



دانشگاه گرجان، دانش آب و خاک

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و هفتم، شماره دوم، ۱۳۹۹

۱۶۳-۱۷۸

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2020.16632.3194

## بررسی کارایی مدل WaTEM/SEDEM جهت برآورد فرسایش آبی و خاک‌ورزی (مطالعه موردی: زیرحوضه نمونه کچیک؛ مراوه‌تپه - استان گلستان)

\* محسن حسینعلی‌زاده<sup>۱</sup> و محمد علی‌نژاد<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد

گروه مدیریت مناطق بیابانی، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۲۸

### چکیده

**سابقه و هدف:** فرسایش آبی و خاک‌ورزی در اراضی کشاورزی شیب‌دار فرآیندی مخرب و جدی محسوب شده که به تدریج منجر به تغییر مورفولوژی منطقه می‌شود. درعین‌حال، اندازه‌گیری فرسایش خاک و میزان رسوب به صورت مستقیم در بسیاری از حوزه‌های آبخیز، امری تقریباً غیرممکن به‌شمار می‌آید؛ بنابراین مدل‌سازی و شبیه‌سازی فرسایش خاک برای درک فرآیندهای کنترل فرسایش خاک، پیش‌بینی میزان رواناب و فرسایش خاک و تعیین یا انتخاب اقدامات مناسب حفاظت خاک مهم است.

**مواد و روش‌ها:** منطقه مورد مطالعه، زیرحوضه نمونه از زیر حوضه‌های زوجی کچیک استان گلستان از زیرحوضه‌های چندگانه آبخیز گرگان‌رود است. این منطقه با وسعت تقریبی ۱۹۲ هکتار، کاملاً از نهشته‌های حاصلخیز و فرسایش‌پذیر لسی پوشیده شده است. در این پژوهش برای برآورد فرسایش آبی و خاک‌ورزی منطقه مورد مطالعه از نسخه ۲۰۰۴ مدل WaTEM/SEDEM استفاده شد. با استفاده از روش نمونه‌برداری دنباله‌ای موسوم به روش مدل‌منا با رویکرد مینیماکس، ۲۰ موقعیت مکانی مختلف جهت تعیین میزان فعالیت  $^{137}\text{Cs}$ ، موقعیت‌های فرسایش، انتقال و رسوب مشخص شد. در نهایت پس از تعیین میزان فعالیت رادیونوکلوئید  $^{137}\text{Cs}$ ، مقدار فرسایش و رسوب با استفاده از مدل‌های تبدیل اعم از مدل Mass Balance II برای کاربری کشاورزی و مدل Diffusion and Migration برای سایر کاربری‌ها مشخص شد و سپس نقشه نقطه‌ای فرسایش و رسوب برای ارزیابی مدل تهیه شد.

**یافته‌ها:** با استفاده از رادیونوکلوئید  $^{137}\text{Cs}$ ، ۹۰ درصد موقعیت‌های اندازه‌گیری در معرض فرسایش بودند. متوسط فرسایش اندازه‌گیری شده در این موقعیت‌ها با استفاده از مدل‌های تبدیل رادیونوکلوئیدها بالغ بر ۲۱/۱ تن در هکتار در سال تعیین شد. با استفاده از این مدل‌ها، نسبت تحویل رسوب حدود ۹۷ درصد تعیین شد که نشان‌دهنده پتانسیل بالای منطقه برای تولید رسوب می‌باشد. متوسط فرسایش آبی و خاک‌ورزی با استفاده از مدل WaTEM/SEDEM

\* مسئول مکاتبه: mhalizadeh@gau.ac.ir

به ترتیب ۸/۲۸ و ۴/۷۸ تن در هکتار در سال و متوسط رسوب حاصل از فرسایش آبی و خاک‌ورزی در مناطق رسوب‌گذاری به ترتیب ۱۸/۱۴ و ۷/۸۹ تن در هکتار در سال برآورد شد. متوسط فرسایش و رسوب توسط این مدل برای کل محدوده مورد مطالعه به ترتیب ۱/۴۶ و ۰/۸۵ تن در هکتار در سال بوده و میزان تحویل رسوب ۰/۵۸ برآورد شد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج این پژوهش بیانگر کم تخمینی مدل WaTEM/SEDEM نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده CS<sub>۱۳۷</sub> است؛ در نتیجه مدل فرسایشی WaTEM/SEDEM در نهشته‌های لسی، فرسایش‌پذیر و حاصلخیز شمال‌شرق استان گلستان کارایی بالایی ندارد. هرچند الگوی مکانی فرسایش و رسوب آبی و ناشی از خاک‌ورزی می‌تواند در اجرای اقدامات حفاظت آب و خاک مؤثر باشد. از طرفی با توجه به وسعت بالای اراضی زراعی شیب‌دار در نهشته‌های لسی استان، لحاظ کردن فرسایش خاک‌ورزی در تصمیمات بسیار دارای اهمیت است. هر چند برای قطعیت بیشتر، به واسنجی مدل و تکرار اجرای آن در سایر حوزه‌های آبخیز زراعی نیاز است.

**واژه‌های کلیدی:** اراضی زراعی شیب‌دار، رادیونوکلوئید ریزشی، مدل‌سازی فرسایش و خاک‌ورزی، مراوه‌تپه، نهشته‌های لسی

#### مقدمه

(۱۸)؛ بنابراین جمع‌آوری اطلاعات قابل‌اعتماد از میزان هدررفت خاک با هدف بررسی ابعاد مشکل و درک بهتر از کنترل‌های محیط‌زیستی و توسعه معیارهای حفاظتی و راهبردهای مدیریت سرزمین ضروری به نظر می‌آید و اندازه‌گیری و مدل‌سازی فرسایش خاک‌ورزی برای درک فرآیندهای کنترل فرسایش خاک، پیش‌بینی میزان فرسایش خاک و انتخاب اقدامات مناسب کنترلی اهمیت به‌سزایی دارد. به‌نحوی که با مدل‌سازی می‌توان به درک مناسبی از فرآیندهای محرک و شناسایی راه‌کارهایی برای کنترل فرسایش دست یافت. توسعه مناسب و واسنجی صحیح مدل‌ها، برآوردهای خوبی از خطرات فرسایش خاک را فراهم می‌کند و با توجه به این‌که عوامل مختلفی بر فرسایش خاک تأثیر گذاشته و مدل‌های فرسایشی در نقاط مختلف دنیا با شرایط خاص منطقه‌ای ساخته شده‌اند، قبل از اجرای مدل و استفاده از برآوردهای آن، باید از کارایی و صحت برآوردهای آن در شرایط خاص منطقه‌ای ایران مطلع شد.

یکی از عوامل اصلی تخریب خاک، فرسایش آبی است که در سرتاسر جهان تقریباً ۱۱۰۰ میلیون هکتار از اراضی تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۶). علاوه بر فرسایش آبی، فرسایش خاک‌ورزی<sup>۱</sup> در مناطق شیب‌دار فرآیندی مخرب و جدی در سرتاسر دنیا محسوب می‌شود (۱۳). خاک‌ورزی به عملیاتی اطلاق می‌شود که با هدف کاهش مقاومت، بهبود ساختمان خاک و افزایش نفوذپذیری خاک، دفن بقایای گیاهی، کنترل علف‌های هرز و برهم زدن لوله‌های موئین خاک برای کاهش تبخیر آب از خاک انجام می‌شود که می‌تواند باعث برهم‌ریختگی ساختمان خاک و انتقال ذرات خاک از بالا به پایین شیب در اراضی زراعی شود و فرسایش خاک را تشدید نماید (۱۸). جهت خرد کردن کلوخه‌ها در کشت مکانیزه به تردد زیاد ادوات خاک‌ورزی ثانویه نیاز است که منجر به پودر شدن ذرات خاک و جابجایی آن‌ها با جریان باد و آب شده که فرسایش بادی و آبی را به دنبال دارد

1- Tillage erosion

می‌تواند برای برآورد عامل فرساینده‌گی باران مورد استفاده قرار گیرد (۱۰). خادم‌الرسول و همکاران (۲۰۱۶) از مدل WaTEM/SEDEM به عنوان ابزاری برای مدیریت پایدار حوزه‌های آبخیز در منطقه زوجی شوش استفاده نموده و نتیجه گرفتند که این مدل در زمینه برآورد فرسایش کارایی بالایی داشته و ابزاری توانمند در زمینه ارزیابی حوزه آبخیز و انتخاب بهترین شیوه‌های مدیریتی را فراهم می‌نماید (۱۱). بهزادفر و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از الگوریتم تلفیق تصاویر ماهواره‌ای به بررسی و صحت برآورد رسوب‌دهی مدل WaTEM/SEDEM در حوزه آبخیز درکش استان خراسان شمالی پرداخته و نتیجه گرفتند که نقشه‌های نهایی طبقه‌بندی فرسایش حاصل از الگوریتم تلفیق تصاویر، بهتر و دقیق‌تر قادر به شناسایی نقاط حساس به خطر فرسایش است و مدل WaTED/SEDEM کارایی بالایی در برآورد تولید رسوب دارد که اعمال الگوریتم تلفیق تصاویر منجر به افزایش صحت نتایج مدل می‌شود (۳). با توجه به استفاده از رادیونوکلئیدهای ریزشی<sup>۲</sup> به ویژه  $^{137}\text{Cs}$  در ارزیابی مدل‌ها، حسینعلی زاده و همکاران (۲۰۱۲) به مطالعه و اهمیت  $^{137}\text{Cs}$  در مطالعات فرسایش و رسوب و طیف‌سنجی این رادیونوکلئید در زیر حوضه‌های زوجی حوزه آبخیز کچیک پرداختند (۸). آن‌ها مقادیر متوسط فرسایش را به ترتیب ۱۰/۱۲ و ۱۱/۳۹ تن در هکتار در سال در زیرحوضه‌های شاهد و نمونه تعیین کردند. سیدعلیپور و همکاران (۲۰۱۵) به مقایسه فرسایش خاک به روش  $^{137}\text{Cs}$  و مدل RUSLE-3D در نهشته‌های لسی شمال شرق ایران در حوزه آبخیز آق‌امام گلستان پرداختند که نتایج آنان نشان‌دهنده عدم تناسب مدل RUSLE-3D برای نهشته‌های لسی است (۱۷). حسینعلی زاده و همکاران (۲۰۱۷) به تحلیل زمین‌آماري چندمتغیره

مدل فرسایشی<sup>۱</sup> WaTEM/SEDEM مدلی است که فرسایش را در اراضی کشاورزی در دو مرحله فرسایش آبی و خاک‌ورزی به صورت توزیعی ارائه می‌دهد. این مدل توسط ون‌اوست و همکاران (۲۰۰۰) برای اولین بار ارائه شد که برگرفته از شرایط توپوگرافی و خصوصیات ادوات کشاورزی اعم از عمق خاک‌ورزی است (۱۹). به دلیل اهمیت مدل، نسخه‌های متعددی از این مدل منتج شده است به نحوی که سه نقشه فرسایش آبی، رسوب و فرسایش خاک‌ورزی را تولید می‌کنند (۲۰)؛ بنابراین با توجه به اهمیت مدل‌های نامبرده، ارزیابی کارایی آن‌ها در مناطق مختلف دارای اهمیت است که در این پژوهش به آن پرداخته شده است. در خصوص فرسایش و رسوب خاک مطالعات متعددی در مناطق مختلف جهان انجام شده است. فنگ و همکاران (۲۰۱۰) با مدل‌سازی فرسایش در حوضه‌های کوهستانی در منطقه‌ای از چین با استفاده از مدل WaTEM/SEDEM و کالیبره مدل با استفاده از داده‌های  $^{137}\text{Cs}$  نتیجه گرفتند که این مدل برای پیش‌بینی میزان فرسایش در هر سلول ضعیف عمل کرده، اما ابزار قوی برای تولید الگوی فرسایش به‌شمار می‌آید (۴). وراستران و همکاران (۲۰۰۲) فرسایش خاک و آلودگی رسوب را با استفاده از مدل WaTEM/SEDEM برای سه حوضه کشاورزی در بلژیک ارزیابی کرده و نتیجه گرفتند که اقدامات حفاظتی درون منطقه‌ای به‌تنهایی قادر به کاهش فرسایش در حوضه نیست ولی میزان رسوب را به‌شدت کاهش می‌دهد (۲۲). جوان‌دوست و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی عامل فرساینده‌گی باران با استفاده از زمین‌آمار و مدل WaTEM/SEDEM در حوزه روضه‌چای به این نتیجه رسیدند که تابع شعاعی به‌عنوان بهترین روش در میان روش‌های مورداستفاده

1- Water and Tillage Erosion Model/Sediment Delivery model

2- Fallout Radionuclides

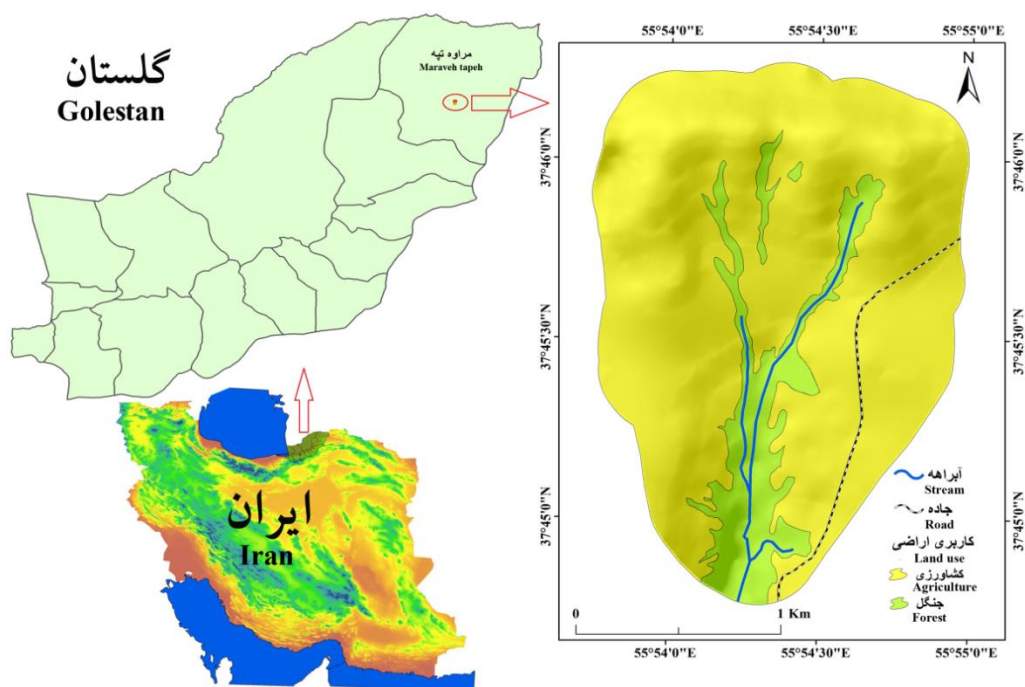
پرداخته نشده است، این پژوهش با هدف بررسی کارایی مدل توزیعی WaTEM/SEDEM با استفاده از داده‌های  $^{137}\text{Cs}$  در زیرحوضه نمونه آبخیز کچیک به وسعت تقریبی ۱۹۲ هکتار انجام شد.

### مواد و روش‌ها

**معرفی منطقه مورد مطالعه:** زیرحوضه‌های زوجی کچیک مراوه‌تپه در شمال‌شرق استان گلستان قرار دارد که کاملاً از نهشته‌های لسی پوشیده شده است. محدوده مورد مطالعه در این پژوهش زیرحوضه نمونه به وسعت تقریبی ۱۹۲ هکتار با متوسط شیب ۷/۵ درصد و دامنه ارتفاعی ۶۹۳ تا ۹۰۷ متر نسبت به سطح دریاست. موقعیت مکانی این عرصه در طول جغرافیایی  $53^{\circ}56'55''$  تا  $55^{\circ}54'45''$  شرقی و عرض جغرافیایی  $37^{\circ}44'55''$  تا  $37^{\circ}46'17''$  شمالی قرار دارد. با توجه به آمار ۱۵ ساله (۱۳۹۲-۱۳۷۷)، طبق تقسیم‌بندی اقلیمی آمبرژه، منطقه با میانگین بارش سالانه ۳۸۵ میلی‌متر، اقلیم نیمه‌خشک معتدل تا سرد را به خود اختصاص می‌دهد (۶). کشاورزی در این حوضه مشتمل بر زراعت دیم غلات و عمدتاً به روش سنتی صورت گرفته و همین امر سبب شده است تا در اراضی شیب‌دار، رواناب‌های سطحی هر ساله بخش عظیمی از خاک سطحی را شسته و با خود حمل نمایند. در این حوضه به دلیل ضخامت زیاد نهشته‌های لسی و حاصلخیزی نسبتاً مناسب اراضی، همه مناطقی که امکان استفاده از ادوات کشت و زرع در آن‌ها میسر بوده به اراضی کشاورزی تبدیل شده است. شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

رادیونوکلوئیدهای ریزشی ( $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  and  $^7\text{Be}$ ) ( $^{137}\text{Cs}$ ) با استفاده از طیف‌سنجی گامای قابل‌حمل در زیرحوضه‌های زوجی کچیک پرداختند. آن‌ها اشاره کردند که عدم قطعیت جهانی  $^{137}\text{Cs}$  در هر دو زیرحوضه شاهد و نمونه تقریباً یکسان بوده و رفتار مکانی آن مشابه است و برای سایر رادیونوکلوئیدهای ریزشی تفاوت دارد. از طرفی حداکثر عدم قطعیت در مورد  $^{137}\text{Cs}$  دارای فاصله تقریبی ۱ کیلومتر تعیین شد که ناشی از تغییرپذیری شدید جابجایی خاک است (۲۳).

کاهش قابل‌توجه عملکرد آبخیزهای ایران به دلیل 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. اقلیم حوزه آبخیز کچیک و مشکلات مربوط به کمبود نزولات جوی باعث شده بهره‌برداری زراعی عموماً به‌صورت دیم و با روش خاک‌ورزی مرسوم انجام شود. خاک‌های لسی منطقه به دلیل این‌که حاوی مواد آلی کمی بوده، بسیار حساس به فرسایش هستند (۱۲). با توجه به شرایط اقلیمی در مناطق خشک و نیمه‌خشک و وجود مشکلاتی مانند محدودیت منابع آب، فقیر بودن خاک‌های این مناطق از مواد آلی و آسیب‌پذیر بودن ساختمان آن‌ها به همراه شیوه‌های نادرست کشاورزی، لزوم توجه به فرسایش‌های ناشی از آب و خاک‌ورزی باید مورد توجه قرار گیرد؛ بنابراین با توجه به موارد بالا و اهمیت فرسایش‌های آبی و خاک‌ورزی در کشور که میزان بالای هدررفت خاک را به خود اختصاص می‌دهد و تاکنون به‌صورت توأم و مجزا در اراضی کشاورزی چشم‌اندازهای لسی شیب‌دار به آن



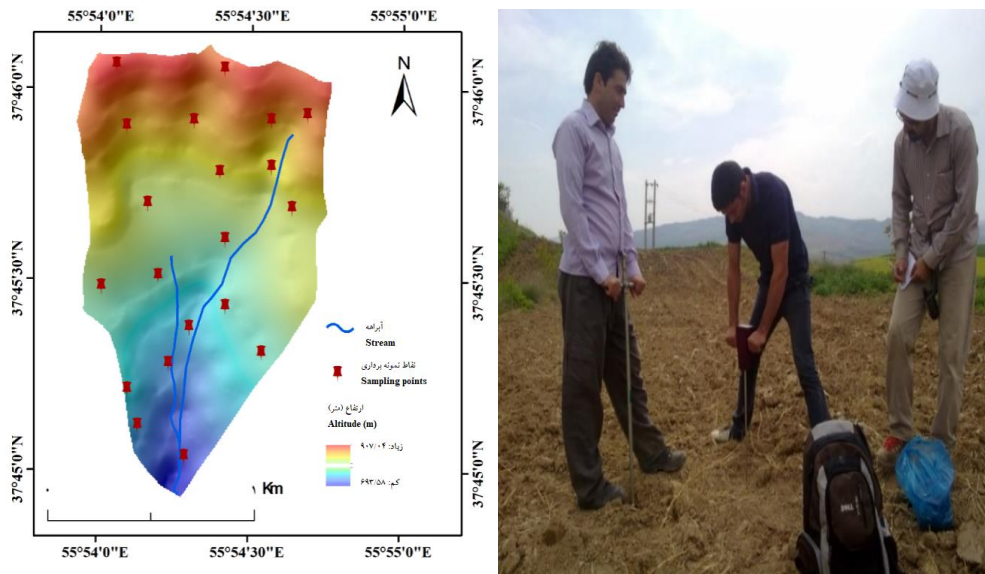
شکل ۱- موقعیت زیرحوضه مورد مطالعه در استان گلستان و ایران.

Figure 1. Location of the study area in Iran and Golestan Province.

مسکونی ایجاد می‌کند؛ بنابراین، این نقشه با استفاده از نقشه کاربری اراضی منطقه تهیه شد. همچنین، عامل فرسایش‌پذیری خاک، با استفاده از روش ترسیمی تعیین شد (۱۵). در این روش فرسایش‌پذیری به عواملی مانند مجموع درصد سیلت و ماسه خیلی ریز، درصد ماسه، درصد مواد آلی خاک، ساختمان خاک و نفوذپذیری خاک بستگی دارد (۳)؛ که بعد از محاسبه مقادیر عامل فرسایش‌پذیری خاک، نقشه این عامل در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.3 به روش درون‌یابی تهیه شد و در مدل مذکور مورد استفاده قرار گرفت.

روش کار پژوهش: پس از تعیین محدوده مورد مطالعه و تهیه نقشه‌های پایه (کاربری اراضی)، بر اساس روش نمونه‌برداری دنباله‌ای (روش مدل‌مبنا) با رویکرد مینیماکس<sup>۲</sup>، ۲۰ موقعیت مکانی با پراکنش مناسب در سطح حوضه برای تعیین ورودی‌های مدل WaTEM/SEDEM و تعیین فعالیت  $^{137}\text{Cs}$  مشخص شده و نمونه‌برداری خاک انجام شد (شکل ۲). نقشه پارسل، یک نقشه کاربری اراضی دوباره طبقه‌بندی شده است که بر اساس مشخصه‌ای که به هر کاربری داده می‌شود تفاوتی بین زمین‌های زراعی، جنگل، مرتع، جاده و اراضی

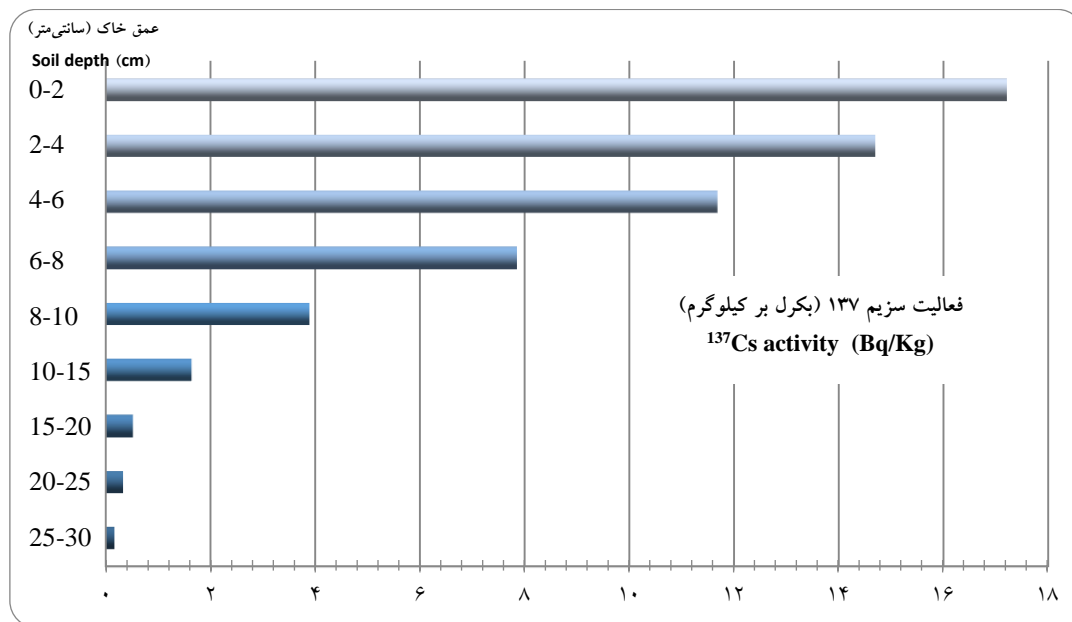
1- Model based  
2- Minimax approach



شکل ۲- نقاط نمونه‌برداری خاک برای تعیین ورودی‌های مدل و تعیین فعالیت  $^{137}\text{Cs}$ .  
**Figure 2. Soil sampling points for determining model inputs and  $^{137}\text{Cs}$  activity.**

پس از تعیین میزان فعالیت  $^{137}\text{Cs}$  (بر حسب بکرل بر کیلوگرم) در منطقه مرجع و تبدیل به موجودی  $^{137}\text{Cs}$  (بر حسب بکرل بر مترمربع) با استفاده از فرمول‌های مربوطه بر اساس وزن مخصوص خاک و عمق نمونه‌برداری (۶)، میزان  $^{137}\text{Cs}$  منطقه مورد مطالعه تعیین شده و موجودی  $^{137}\text{Cs}$  آن با منطقه مرجع مورد مقایسه قرار گرفت. در نهایت موقعیت‌های فرسایش، انتقال و رسوب تعیین و برای مقایسه آن‌ها دو برابر انحراف معیار میزان موجودی  $^{137}\text{Cs}$  در منطقه مرجع (۱۲ نیم‌رخ خاک: ۱۰۸ نمونه  $^{137}\text{Cs}$ ) لحاظ شد. برای محاسبه فرسایش به روش  $^{137}\text{Cs}$  مدل‌های تبدیل موردنظر استفاده شده سپس نقشه نقطه‌ای فرسایش و رسوب برای ارزیابی مدل تهیه شد. در نهایت پس از تهیه نقشه‌های پارسل‌بندی کاربری اراضی، مدل رقومی ارتفاع، رودخانه و نقشه عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) منطقه مورد مطالعه، برای برآورد فرسایش آبی و خاک‌ورزی کل منطقه از نسخه ۲۰۰۴ مدل WaTEM/SEDEM استفاده شد (۲۰). شکل ۴ نمودار جریانی مراحل انجام پژوهش را نشان می‌دهد.

بعد از نمونه‌برداری خاک و انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه مدل‌سازی اکوهیدرولوژی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، به‌منظور طیف‌سنجی  $^{137}\text{Cs}$ ، آماده‌سازی نمونه‌ها انجام شده و به آزمایشگاه تخصصی جهت طیف‌نگاری با استفاده از دو آشکارساز ژرمانیومی فوق خالص هم‌محور از نوع P با بازدهی نسبی ۳۸/۵ و ۵۵ درصد ارسال شد. سپس برای تبدیل  $^{137}\text{Cs}$  اندازه‌گیری شده به برآوردهای کمی فرسایش و رسوب از مدل Mass Balance II برای مناطق کشاورزی و مدل Diffusion and Migration برای سایر کاربری‌ها استفاده شد (۲۳). منطقه مرجع انتخابی برای روش  $^{137}\text{Cs}$  با توجه به نیمه‌عمر آن باید در حدود ۵۰-۶۰ سال اخیر دست‌نخورده باشد (جابجایی خاکی را متحمل نشده باشد) که برای این مطالعه از پژوهش‌های گذشته (حسینعلی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳) استفاده شد (۷). این منطقه در فاصله تقریبی ۳۰ کیلومتری منطقه مورد مطالعه واقع شده است. برای نمونه، نتایج یکی از نیم‌رخ‌ها (از ۱۲ نیم‌رخ) در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل ۳- فعالیت  $Cs_{137}$  در نیم رخ منطقه مرجع (۷).  
 Figure 3. <sup>137</sup>Cs activity in reference area (7).

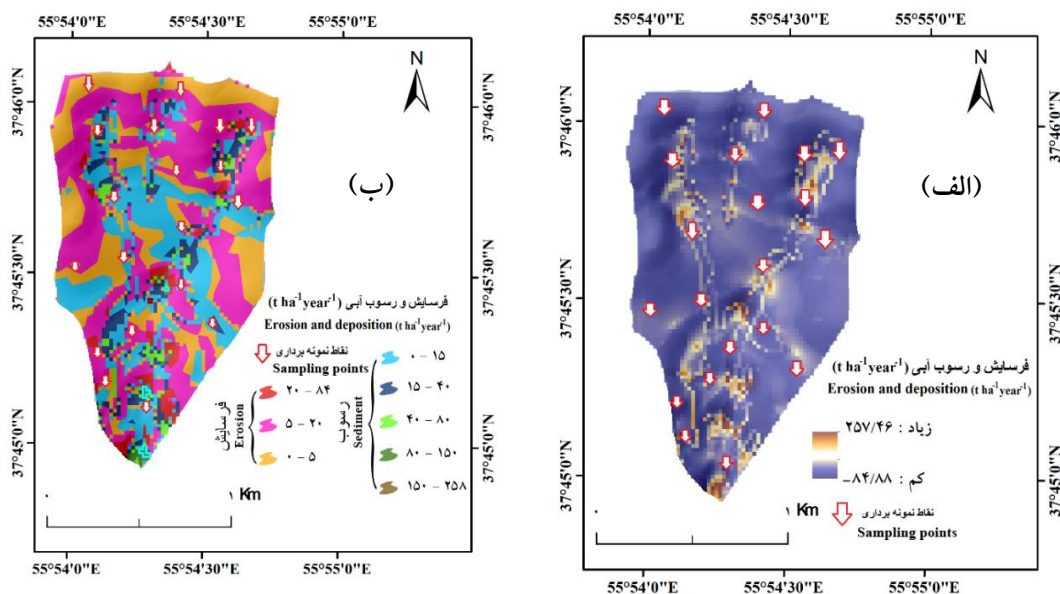


شکل ۴- نمودار جریان‌ی مراحل انجام پژوهش.  
 Figure 4. Flow chart of the research process.

نتایج و بحث

بعد از تهیه نقشه ورودی‌های مدل WaTEM/SEDEM (نقشه پارسل‌بندی کاربری اراضی، مدل رقمی ارتفاع، رودخانه و نقشه عامل فرسایش‌پذیری خاک) نقشه‌های خروجی مدل برای فرسایش آبی (شکل ۵) و برای فرسایش خاک‌ورزی (شکل ۶) به صورت دو نقشه طبقه‌بندی شده و توزیعی کمی (کروپلت) تهیه شد. میزان برآورد فرسایش و رسوب نیز به تفکیک مرحله‌های فرسایش آبی و

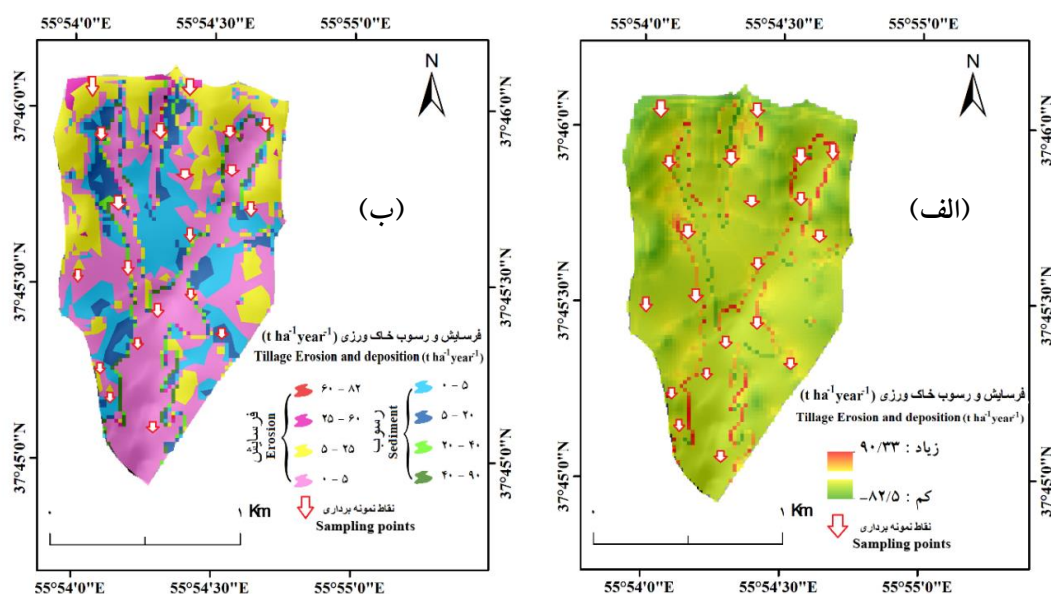
خاک‌ورزی در جدول ۱ آورده شده است. مطابق با نقشه خروجی فرسایش و رسوب آبی در هر سلول به وسعت ۱۰۰ مترمربع، حداکثر میزان فرسایش ۸۵ تن و حداکثر میزان رسوب حدود ۲۵۷ تن در سال برآورد شد. نقشه خروجی مدل در خصوص فرسایش خاک‌ورزی نیز نشان‌دهنده ۸۲/۵ تن فرسایش و ۹۰/۳ تن رسوب در منطقه مورد مطالعه است.



شکل ۵- فرسایش و رسوب آبی منطقه مورد مطالعه (الف: نقشه کروپلت و ب: نقشه طبقه‌بندی شده).

Figure 5. Erosion and sediment of the study area (A: choropleth map and B: classification map).





شکل ۶- فرسایش و رسوب خاک و رزی منطقه مورد مطالعه (الف: نقشه کروپلت و ب: نقشه طبقه بندی شده).

Figure 6. Erosion and sedimentation of the studied area (A: Choropleth map and B: classification map).

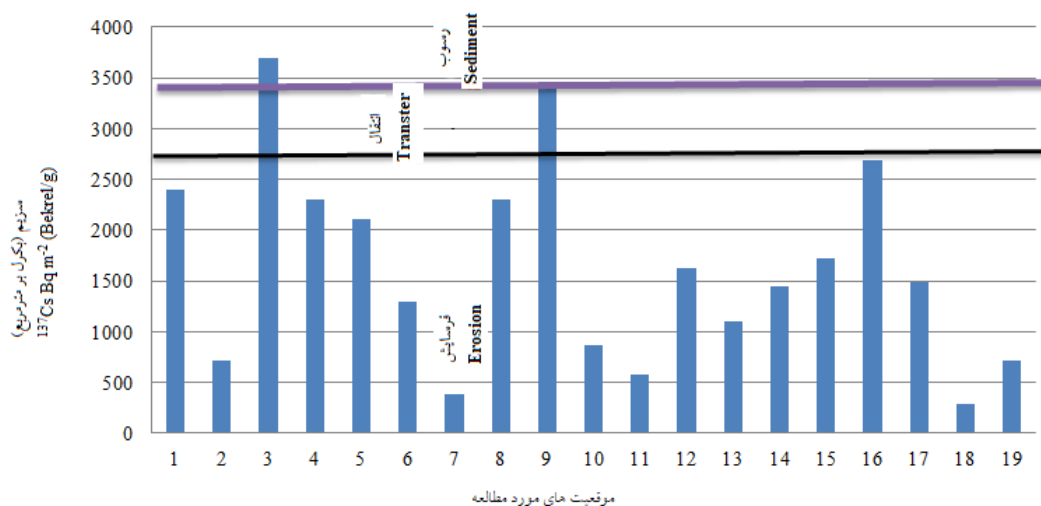
جدول ۱- نتایج حاصل از برآورد مدل WaTEM/SEDEM برای فرسایش آبی و خاک و رزی.

Table 1. Results of estimation of WaTEM/SEDEM for water and tillage erosion model.

مقدار رسوب (تن بر هکتار در سال) Sediment rate (t ha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> )	مقدار فرسایش (تن بر هکتار در سال) Erosion rate (t ha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> )	مساحت (هکتار) Area (ha)	طبقه Class	نوع فرسایش Type of erosion
-	29.9	6.2	20-84	فرسایش (Erosion)
-	10	70.91	5-20	
-	2.36	43.17	0-5	
متوسط فرسایش (Average of erosion)		8.28		
5.25	-	49.66	0-15	رسوب (Sediment)
24.86	-	14.12	15-40	
54.11	-	1.22	40-80	
104.57	-	4.87	80-150	
219.71	-	0.4	150-257.47	
متوسط رسوب (Average of sediment)		18.14		
1.46	برآیند میزان فرسایش و رسوب فرسایش آبی (Erosion and sediment of water erosion)			
-	69.1	0.12	60-82	فرسایش (Erosion)
-	32.43	2.97	25-60	
-	11.37	32.7	5-25	
-	1.1	82.9	0-5	
متوسط فرسایش (Average of erosion)		4.78		
2.03	-	58.66	0-5	رسوب (Sediment)
10.23	-	24.92	5-20	
28.75	-	4.76	20-40	
51.79	-	4.22	40-90.33	
متوسط رسوب (Average of sediment)		7.89		
0.85	برآیند میزان فرسایش و رسوب فرسایش خاک و رزی (Erosion and sediment of tillage erosion)			

چنانچه مقدار موجودی در محل نمونه‌برداری کم‌تر از ۲۷۵۱ بکرل بر مترمربع باشد، منطقه فرسایشی و اگر بیش‌تر از ۳۴۸۴ بکرل بر مترمربع باشد، منطقه رسوبی است و اگر مقدار موجودی  $^{137}\text{Cs}$  در هر یک از مکان‌های نمونه‌برداری بین ۲۷۵۱ و ۳۴۸۴ بکرل بر مترمربع واقع شود، آن محل به‌عنوان محل انتقال رسوب محسوب می‌شود. از این‌رو، بدون استفاده از مدل‌های تبدیل و فقط با مقایسه بین موجودی  $^{137}\text{Cs}$  در نقاط مرجع و زیرحوضه مورد مطالعه، تعداد محل‌های فرسایش، رسوب و انتقال در محل‌های نمونه‌برداری (۲۰ موقعیت در زیرحوضه نمونه) تعیین شد که نتایج در شکل ۷ ارائه شده است.

با استفاده از فعالیت  $^{137}\text{Cs}$  می‌توان جابجایی ذرات خاک (فرسایش، رسوب و انتقال) را فقط به‌صورت کیفی یا نیمه کمی نشان داد. میزان موجودی  $^{137}\text{Cs}$  در نقاط مرجع (تعداد ۱۰۸ نمونه) که در ۳۰ کیلومتری محدوده مورد مطالعه واقع شده بودند و زیرحوضه نمونه، براساس روش محاسبه دو برابر انحراف معیار میزان موجودی  $^{137}\text{Cs}$  در نقاط مرجع (حدود اطمینان ۹۵ درصد) به‌دست آمد. میزان موجودی  $^{137}\text{Cs}$  در نقاط مرجع، ۳۱۱۸ بکرل بر مترمربع تعیین شده بود (۷)؛ بنابراین با احتساب این میانگین و دو برابر انحراف معیار موجودی  $^{137}\text{Cs}$  در نقاط مرجع، مناطق فرسایش و رسوب تعیین شدند.



شکل ۷- فرسایش، رسوب و انتقال  $^{137}\text{Cs}$  در محل‌های نمونه‌برداری.

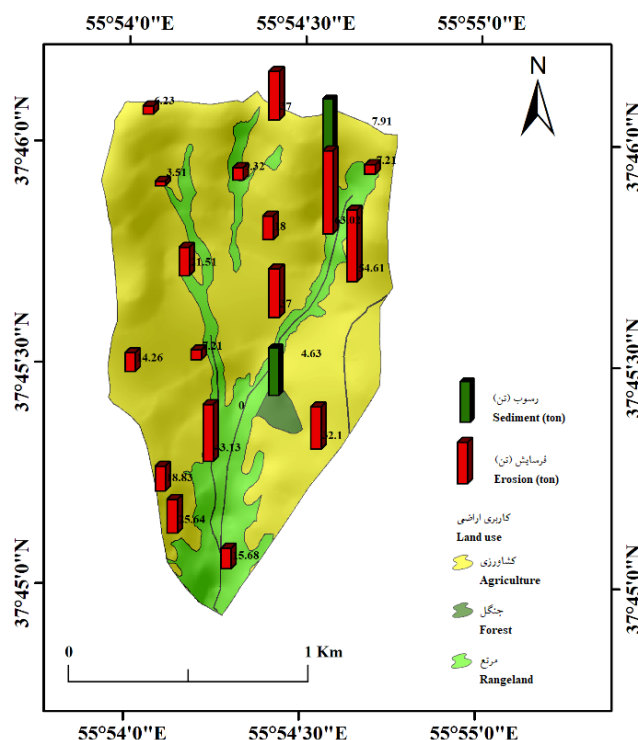
Figure 7. Erosion, deposition and transfer of  $^{137}\text{Cs}$  in the sampling sites.

ممکن است شکل شیب نیز در فرسایشی و یا رسوبی بودن منطقه نمونه‌برداری نقش مهمی را ایفا کند. با توجه به موقعیت‌های اندازه‌گیری  $^{137}\text{Cs}$  و استفاده از مدل‌های تبدیل، متوسط فرسایش برای این موقعیت‌ها بالغ بر ۲۱/۱ تن در هکتار در سال اندازه‌گیری شد. حداقل و حداکثر فرسایش در این موقعیت‌های اندازه‌گیری به‌ترتیب ۳/۵ و ۶۳ تن در هکتار در سال

با مقایسه بین موجودی  $^{137}\text{Cs}$  در نقاط مرجع و زیرحوضه مورد مطالعه، در این محدوده هیچ موقعیتی برای انتقال رسوب مشاهده نشده و تمامی حالات، فرسایش یا رسوب بودند. با توجه به نقشه پراکنش این موقعیت‌ها، نواحی رسوب در کاربری جنگل واقع شده‌اند که بیانگر رسوب‌گذاری یا عدم رخداد فرسایش در این نواحی است (شکل ۸). هر چند

تلفات خاک منجر می شود و از طرفی خاک ورزی تمام لایه های شخم خورده را سست و زیرو رو کرده و موجب پراکنش ذرات خاک می شود که در نهایت حساسیت خاک را به فرسایش آبی و بادی دوچندان می کند (۱۴).

اندازه گیری شد. نسبت انتقال رسوب نیز حدود ۹۷ درصد تعیین شد که نشان دهنده پتانسیل بالای منطقه برای تولید رسوب می باشد. به نقل از پاییرنیک و همکاران (۲۰۰۵) در برخی از مناطق، فرسایش خاک ورزی حدود ۳ برابر بیش تر از فرسایش آبی به



شکل ۸- محل های فرسایش و رسوب.

Figure 8. Erosion and sedimentation sites.

که با استفاده از برنامه نرم افزاری Add-Ins صورت گرفته است (۲۳) در جدول ۲ ارائه شده است.

در پژوهش حاضر مدل های تبدیل در مورد رادیونوکلوئید  $^{137}\text{Cs}$  مورد استفاده قرار گرفت (۷). بر این اساس ورودی ها و نتایج اجرای مدل های تبدیل

جدول ۲- ورودی و نتایج مدل های تبدیل.

Table 2. Input and results of conversion models.

نسبت انتقال رسوب (درصد) Sediment delivery ratio (%)	مقدار فرسایش خالص (تن در هکتار در سال)	مقدار فرسایش کل (تن در هکتار در سال)	مقدار جابجایی ذرات خاک (تن در هکتار در سال)			ویژگی های مورد نظر زیرحوضه Properties
	Net erosion (t ha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> )	Total erosion (t ha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> )	Translocation of soil particles (t ha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> )			
97	21.1	21.8	میانگین	حداکثر	حداقل	نمونه Sample
			Average	Max	Min	
			21.14	63	3.5	

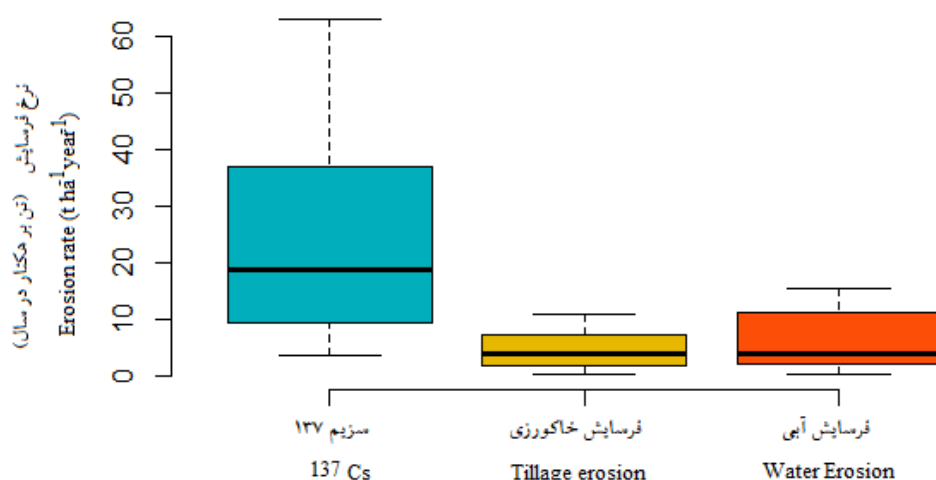
واقعی (اندازه‌گیری  $^{137}\text{Cs}$ ) است. قابل ذکر است که در این پژوهش، مدل موردنظر واسنجی نشد و ممکن است واسنجی مدل به رفع این نقیصه کمک کند ولی الگوی مکانی فرسایش خاک‌ورزی با الگوی مکانی کاربری‌های اراضی و مناطق فرسایش و رسوب ناشی از اندازه‌گیری  $^{137}\text{Cs}$  همخوانی دارد؛ بنابراین ضعف مدل در هر سلول (توزیعی بودن) و دقت آن در الگوی مکانی با نتایج فنگ و همکاران (۲۰۱۰) در آبخیزهای کوهستانی در کشور چین همخوانی دارد (۴). از طرفی آلوده‌تره و همکاران (۲۰۱۰) در اسپانیا اشاره کرده‌اند در صورت عدم نیاز مدل WaTEM/SEDEM به واسنجی، این مدل ابزار سودمندی برای پژوهش‌های فرسایش خاک به‌شمار می‌آید (۱).

جهت ارزیابی کارایی مدل از آزمون مقایسه میانگین‌ها در محیط نرم‌افزاری R (۵) و با استفاده از داده‌های فرسایش و رسوب برآورد شده برای فرسایش آبی و فرسایش ناشی از خاک‌ورزی و همچنین داده‌های  $^{137}\text{Cs}$  استفاده شد (جدول ۳). نتایج نشان داد بین مقدار برآورد فرسایش و رسوب مدل و داده‌های  $^{137}\text{Cs}$  تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۹ و جدول ۴). ورستراتن و پروسر (۲۰۰۸) و باکر و همکاران (۲۰۰۸) در پژوهش‌های جداگانه در مورد کاربرد مدل WaTEM/SEDEM، به تغییر کاربری در سال‌های اخیر و تأثیر آن در تولید رسوب اشاره کرده‌اند، به‌نحوی که این پژوهشگران بر اثر چشمگیری فرسایش خاک‌ورزی، تأکید داشته‌اند (۲ و ۲۱). نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر کم‌تخمینی مدل WaTEM/SEDEM نسبت به مقادیر

جدول ۳- میزان فرسایش و رسوب آبی، خاک‌ورزی و  $^{137}\text{Cs}$  نقاط انتخابی.

Table 3. Water erosion and deposition, Tillage and cesium of Selection points.

نقاط (Points)	فرسایش خاک‌ورزی (Tillage erosion)		فرسایش آبی (Water erosion)		سزیم ( $^{137}\text{Cs}$ ) (تن در هکتار در سال) ( $\text{t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ )	
	رسوب (Sediment)	فرسایش (Erosion)	رسوب (Sediment)	فرسایش (Erosion)		
1	-	8.03	-	0.27	-	
2	-	3.89	-	3.48	-	
3	0	0	-	4.99	7.91	
4	0	0	-	13.24	-	
5	0	0	8.07	-	-	
6	0	0	-	0.92	-	
7	2.85	-	5.65	-	-	
8	-	0.2	-	1.94	-	
9	0	0	-	11.22	4.63	
10	-	10.88	-	11.73	-	
11	0	0	-	3.07	-	
12	0	0	-	50.08	-	
13	-	-	16.31	-	-	
14	-	6.04	-	15.44	-	
15	-	1.54	-	0.07	-	
16	0	0	30.07	-	-	
17	-	1.66	-	5.9	-	
18	-	0	-	-	-	
19	-	-	5.09	-	-	
20	-	8.03	-	0.27	-	
	فرسایش خاک‌ورزی و $^{137}\text{Cs}$ (Tillage erosion and $^{137}\text{Cs}$ ):					0.064
	فرسایش خاک‌ورزی و فرسایش آبی (Water and tillage erosion):					0.25
	فرسایش آبی و $^{137}\text{Cs}$ (Water erosion and $^{137}\text{Cs}$ ):					0.13
						ضریب همبستگی Correlation Coefficient



شکل ۹- نمودار جعبه‌ای آزمون فرسایش آبی و خاک‌ورزی و  $^{137}\text{Cs}$ .

Figure 9. Box plot of water and tillage erosion and  $^{137}\text{Cs}$ .

جدول ۴- نتایج حاصل از آزمون معنی‌داری میزان برآورد مدل WaTEM/SEDEM و داده‌های  $^{137}\text{Cs}$  در نقاط انتخابی برای ارزیابی.

Table 4. The results of the significant test for evaluation of estimated WaTEM/SEDEM model and  $^{137}\text{Cs}$  data in selected points.

p-Value (فرسایش آبی - $^{137}\text{Cs}$ ) Water erosion and $^{137}\text{Cs}$	p-Value (فرسایش خاک‌ورزی - $^{137}\text{Cs}$ ) Tillage and $^{137}\text{Cs}$	p-Value (فرسایش آبی - خاک‌ورزی) Water and tillage erosion	متوسط وزنی فرسایش/ رسوب Weighted average (t ha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> )	نوع فرسایش/ رسوب Type of erosion/ Sediment
0.017*	-	0.8	8.79 تن فرسایش	فرسایش آبی
-	0.012*	0.08	4.6 تن فرسایش	فرسایش خاک‌ورزی
0.017*	0.012*	-	24.3 تن فرسایش	$^{137}\text{Cs}$

\* معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد

\* Significant at 95%

می‌شود. چراکه کاهش حاصلخیزی از طریق کوددهی توسط کشاورزان جبران شده و متأسفانه تلفات خاک (سرطان خاموش) با توجه به اعمال خاک‌ورزی در جهت شیب، به صورت ملموس به حساب نمی‌آید. کم‌تخمینی برآوردی توسط مدل در هر دو مرحله فرسایش آبی و ناشی از خاک‌ورزی نسبت به اندازه‌گیری رادیونوکلوئید ریزشی  $^{137}\text{Cs}$  ممکن است ناشی از عدم واسنجی مدل باشد که احتیاط در کاربرد مدل را به دنبال دارد. هر چند نقشه‌های فرسایش و رسوب آبی و ناشی از خاک‌ورزی الگوی مکانی تلفات خاک را نشان داده که می‌تواند چراغ راه

### نتیجه‌گیری کلی

با توجه به این‌که کل منطقه مورد مطالعه دارای نهشته‌های حاصلخیز و حساس لسی، در چشم‌اندازهای شیب‌دار بوده و درصد قابل‌توجهی از کاربری‌ها به کشاورزی اختصاص دارد، فرسایش آبی و فرسایش ناشی از خاک‌ورزی سهم بالایی از کل فرسایش را به خود اختصاص می‌دهد. غالب بودن فرسایش بر رسوب توسط  $^{137}\text{Cs}$  در محل‌های اندازه‌گیری (۹۰ درصد فرسایش) زنگ هشدار در تلفات این نهشته‌های حاصلخیز محسوب شده که متأسفانه توسط مدیران و مسئولین کم‌تر به آن پرداخته

زراعت اختصاص دارد، بنابراین فرسایش ناشی از شخم به‌ویژه در اراضی شیب‌دار معضل بسیار مهمی است که دارای اثرات سوء درون‌منطقه‌ای (کاهش حاصلخیزی، کاهش تولید محصول و ...) و بیرون‌منطقه‌ای (تولید رسوب در مخازن ذخیره‌ای پایین‌دست و تهدید کردن حیات آبریان) است که آن‌طور که شایسته است مورد بررسی قرار نگرفته است.

تصمیم‌گیری مدیران قرار گیرد. هر چند برای قطعیت بیشتر، به واسنجی مدل و تکرار اجرای آن در سایر حوزه‌های آبخیز زراعی نیاز است. از طرفی با توجه به این‌که محدوده مورد مطالعه یکی از سرشاخه‌های گرگان‌رود بوده و حوزه آبخیز گرگان‌رود قریب به نیمی از وسعت استان گلستان را به خود اختصاص داده و حدود ۴۴ درصد این حوزه آبخیز به کاربری

### منابع

- Alatorre, L.C., Begueria, S., and Garcia-Ruiz, J.M. 2010. Regional scale modeling of hillslope sediment delivery: A case study in the Barasona Reservoir watershed (Spain) using WATEM/SEDEM. *J. Hydrol.* 391: 1. 109-123.
- Bakker, M., Govers, G., Van Doorn, A., Quetier, F., Chouvardas, D., and Rounsevell, M. 2008. The response of soil erosion and sediment export to land-use change in four areas of Europe. The importance of Landscape Pattern. *Geomorphology.* 98: 213-22.
- Behzadfar, A., Khaledi Darvishan, A., and Gharagozlu, A. 2017. Increasing the accuracy of predicting sediment yield in watem/sedem model using image fusion algorithm (Case study: Darkesh watershed). *J. Water Soil Cons.* 7: 1. 99-111. (In Persian)
- Feng, X., Wang, Y., Chen, L., Fu, B., and Bai, G. 2010. Modeling soil erosion and its response to land-use change in hilly catchments of the Chinese Loess Plateau. *Geomorphology.* 118: 4. 239-248.
- Gentleman, R., and Ihaka, R. 1995. The R Home Page. The statistics department of the university of Auckland. New Zealand.
- Hosseinalizadeh, M. 2012. Optimization of Sampling Patterns for Spatial Simulation of Erosion (Case study: Kachik Subcatchments of Golestan Province). Ph.D. Thesis. Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions. Faculty of Natural Resources, University of Tehran. 262p. (In Persian)
- Hosseinalizadeh, M., and Seyedalipour, H. 2012. Application of Fallout Radionuclides in Soil Redistribution of Maravehtappeh Loess, Golestan Province. *J. Arid. Reg. Geogr. Stud.* 2: 7. 83-101. (In Persian)
- Hosseinalizadeh, M., Seyedalipour, M.H., Ahmadi, H., Feiznia, S., and Naseri, S. 2012. In situ and lab measurement of <sup>137</sup>Cs for soil redistribution studies (Case study: Kachik basin of Golestan Province). *Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi).* 102: 30-37. (In Persian)
- Hosseinalizadeh, M., Ahmadi, H., Feiznia, S., Rivaz, F., and Naseri, S. 2017. Multivariate geostatistical analysis of fallout radionuclides activity measured by in-situ gamma-ray spectrometry: case study: loessial paired sub-catchments in northeast Iran. *Quaternary International.* 429: 108-118.
- Javandoost, H. 2014. Spatial analysis of erosion- sediment hazard type and intensity in Rozeh Chay Watershed (Urmia Province). MSc Thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Gorgan. 130p. (In Persian)
- Khademorasul, A., Neysi, H., and Sayad, Gh.A. 2016. Using the watem / sedem topographic model as a tool for sustainable management of watersheds- (Case study: Shush basin). First International Conference on Natural Hazards and Environmental Crises in Iran, Solutions and Challenges. Ardebil. Pp: 83-91. (In Persian)

12. Kiani, F., Jalalian, A., Pashaei, A.S., and Khademi, H.Y. 2007. Effect of Deforestation, Grazing exclusion and Rangeland Degradation on Soil Quality Indices in Loess-Derived Landforms of Golestan Province. *J. Agric. Sci. Technol.* 11: 41. 453-463. (In Persian)
13. Lobb, D.A., and Kachanoski, R.G. 1999. Modelling tillage erosion in the topographically complex landscapes of southwestern Ontario, Canada. *Soil Tillage Research.* 51: 261-277.
14. Papiernik, S.K., Lindstrom, M.J., Schumacher, J.A., Farenhorst, A., Stephens, K.D., Schumacher, T.E., and Lobb, D.A. 2005. Variation in soil properties and crop yield across an eroded prairie landscape. *J. Soil Water Cons.* 60: 6. 388-395.
15. Parysow, P., Wang, G., Gertner, G., and Anderson, A.B. 2003. Spatial uncertainty analysis for mapping soil erodibility based on joint sequential simulation. *Catena.* 53: 1. 65-78.
16. Salajeghe, A., Sayedalipour, M.H., and Hosseinalizadeh, M. 2013. Principles of soil conservation and management. Tehran University Press. 670p. (Translated In Persian)
17. Seyedalipour, M.H., Feiznia, S., Ahmadi, H., Zare. M.R., and Hosseinalizadeh, M. 2015. Comparison of Soil Erosion by <sup>137</sup>Cs and RUSLE-3D for Loess Deposits North-East of Iran (Study Area: Aghemam Catchment). *J. Water Soil Cons.* 21: 5. 27-48. (In Persian)
18. Taki, A., Asadi, A., and Solhi, M. 2009. Conservation tillage in dry lands and its necessity for sustainable agriculture. *Ext. J. Till. Agric. Organ.* Esfahan. 1: 1-24. (In Persian)
19. Van Oost, K., Govers, G., and Desmet, P. 2000. Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. *Landscape ecology.* 15: 6. 577-589.
20. Van Oost, K., Van Rompaey, A., Verstraeten, G., Notebaert, B., and Vaes, B. 2006. WaTEM/SEDEM version 2006 Manual. K.U. Leuven. Physical and Regional Geography Research Group. Pp: 1-29.
21. Verstraeten, G., and Prosser, I. 2008. Modelling the impact of land-use change and farm dam construction on hillslope sediment delivery to rivers at the regional scale *Geomorphology.* 98:4. 199-212.
22. Verstraeten, G., Van Oost, K., Van Rompaey, A., Poesen, J., and Govers, G. 2002. Evaluating an integrated approach to catchment management to reduce soil loss and sediment pollution through modelling. *Soil Use and Management.* 18: 4. 386-394.
23. Walling, D.E., Zhang, Y., and He, Q. 2007. Models for Converting Measurements of Environmental Radionuclide Inventories (<sup>137</sup>Cs, Excess <sup>210</sup>Pb and <sup>7</sup>Be) to Estimates of Soil Erosion and Deposition Rates (Including Software for Model Implementation). Department of Geography, University of Exeter, UK. Pp: 1-32.



## Assessment of WaTEM/SEDEM model for water and tillage induced soil erosion (Case study: Sample sub catchment of Kachik, Golestan Province)

\*M. Hosseinalizadeh<sup>1</sup> and M. Alinejad<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Assistant Prof., Dept. of Arid Zone Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>2</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Arid Zone Management, Young Researchers Club, Gorgan Branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran

Received: 05.19.2019; Accepted: 01.18.2020

### Abstract

**Background and Objectives:** Water and tillage-induced soil erosion on steep slopes farmlands are primary causes of land degradation process that gradually change land morphology. Measurement of soil erosion and sedimentation in most watersheds are nearly impossible. So soil erosion modelling and simulation to understand the processes of soil erosion, to predict runoff and soil erosion and also to determine the best management practices of soil conservation is highly important.

**Materials and Methods:** Area of study (Sample sub- catchment) is a sub-watershed of the Kachik watershed in Golestan province, which is one of the sub-basins of the Gorganrood basin. This area is around 197 ha which completely covered with fertile and erosive loess deposits and is a part of Iranian Loess Plateau (ILP). In this study, WaTEM / SEDEM version 2004 used to estimate water and tillage erosion. After soil sampling in 20 different location respected to the model based sampling method on minimax approach, <sup>137</sup>Cs activity determined, and all three distinct erosion phases prepared. Finally, erosion map using <sup>137</sup>Cs by considering conversion models including Mass Balance II for farmland and Diffusion and Migration for other land uses produced. Then the erosion and sediment point map produced separately for model evaluation.

**Results:** Using <sup>137</sup>Cs radionuclide, 90% of the soil measurement locations devoted to erosion. Mean annual soil erosion using radionuclide conversion models was 21.1 ton ha<sup>-1</sup>. This rate of soil erosion regards to 97% SDR (Sediment Delivery Ratio) illustrates high potential for sediment production in the area of interest. Mean of water and tillage erosion by WaTEM/SEDEM were 8.28 and 4.87 ton ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> respectively in erosion locations and this rate for sediment was 18.14 and 7.89 ton ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> for sediment zones as well. Soil erosion and sedimentation rate using WaTEM/SEDEM model was estimated to be 1.46 and 0.85 ton ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> in turn. SDR for WaTEM/SEDEM in this study was around 58%.

**Conclusion:** Given that the entire study area covered with sensitive and fertile loess deposits, and a significant percentage of area devoted to farmland, so water and tillage induced soil erosion is of great importance. The results of this research indicate a low estimation (under-estimation) of the WaTEM / SEDEM model compared to the actual values (measured <sup>137</sup>Cs). As a result, WaTEM / SEDEM erosion model is not effective in the loess deposits of the northeast of Golestan province. On one hand spatial pattern of water and tillage induced soil erosion can be used in soil and water conservation practices. On the other hand, pertaining to large vast area devoted to farmland in Gorganrood Basin, tillage erosion should be taken by decision maker. Although for higher certainty, it is necessary to calibrate the model and repeat its implementation in other watersheds.

**Keywords:** Fallout Radionuclide, Loess deposits, Maravetappeh, Soil and tillage erosion modeling, Steep farmland

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