ۱۳۷ کردند.

در این پژوهش با توجه به اهمیت نهشته‌های لسی از نظر حاصلخیزی و حساسیت بالا به فرسایش (اونق و نهتانی، ۲۰۰۴)، مواردی مانند اندازه‌گیری و برآورد میزان جابه‌جایی ذرات خاک به‌ترتیب با سزیم ۱۳۷ و مدل RUSLE-3D در حوزه آبخیز مام به‌منظور داشتن اطلاعات دقیق در زمینه میزان فرسایش نهشته‌های لسی این منطقه و مقایسه داده‌های میزان جابه‌جایی ذرات خاک ناشی از روش سزیم ۱۳۷ با مدل RUSLE-3D و ۳) تعیین کارایی مدل RUSLE-3D برای مناطق لسی با توجه به نبود داده‌های مشاهداتی و بالا بودن دقت روش سزیم ۱۳۷ مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: آبخیز آق‌امام با مساحت حدود ۱۰۰۰ هکتار از نظر تقسیمات سیاسی و جغرافیایی بخشی از حوزه آبخیز کچیک، واقع در شهرستان کلاله و در منتهی‌الیه شمال‌شرقی استان گلستان است (شکل ۱). این آبخیز به‌ترتیب دارای حداقل و حداکثر ارتفاع ۶۲۰ و ۱۲۶۴ متر از سطح دریا است که در بین طول‌های جغرافیایی ۵۵ درجه و ۵۷ دقیقه و ۱۰ ثانیه تا ۵۵ درجه و ۵۵ دقیقه و ۵۷ ثانیه و عرض‌های جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۲ دقیقه و ۱۵ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۴۶ دقیقه و ۲۵ ثانیه قرار گرفته است. واحد فیزیوگرافی در این حوضه به‌طور عمده متشکل از تپه‌ماهورهای با ارتفاع تقریباً یکسانی با پوشش ضخیمی از نهشته‌های لس بوده و کاربری اراضی آن به‌صورت زراعت دیم غلات،

هندوانه، مرتع و در برخی از اراضی محدود، جنگل‌های دست‌کاشت کاج است. مساحت اراضی کشاورزی آن در حدود ۴۰۰ هکتار بوده و بقیه قسمت‌ها را منابع ملی و اراضی غیرزراعی تشکیل می‌دهد. براساس روش دومارتن- گاتمن، حوضه دارای اقلیم نیمه‌خشک و براساس روش آمبرژه دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد است. با توجه به آمار ۱۵ ساله، میانگین بارش سالانه ۴۸۲ میلی‌متر است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه.

تعیین میزان جابه‌جایی خاک با استفاده از سزیم 137 : برای اندازه‌گیری میزان جابه‌جایی ذرات خاک به روش سزیم 137 ، یکی از اساسی‌ترین کارها تعیین نقطه مرجع است. منطقه مرجع منطقه‌ای است که در بازه زمانی حدود ۵۰-۴۰ سال از دسترسی بشر به دور بوده و هیچ‌گونه کشت و زرع و جابه‌جایی خاک را متحمل نشده باشد (زایاتا، ۲۰۰۳). بر این اساس منطقه مرجع در ۵ کیلومتری منطقه مورد مطالعه در نزدیکی سایت هوایی ارتش که امکان تردد وجود نداشت، تعیین شد. برای بالا بودن دقت کار باید در منطقه مرجع ۱۱ پروفیل حفر شود (زایاتا، ۲۰۰۳). بنابراین در این پژوهش با استفاده از دستگاه صفحه‌خراشنده^۱، ۱۲ پروفیل حفر گردید. حجم هر نمونه $۳۰ \times ۵۰ \times ۲۰$ سانتی‌متر بوده و تا عمق ۱۰ سانتی‌متری با فواصل ۲ سانتی‌متری و تا عمق ۴۰ سانتی‌متر با فواصل ۵ سانتی‌متر نمونه‌برداری صورت گرفت. الگوی تعیین نقاط در سایت مرجع به صورت روش تو در تو^۲ و به دور از هرگونه درخت و صخره بود. پس از تعیین عمق نفوذ سزیم در خاک منطقه مرجع، اقدام به برداشت نمونه

- 1- Scraper Plate
- 2- Nested

خاک از حوزه آبخیز مورد مطالعه شد. نمونه‌برداری در حوضه مورد مطالعه با استفاده از اوگر تا عمق ۳۰ سانتی‌متر و با شعاع ۴ سانتی‌متر و به‌صورت حجمی انجام شد. نحوه نمونه‌برداری در آبخیز مورد مطالعه براساس واحد کاری است که از تلفیق نقشه‌های شیب، فرسایش و کاربری اراضی تعیین شده است. موقعیت نقاط در مرکز هر واحد کاری قرار داشت. نقاط مشخص شده براساس نقشه واحد کاری ۳۴ عدد بود اما به‌دلیل صعب‌العبور بودن برخی از نقاط نمونه‌برداری، امکان برداشت همه نمونه‌ها وجود نداشت و در نهایت ۲۴ نمونه برداشت شد. پس از نمونه‌برداری، نمونه‌ها به آزمایشگاه نمونه‌سازی انستیتو فیزیک منتقل شدند. نمونه‌ها پس از آماده‌شدن برای طیف‌گیری به آزمایشگاه اسپکترومتری انتقال داده شدند. برای طیف‌گیری از آن‌ها از دو آشکارساز ژرمانیومی بالا خالص هم‌محور از نوع P با بازدهی نسبی ۳۸/۵ و ۵۵ درصد استفاده شد. پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها و به‌دست آوردن فعالیت سزیم^۱ (بکرل بر کیلوگرم) برای محاسبه فرسایش خاک نیاز به موجودی سزیم^۲ ۱۳۷ در نمونه خاک است. برای انجام این کار با استفاده از رابطه زیر (والینگ و همکاران، ۲۰۰۳) میزان موجودی سزیم (بکرل بر مترمربع) خاک به‌دست می‌آید.

$$CPI = \sum_{i=1}^N Ci \cdot Bi \cdot Di \cdot 10^3 \quad (1)$$

که در آن، CPI: میزان موجودی سزیم در خاک (بکرل بر مترمربع)، Ci: فعالیت سزیم ۱۳۷ در خاک (بکرل بر کیلوگرم)، Bi: وزن مخصوص خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) و Di: عمق نمونه‌برداری (متر) است.

پس از محاسبه میزان موجودی سزیم ۱۳۷ در نمونه‌های خاک باید با استفاده از مدل‌های تبدیل، موجودی سزیم را به‌میزان فرسایش خاک تبدیل کرد که استفاده این مدل‌ها در زمین‌های کشاورزی و غیرکشاورزی تفاوت دارد. در این پژوهش با توجه به دقت بالا و سادگی در استفاده، از مدل توازن جرمی II^۳ (رابطه‌های ۲ و ۳) برای مناطق کشاورزی و مدل انتقال و پخش^۴ (رابطه‌های ۴ و ۵) برای مناطق غیرکشاورزی استفاده شد.

-
- 1- CS Activity
 - 2- CS Inventory
 - 3- Mass Balance II
 - 4- Diffusion and Migration

$$\frac{dA(t)}{dt} = (1-\Gamma)I(t) - (\lambda + P \frac{R}{d})A(t) \quad (۲) \text{ (برای مناطق فرسایش یافته)}$$

که در آن، $A(t)$: موجودی سزیم در نقطه فرسایشی (بکرل بر مترمربع)، R : میزان فرسایش (کیلوگرم بر مترمربع بر سال)، λ : عمق توده تجمعی (کیلوگرم بر مترمربع)، $I(t)$: ته‌نشست سزیم سالانه (بکرل بر مترمربع در سال)، Γ : سزیم تازه ته‌نشست کرده (بکرل بر مترمربع) و P : عامل تصحیح اندازه ذره است.

$$A_{ex} = \int_0^t R C_d(t') e^{-\lambda(t-t')} dt' \quad (۳) \text{ (برای مناطق رسوب)}$$

که در آن، R : میزان ته‌نشست (کیلوگرم بر مترمربع در سال) و C_d : غلظت رسوب ته‌نشست شده (بکرل بر مترمربع در سال) است.

$$\int_0^t PRC_u(t') e^{-\lambda(t-t')} dt' = A_{1s}(A) \quad (۴) \text{ (برای مناطق فرسایش یافته)}$$

$$R' = \frac{A_{ex}}{\int_0^t C_d(t') e^{-\lambda(t-t')} dt'} = \frac{A_u - A_{ref}}{\int_0^t C_d(t') e^{-\lambda(t-t')} dt'} \quad (۵) \text{ (برای مناطق رسوب)}$$

مدل **RUSLE-3D** اساس معادله **RUSLE-3D** با **USLE** مشابه است، اما در زیر عامل‌های آن تغییراتی صورت گرفته است:

$$E=R.C.K.L.S.P \quad (۶)$$

عامل فرساینده‌گی باران (R) به‌عنوان مجموع متوسط سالیانه مقادیر شاخص رگبار فرسایش مجزا (**EI30**) شناخته می‌شود که E انرژی جنبشی رگبار کل و 30 ، حداکثر شدت بارش در مدت 30 دقیقه است. برای محاسبه **EI30** داده‌های شدت بارش پیوسته مورد نیاز است. ویشمایر و اسمیت (۱۹۷۸) توصیه کردند که حداقل به داده‌های باران سنج خودکار به مدت 30 سال برای انعکاس تغییرات طبیعی اقلیمی لازم است. اگرچه پوشش مکانی و زمانی داده‌های باران سنج خودکار اغلب بسیار محدود است (مارکوس و همکاران، ۲۰۰۷). عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) با توجه به اطلاعات درصد مواد آلی، بافت خاک و ساختمان خاک با رابطه ۷ محاسبه می‌شود (ترانووا و همکاران، ۲۰۰۹):

$$k = 2/77 \times 10^{-7} \times M^{1/14} (12 - 20c) + 4/28 \times 10^{-2} (Ss - 2) 3/29 \times 10^{-2} (R_{r-3}) \quad (7)$$

که در آن، عامل طول و درصد شیب (LS) ابتدا توسط ویشمایر و همکاران (۱۹۷۸) محاسبه گردید و سپس توسط میتاسوا و همکاران (۱۹۹۶) به صورت سه بعدی برای کاربرد در مدل های توزیع مکانی اصلاح گردید که به صورت رابطه ۸ آورده شده است (وارن و همکاران، ۲۰۰۵؛ میتاسوا و همکاران، ۱۹۹۶):

$$LS(r) = (m + 1) \left[\frac{A(r)}{22/13} \right]^m \times \left[\frac{\sin \beta(r)}{0.09} \right]^n \quad (8)$$

که در آن، A(r): مساحت حوضه بالادست (مترمربع)، B(r): زاویه تندترین شیب (درجه) و m و n: پارامترهایی که مرتبط با نوع جریان است. عامل مدیریت و پوشش گیاهی (C) اثرات ترکیبی مرتبط با متغیرهای پوشش و مدیریت محصول را محاسبه می کند. این عامل با توجه به نوع کاربری اراضی و درصد پوشش گیاهی با استفاده از جدول ها و یا تصاویر ماهواره ای قابل برآورد است (فیستیکوگلو و هارمانسیوگلو، ۲۰۰۲). عامل عملیات حفاظتی (p) اثرات کنتوربندی، تراس بندی و کشت نواری را محاسبه می کند. این فاکتور به عنوان میزان هدررفت خاک با برخی از عملیات های حفاظتی به هدررفت خاک متناظر برخی از کشت ها تعریف می شود (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۶). این عامل با توجه به جدول ها مربوطه قابل برآورد است. برای محاسبه فرسایش پذیری خاک براساس نقاط به دست آمده از نقشه واحد کاری که در بخش قبل توضیح داده شد، نیاز به داده هایی مانند بافت خاک، کلاس ساختمان خاک، در صد ماده آلی خاک، میزان شن خیلی ریز خاک و میزان نفوذپذیری خاک است. برای به دست آوردن بافت خاک از روش هیدرومتری، برای تعیین درصد ماده آلی از درصد کربن آلی، برای به دست آوردن کلاس ساختمان خاک از درصد سنگریزه، برای نفوذپذیری از بافت خاک استفاده شد (آگولینی و همکاران، ۲۰۰۶؛ تاگواس و همکاران، ۱۹۹۹). با استفاده از نقاط ارتفاعی، خطوط جریان و توپوگرافی نقشه DEM تهیه شد، سپس با استفاده از روش میتاسوا و همکاران (۱۹۹۶) نقشه عامل طول شیب به دست آمد. نقشه فرسایش پذیری باران در مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور با استفاده از فرمول فورنیه اصلاح شده به دست آمده است (حکیم خانی و همکاران، ۲۰۰۵). به منظور اعمال عامل C، با استفاده از تصاویر لندست ۲۰۰۲، مساحت هر یک از پوشش های زمین استخراج گردیده و برای هر یک از پوشش ها براساس جدول منتشر شده توسط USDA یک

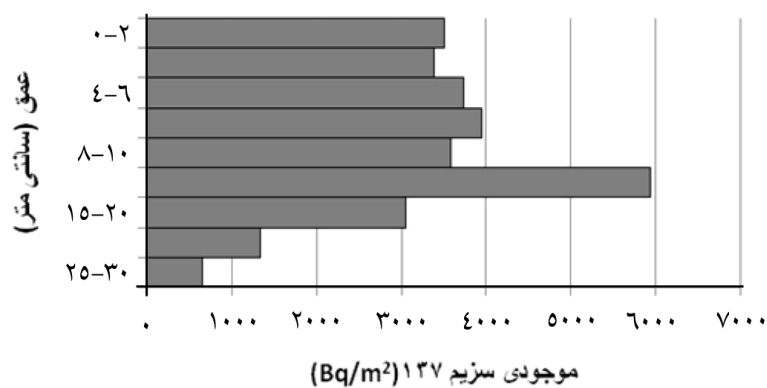
ارزش در نظر گرفته شد. عامل شیوه‌های حفاظتی (p) نسبت هدررفت خاک با شیوه‌های حفاظتی به‌خصوص در اراضی کشاورزی به اراضی بدون پوشش است. در آبخیز مورد مطالعه به دلیل این‌که هیچ‌گونه عملیات حفاظتی مانند ترانس‌بندی و کشت بر روی خطوط تراز صورت نگرفته است، برای عامل P عدد یک را در نظر گرفته شد.

ارزیابی مدل RUSLE-3D: با توجه به این‌که مدل RUSLE-3D قابلیت برآورد رسوب را ندارد و تنها به برآورد فرسایش می‌پردازد، به‌منظور مقایسه نتایج ناشی از روش سزیم ۱۳۷ با مدل RUSLE-3D، مکان‌های رسوب به‌دست آمده به‌وسیله روش سزیم ۱۳۷ نادیده گرفته و مدل RUSLE-3D ارزیابی شد. محل مقایسه دو مدل محل نمونه‌گیری میزان سزیم ۱۳۷ بود. پس از محاسبه میزان هدررفت خاک از ۲۴ موقعیتی که براساس نقشه واحدهای کاری استخراج شده بود، برای محاسبه کل فرسایش هر واحد کاری، مقدار فرسایش هر مکان نمونه‌برداری در مساحت آن واحد کاری ضرب گردید. سپس با استفاده از میانگین وزنی، میزان متوسط هدررفت خاک اندازه‌گیری و برآورد شده استخراج گردید و برای ارزیابی مدل RUSLE-3D در مکان‌های نمونه‌برداری که معرف هر واحد کاری می‌باشند، ضریب همبستگی بین مقادیر به‌دست آمده از مدل RUSLE-3D (برآورد شده) و روش سزیم ۱۳۷ (اندازه‌گیری شده) تعیین گردید.

نتایج

روش سزیم ۱۳۷: به دلیل این‌که یکی از اهداف این پژوهش برآورد فرسایش در واحدهای کاری مختلف است، تهیه نقشه واحد کاری جزء اساسی‌ترین کارها به‌شمار می‌رود. بنابراین تهیه این نقشه مستلزم تلفیق نقشه‌های شیب، فرسایش و کاربری اراضی است. با توجه به نقشه واحد کاری سعی بر آن شد که در مرکز هر واحد کاری یک نقطه برای مشخص شدن مکان نمونه‌برداری در نظر گرفته شود. قبل از برداشت از منطقه مورد مطالعه، به دلیل تعیین عمق نفوذ سزیم در لایه خاک، باید ابتدا از منطقه مرجع نمونه‌برداری صورت گیرد. در شکل ۲ میزان موجودی سزیم ۱۳۷ در منطقه مرجع نشان داده شده است. در نهایت میزان موجودی سزیم ۱۳۷ در منطقه مرجع ۳۱۱۸/۰۶ بکرل بر مترمربع تعیین شد. همان‌طورکه در شکل پیداست عمق نفوذ سزیم در منطقه مرجع تا ۳۰ سانتی‌متری است. لازم به ذکر است با مقایسه نمودار موجودی سزیم منطقه مرجع با پژوهش‌های

صورت گرفته در سایر نقاط جهان و توجه به پیک سزیم در لایه ۱۵-۱۰ سانتی متری می توان به دست نخورده بودن منطقه پی برد، زیرا در نقاط دست نخورده به دلیل فعالیت های طبیعی منطقه مانند گیاهان و جانوران منطقه، بیشترین حجم سزیم در این لایه قرار دارد (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۳؛ اونس و والینگ، ۱۹۹۶).



شکل ۲- پروفیل موجودی سزیم ۱۳۷ در منطقه مرجع.

پس از تعیین میزان فعالیت سزیم ۱۳۷ در منطقه مرجع و تبدیل به موجودی سزیم، میزان سزیم ۱۳۷ آبخیز آق امام تعیین شده (جدول های ۱ و ۲) و سپس موجودی سزیم آبخیز آق امام با منطقه مرجع مقایسه شد (شکل ۳). در شکل ۳ نوار بنفش بیانگر میانگین موجودی سزیم ۱۳۷ در منطقه مرجع، نوار سبز بیانگر میانگین موجودی سزیم ۱۳۷ منطقه مرجع منهای ۲ برابر انحراف معیار موجودی سزیم ۱۳۷ منطقه مرجع و نوار قرمز بیانگر میانگین موجودی سزیم ۱۳۷ منطقه مرجع به اضافه ۲ برابر انحراف معیار موجودی سزیم ۱۳۷ منطقه مرجع است که قرارگیری نقاط در این محدوده جز نقاط انتقال و در زیر خط سبز بیانگر نقاط فرسایشی و بالاتر خط قرمز بیانگر نقاط رسوب است.

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک جلد (۲۱)، شماره (۵) ۱۳۹۳

جدول ۱- میزان فعالیت و موجودی سزیم ۱۳۷ در مکان‌های نمونه‌برداری (اراضی کشاورزی آبخیز آق‌امام).

پروفیل	شیب (درصد)	فعالیت سزیم ۱۳۷ (بکرل بر کیلوگرم)	موجودی سزیم ۱۳۷ (بکرل بر مترمربع)
S _{۲۴}	۰-۵	۳/۹۴	۱۹۴۹/۸۷
S _۶	۲۵-۳۰	۸/۵	۳۶۸۳/۳۵
S _{۳۰}	۲۰-۲۵	۶/۹۱	۳۲۷۹/۰۱
S _۳	۱۵-۲۰	۴/۲۹	۲۰۶۵/۷۸
S _{۳۲}	۱۵-۲۰	۱/۵۲	۷۷۷/۳
S _۷	۲۰-۲۵	۴/۱۴	۱۸۶۳/۶۵
S _{۱۷}	۲۰-۲۵	۸/۶	۴۰۸/۹۹
S _۸	۲۵-۳۰	۴/۵۷	۲۳۰۶/۷۵
S _{۲۵}	۲۰-۲۵	۴/۰۹	۲۰۳۳/۲۹
S _۴	۰-۵	۴/۲۹	۲۱۶۴/۳۹
S _{۲۵}	۰-۵	۳/۱۲	۲۱۱۴/۲۴
S _{۳۶}	۱۰-۱۵	۲/۸۳	۱۲۹۷/۷۵
S _{۳۷}	۱۰-۱۵	۱/۰۹	۵۴۹/۵۴
S _{۳۸}	۲۰-۲۵	۲/۲۱	۸۳۴/۱۷

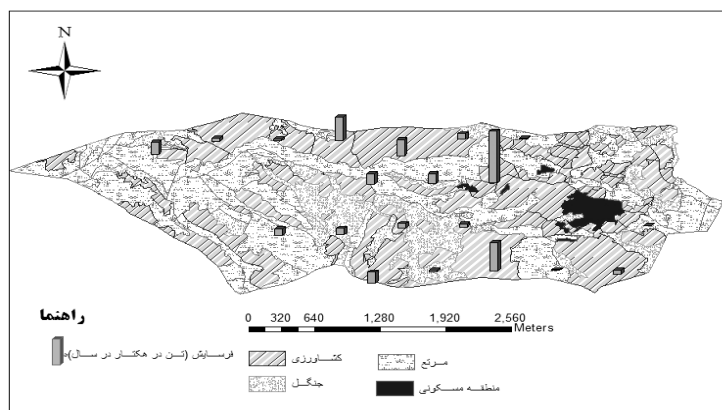
جدول ۲- میزان فعالیت و موجودی سزیم ۱۳۷ در مکان‌های نمونه‌برداری (اراضی غیر کشاورزی آبخیز آق‌امام).

پروفیل	شیب (درصد)	کاربری اراضی	فعالیت سزیم ۱۳۷ (بکرل بر کیلوگرم)	موجودی سزیم ۱۳۷ (بکرل بر مترمربع)
S _{۳۳}	۱۵-۲۰	جنگل دست‌کاشت	۴/۱۹	۲۲۵۱/۲۹
S _{۳۱}	۱۵-۲۰	جنگل دست‌کاشت	۴/۴۷	۲۰۶۲/۳۹
S _۲	۲۰-۲۵	جنگل دست‌کاشت	۸/۴۹	۴۷۹۱/۶۵
S _{۱۵}	۲۵-۳۰	جنگل	۱/۱۳	۵۱۲/۹۷
S _{۳۴}	۲۰-۲۵	جنگل	۷/۰۳	۳۲۲۶/۸
S _{۳۳}	۲۵-۳۰	جنگل	۷/۲۸	۳۷۳۷/۰۴
S _{۲۸}	۲۰-۲۵	جنگل	۵/۸۱	۲۲۹۶/۷۴
S _{۲۲}	۲۵-۳۰	جنگل	۹/۳۸	۳۷۱۴/۳۷
S _{۱۶}	۲۵-۳۰	مرتع مشجر	۱/۰۱	۵۶۹/۰۲



شکل ۳- مقایسه موجودی سزیم ۱۳۷ منطقه مرجع با حوزه آبخیز آق امام.

برای محاسبه فرسایش به روش سزیم ۱۳۷ همان طوره که قبلاً توضیح داده شد از مدل توازن جرمی II برای مناطق کشاورزی و مدل انتقال و پخش برای مناطق غیرکشاورزی استفاده شد. بنابراین برای اجرای مدل، مناطق کشاورزی از مناطق غیرکشاورزی تفکیک شدند. جدول ۳ نشان دهنده میزان فرسایش در مکان های نمونه برداری حوضه مورد مطالعه است. لازم به ذکر است که اعداد منفی بیانگر فرسایش و اعداد مثبت بیانگر رسوب در آن مکان است. در نهایت با توجه به میزان جابه جایی ذرات خاک به دست آمده با استفاده از سزیم ۱۳۷، نقشه میزان جابه جایی ذرات خاک آبخیز آق امام در محیط GIS ترسیم شد (شکل ۴).

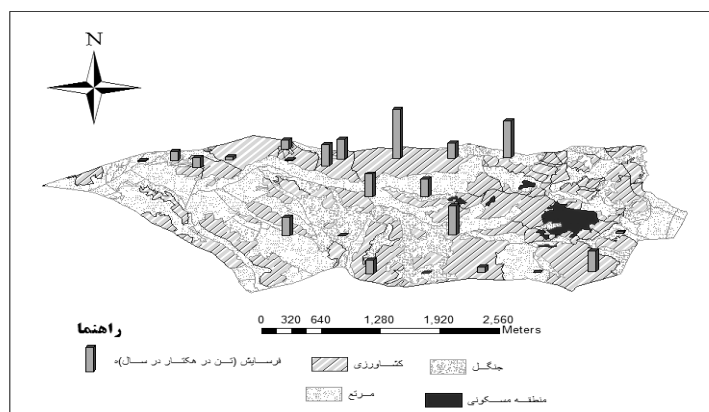


شکل ۴- نقشه میزان جابه جایی ذرات خاک به روش سزیم ۱۳۷.

جدول ۳- میزان فرسایش و رسوب برآوردی در آبخیز مورد مطالعه.

فرسایش (تن در هکتار در سال)	کاربری	پروفیل	فرسایش (تن در هکتار در سال)	کاربری	پروفیل
-۹۳/۶۲	کشاورزی	S _{۳۷}	-۱۰/۳۷	کشاورزی	S _{۲۴}
-۶۰/۶۳	کشاورزی	S _{۳۸}	۳۷/۹۹	کشاورزی	S _۶
-۵۳/۸۳	کشاورزی	S _۵	۲۵/۷۴	کشاورزی	S _{۳۰}
-۱/۸۶	غیرکشاورزی	S _{۳۳}	-۷/۵۷	کشاورزی	S _۳
-۱/۳۸	غیرکشاورزی	S _{۳۱}	-۶۵/۷۸	کشاورزی	S _{۳۲}
-۳/۹	غیرکشاورزی	S _۲	-۱۲/۶۱	کشاورزی	S _۷
-۲۳/۶۳	غیرکشاورزی	S _{۱۵}	-۱۲۰/۴۳	کشاورزی	S _{۱۷}
۹/۳۲	غیرکشاورزی	S _{۲۴}	-۲/۳۷	کشاورزی	S _۸
۱۵/۲۹	غیرکشاورزی	S _{۲۳}	-۸/۳۳	کشاورزی	S _{۲۵}
۲۷/۶۱	غیرکشاورزی	S _{۲۸}	-۵/۳۵	کشاورزی	S _۴
۱۵/۱۵	غیرکشاورزی	S _{۲۲}	-۶/۴۶	کشاورزی	S _{۳۵}
-۲۲/۸۲	غیرکشاورزی	S _{۱۶}	-۳۲/۰۸	کشاورزی	S _{۳۱}

مدل **RUSLE-3D** با تلفیق نقشه‌های عامل‌های **P, C, LS, K** و **R** در نرم‌افزار Arc GIS نقشه فرسایش مدل **RUSE-3D** تهیه شد (شکل ۵).



شکل ۵- نقشه نقطه‌ای فرسایش به روش **RUSLE** در مکان‌های نمونه‌برداری.

با مقایسه موجودی سزیم در منطقه مرجع و حوضه مورد مطالعه، ۱۴ مکان در زون فرسایش، ۴ مکان در زون انتقال و ۶ مکان در زون رسوب واقع شده‌اند. در کل میزان فرسایش تعیین شده از روش سزیم ۱۳۷ در آبخیز آقامام ۱۰/۷۸ تن در هکتار در سال به دست آمد، در حالی که مدل RUSLE-3D میزان متوسط فرسایش منطقه را ۲/۶۱ تن در هکتار در سال برآورد کرده است.

با توجه به این که شیب و کاربری در میزان فرسایش نقش به‌سزایی دارد، در این پژوهش سعی بر آن شد که میزان فرسایش برآوردی و اندازه‌گیری شده را در دو کلاس شیب ۰-۱۵ و بالای ۱۵ درجه و دو کلاس کاربری کشاورزی و غیرکشاورزی مقایسه شود. در مقایسه فرسایش برآوردی و اندازه‌گیری شده در کلاس شیب، میزان فرسایش اندازه‌گیری شده و برآوردی در شیب‌های زیر ۱۵ درجه، به ترتیب ۸ درصد و ۵ درصد کل فرسایش را نشان می‌دهد که مقدار برآورد شده (مدل RUSLE-3D) نسبت به مقدار اندازه‌گیری شده (روش سزیم ۱۳۷) کم‌تر است. با مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده در کاربری‌های مختلف، در کاربری کشاورزی مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده به ترتیب ۵۸ و ۴۸ درصد فرسایش کل را به خود اختصاص می‌دهد که نشان‌دهنده مقادیر برآورد بیش‌تر فرسایش نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده آن در کاربری کشاورزی است. نتایج روش سزیم ۱۳۷ نشان می‌دهد که کاربری‌های غیرکشاورزی مانند جنگل دست‌کاشت و مرتع مشجر، دارای رسوب‌گذاری بالایی هستند، در حالی که بیش‌ترین فرسایش متعلق به کاربری کشاورزی و مراتع با چرای شدید است، که این موضوع بیانگر اهمیت نقش درخت و پوشش گیاهی در حفاظت خاک و به دام‌اندازی رسوب است. در پژوهش‌های مشابه که توسط اونیانندو و همکاران (۲۰۰۵)، واران و همکاران (۲۰۰۵)، تورناگه و همکاران (۱۹۹۷)، مونگومری و همکاران (۱۹۹۷) و یوسف‌کلافی (۱۹۹۴) صورت گرفته، میزان برآوردی RUSLE با روش سزیم ۱۳۷ دارای همبستگی خوبی نیستند که پژوهش کار این پژوهشگران را تأیید می‌کند. پژوهشی نیز توسط بوژان و همکاران (۲۰۰۳) در آرژانتین انجام شد، که مبادرت به برآورد فرسایش در شیب‌های مختلف و مقایسه دو مدل RUSLE و سزیم ۱۳۷ کرده‌اند که در هر دو مدل، میزان فرسایش با درجه شیب همبستگی خوبی ندارد، در حالی که با طول شیب دارای همبستگی مورد قبول است و در درجه شیب، سزیم ۱۳۷ نسبت به RUSLE برآورد بهتری را داشته است.

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}Cs technique in a cultivated complex hillslope in western Iran. *J. Environ. Radioactivity*. 101: 8. 606-614.
2. Arekhi, S., Niazi, Y., and Kalteh, A. 2012. Soil erosion and sediment yield modeling using RS and GIS techniques: a case study, Iran. *Arab. J. Geosci*. 5: 2. 285-296.
3. Asadi, A., Shahoi, S., Asadi, M., and Shahsavari, A. 2010. Using ^{137}Cs for estimation of soil erosion and sediment in soils of Tasran catchment of Cabodarhang. *J. Engin. Watershed Manage*. 3: 2. 94-101.
4. Bagarello, V., and Ferro, V. 2010. Analysis of soil loss data from plots of differing length for the Sparacia experimental area, Sicily, Italy. *J. Biosyst. Engin*. 105: 3. 411-422.
5. Barati, H., Yavari, A., and Feiznia, S. 2011. Analysis of Erosion Rate in Marine Soils of Taleghan Area By ^{137}Cs . M.Sc. Thesis. University of Tehran. Tehran. 134p.
6. Baskan, O., Cebel, H., Akgul, S., and Erpul, G. 2010. Conditional simulation of USLE/RUSLE soil erodibility factor by geostatistics in a Mediterranean Catchment, Turkey. *J. Environ. Earth Sci*. 60: 6. 1179-1187.
7. Bujan, A., Santanatoglia, O.J., Chagas, C., Massobrio, M., Castiglioni, M., Yañez, M., Ciallella, H., and Fernandez, J. 2003. Soil erosion evaluation in a small basin through the use of ^{137}Cs technique. *J. Soil Till. Res*. 69: 1. 127-137.
8. Busacca, A., Cook, C., and Mulla, D. 1993. Comparing Landscape-Scale Estimation of Soil Erosion in the Palouse Using Cs-137 and Rusle. *J. Soil Water Conserv*. 48: 361-367.
9. Chen, Z.F., Zhao, Y., Qiao, J.J., Zhang, Q., Zhu, Y.E., and Xu, C.H. 2009. Retrospection of recent 30-year changes in the process of soil wind erosion in the Luanhe River Source Area of North China using Cesium-137. *J. Appl. Radiation Isotopes*. 67: 10. 1785-1789.
10. Dercon, G., Mabit, L., Hancock, G., Nguyen, M.L., Dornhofer, P., Bacchi, O.O.S., Benmansour, M., Bernard, C., Froehlich, W., Golosov, V.N., Hacıyakupoglu, S., Hai, P.S., Klik, A., Li, Y., Lobb, D.A., Onda, Y., Popa, N., Rafiq, M., Ritchie, J.C., Schuller, P., Shakhashiro, A., Wallbrink, P., Walling, D.E., Zapata, F., and Zhang, X. 2012. Fallout radionuclide-based techniques for assessing the impact of soil conservation measures on erosion control and soil quality: an overview of the main lessons learnt under an FAO/IAEA Coordinated Research Project. *J. Environ. Radioactivity*. 107: 78-85.
11. Evrard, O., Nord, G., Cerdan, O., Souchère, V., Le Bissonnais, Y., and Bonté, P. 2010. Modelling the impact of land use change and rainfall seasonality on sediment export from an agricultural catchment of the northwestern European loess belt. *J. Agric. Ecosyst. Environ*. 138: 1-2. 83-94.

12. Fischer, G., Shah, M., Velthuis, H., and Nachtergaele, F. 2006. Agro-ecological zones assessments. Land Use and Land Cover. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK.
13. Fistikoglu, O., and Harmancioglu, N.B. 2002. Integration of GIS with USLE in assessment of soil erosion. *J. Water Resour. Manage.* 16: 6. 447-467.
14. Gaspar, L., Navas, A., Walling, D.E., Machín, J., and Gómez Arozamena, J. 2013. Using ^{137}Cs and ^{210}Pb to assess soil redistribution on slopes at different temporal scales. *J. CATENA.* 102: 46-54.
15. Hakimkhani, Sh., Mahdian, M., Arabkhedri, M., and Ghorbanpour, D. 2005. Studing of rain erosivity in country level. The third national conference of eosion and sediment. Iran Soil Conservation and Watershed Management Research Center.
16. Hashemi, S.D., Heydari, A., Rangzan, K., and Zarasvandi, A. 2002. Comparison of RUSLE and MPSIAC Models in GIS and RS for Erosion and Sediment Yield Assessment in a Semi-arid Environment: Pegah-Sorkh Basin, Gotvand Area. 10th Geology conference. 12p.
17. Honarjoo, N., Mahmodi, S., Charkhabi, A., and Alimohammadi, A. 2004. Usin ^{137}Cs To Investigate Erosion And Sediment In Gorgak Catchment of Char Mahal Va Bakhtiari Province. *J. Nuclear Sci. Technol.* 34: 39-45.
18. Hosseinalizadeh, M. 2011. Optimization and simulation of surface erosion (Case study:paired sub-catchment of Kachik). Ph.D. Thesis. University of Tehran, Tehran, 258p.
19. Li, M., Li, Z., Yao, W., and Liu, P. 2009. Estimating the erosion and deposition rates in a small watershed by the ^{137}Cs tracing method. *J. Appl. Radiation Isotopes.* 67: 2. 362-366.
20. Marques, M.J., Bienes, R., Jiménez, L., and Pérez-Rodríguez, R. 2007. Effect of vegetal cover on runoff and soil erosion under light intensity events. Rainfall simulation over USLE plots. *J. Sci. Total Environ.* 378: 1-2. 161-165.
21. Mitasova, H., Hofierka, J., Zlocha, M., and Iverson, L.R. 1996. Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *Inter. J. Geograph. Inf. Syst.* 10: 5. 629-641.
22. Montgomery, J., Busacca, J., Frazier, B., and McCool, D. 1997. Evaluating Soil Movement Using Cesium-137 and the Revised Universal Soil Loss Equation. *J. Soil Sci. Soc. Amer. J.* 61: 571-579.
23. Ownegh, M., and Nohtani, M. 2004. Relationship between geomorphology units and erosion and sediment in Kashidar basin. *J. Agric. Natur. Sci.* 11: 1. 157-170.
24. Onyando, J.O., Kisoyan, P., and Chemelil, M.C. 2005. Estimation of Potential Soil Erosion for River Perkerra Catchment in Kenya. *J. Water Resour. Manage.* 19: 2. 133-143.

25. Owens, P., and Walling, D. 1996. Spatial Variability of Caesium-137 Inventories at Reference Sites: An Example from Two Contrasting Sites in England and Zimbabwe. *J. Appl. Radiation Isotopes*. 47: 699-707.
26. Porto, P., and Walling, D.E. 2012. Validating the use of ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pbex measurements to estimate rates of soil loss from cultivated land in southern Italy. *J. Environ. Radioactivity*. 106: 0. 47-57.
27. Porto, P., Walling, D.E., and Ferro, V. 2001. Validating the use of caesium-137 measurements to estimate soil erosion rates in a small drainage basin in Calabria, Southern Italy. *J. Hydrol*. 248: 1-4. 93-108.
28. Quine, T.A., and Walling, D.E. 1993. Assessing recent rates of soil loss from areas of arable cultivation in the UK. *J. Farm Land Erosion*. Elsevier. Pp: 357-371.
29. Quine, T.A., Walling, D.E., Chakela, Q.K., Mandiringana, O.T., and Zhang, X. 1999. Rates and patterns of tillage and water erosion on terraces and contour strips: evidence from caesium-137 measurements. *J. CATENA*. 36: 1-2. 115-142.
30. Rahimi, M.R., Ayoubi, S., and Abdi, M.R. 2012. Magnetic susceptibility and ¹³⁷Cs inventory variability as influenced by land use change and slope positions in a hilly, semiarid region of west-central Iran. *J. Appl. Geophys*. 89: 68-75.
31. Ritchie, C., and J McHenry, R. 1990. Application of Radioactive Fallout Cesium-137 for Measuring Soil Erosion and Sediment Accumulation Rates and Patterns: A Review. *J. Environ. Qual*. 19: 215-233.
32. Ritchie, J.C., and McHenry, J.R. 1990. Application of radioactive fallout cesium-137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and patterns: a review. *J. Environ. Qual*. 19: 2. 215-233.
33. Rodway-Dyer, S.J., and Walling, D.E. 2010. The use of ¹³⁷Cs to establish longer-term soil erosion rates on footpaths in the UK. *J. Environ. Manage*. 91: 10. 1952-1962.
34. Taguas, F., Martin, M., and Perfect, E. 1999. Simulation and Testing of Self-Similar Structures for Soil Particle-Size Distributions Using Iterated Function Systems. *J. Geoderma*. 88: 191-203.
35. Terranova, O., Antronico, L., Coscarelli, R., and Iaquina, P. 2009. Soil erosion risk scenarios in the Mediterranean environment using RUSLE and GIS: An application model for Calabria (southern Italy). *J. Geomorphol*. 112: 3-4. 228-245.
36. Turnage, K., Lee, S., Foss, J., Kim, K., and Larsen, I. 1997. Comparison of Soil Erosion and Deposition Rates Using Radiocesium, Rusle, and Buried Soils in Dolines in East Tennessee. *J. Environ. Geol*. 29: 1-10.
37. Ugolini, F., Certini, G., and Scalenghe, R. 2006. *Soils: Basic Concepts and Future Challenges*. Cambridge University Press.

38. Walling, D.E., He, Q., and Whelan, P.A. 2003. Using ^{137}Cs measurements to validate the application of the AGNPS and ANSWERS erosion and sediment yield models in two small Devon catchments. *J. Soil Till. Res.* 69: 1-2. 27-43.
39. Walling, D., Zhang, Y., and He, Q. 2002. Help File of 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). 32p.
40. Warren, S.D., Mitasova, H., Hohmann, M.G., Landsberger, S., Iskander, F.Y., Ruzycski, T.S., and Senseman, G.M. 2005. Validation of a 3-D enhancement of the Universal Soil Loss Equation for prediction of soil erosion and sediment deposition. *J. CATENA*. 64: 2. 281-296.
41. Wischmeier, W.H., and Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses-A guide to conservation planning. USDA-Agr. Handb. No. 537.
42. Yousefkalafi, S. 1994. Using ^{137}Cs in measuring surface erosion. M.Sc. Thesis. Tarbiat Modares university. 140p.
43. Zapata, F. 2003. Handbook for the assessment of soil erosion and sedimentation using environmental radionuclides, Vol. 219. Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers.
44. Zapata, F. 2003. The use of environmental radionuclides as tracers in soil erosion and sedimentation investigations: recent advances and future developments. *J. Soil Till. Res.* 69: 1-2. 3-13.
45. Zhang, H., Wang, Q., Dai, L., Shao, G., Tang, L., Wang, S., and Gu, H. 2006. Quantifying soil erosion with GIS-based RUSLE under different forest management options in Jianchang Forest Farm. *Science in China Series E: J. Technol. Sci.* 49: 160-166.
46. Zhang, X., Walling, D., Feng, M., and Wen, A. 2003. $^{210}\text{pbex}$ Depth Distribution in Soil and Calibration Models for Assessment of Soil Erosion Rates From $^{210}\text{pbex}$ Measurements. *J. Chine. Sci. Bulletin.* 48: 813-818.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 21(5), 2015
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Comaprison of Soil Erosion by ^{137}Cs and RUSLE-3D for Loess Deposits North-East of Iran (Study Area: Aghemam Catchment)

**H. Seyedalipour¹, S. Feiznia², H. Ahmadi²,
M.R. Zare³ and *M. Hosseinalizadeh⁴**

¹Ph.D. Student, Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Professor, Dept. of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, University of Tehran, ³Assistant Prof., Dept. of Physic, University of Isfahan, ⁴Assistant Prof., Dept. of Watershed and Arid Zone Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 04/29/2013; Accepted: 06/08/2014

Abstract

Significant reduction in performance of watersheds in Iran due to the high volume erosion indicate the need for increased monitoring and follow-up of this destructive phenomenon. In this way, using new methods and knowledge is important. Around the world many erosion models such as ^{137}Cs and RUSLE-3D model are used for soil erosion estimation. In this paper, soil erosion was estimated in Aghemam catchment by ^{137}Cs and RUSLE-3D methods due to importance and high sensitivity of loess deposits in this area. Due to the lack of observed data in this area and because of high accuracy of ^{137}Cs method in estimating soil erosion, performance of RUSLE-3D model was determined by comparing data collected from ^{137}Cs with RUSLE-3D model. The erosion rate was estimated 10.78 ton/ha/yr by using ^{137}Cs method, while this amount was 2.61 ton/ha/yr by RUSLE-3D model. In this study the erosion rate obtained by two methods were compared in the slope classes of 0-15° and in > 15°, also in cultivated and uncultivated land uses. Finally due to low correlation of these two methods, RUSLE-3D model is not recommended for this area.

Keywords: Soil erosion, Loess deposition, ^{137}Cs , RUSLE-3D, Aghemam catchment

* Corresponding Author; Email: mhalizadeh@gau.ac.ir

