نشریه علمی

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

سال هجدهم- شماره ۶۶- پاییز ۱۴۰۳

Vol. 18, No. 66, Full 2024

برآورد مکانی فرسایش و رسوب در محیط GIS با استفاده از مدل SEDD و RUSLE در حوزه آبخیز رودزرد استان خوزستان

شکوفه داودی[1]، حیدر غفاری[2*]، احمد فرخیان فیروزی[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۳۰

https://doi.org/10.22034/18.66.1

چکیده مبسوط

مقدمه

امروزه فرسایش خاک به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین مشکلات زیست‌محیطی و اجتماعی-اقتصادی معاصر شناخته شده است. زیرا بر کشاورزی، منابع طبیعی، محیط‌زیست و اقتصاد اجتماعی تأثیر می‌گذارد. هرچند که در کشورهای مختلف برای معکوس کردن اثرات نامطلوب فرسایش خاک اقدامات مؤثری در مقیاس وسیع انجام شده، اما همچنان نرخ فرسایش خاک در مقیاس جهانی بسیار نگران‌کننده است. به عنوان مثال، برآورد شده است که سالانه در مقیاس جهانی نزدیک به ۷۵ میلیارد تن خاک سطحی در اثر فرسایش از بین می‌رود. نتایج مطالعات در ایران نیز حکایت از نرخ بالای فرسایش خاک دارند. اندازه‌گیری‌ها و برآورد نشان می‌دهد که مقدار فرسایش آبی در ایران بین ۱ تا ٤ میلیارد تن در سال می‌باشد. لذا، تلاش‌ها برای کاهش فرسایش خاک باید بیش از پیش ادامه داشته باشد. در این راستا، تعیین کمیت و هم‌چنین شناسایی توزیع مکانی مناطق تلفات خاک و رسوبات برای ارائه اطلاعات به روز برای سیاست‌گذاران و کارشناسان جهت ابداع راهبردهای مؤثر حفاظت آب و خاک و کاهش پیامدهای نامطلوب فرسایش بسیار ضروری است. در این خصوص، استان خوزستان به دلیل میزبانی از چندین رودخانه بزرگ کشور از جمله کارون، کرخه، دز و جراحی-زهره و همچنین حساسیت زیاد خاک‌های این مناطق به فرسایش از جایگاه خاصی در مطالعات فرسایش و مدیریت رسوب برخوردار است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر، حوزه آبخیز رودزرد با مختصات در جنوب غربی ایران و شرق استان خوزستان قرار دارد که از جنوب به شهرستان رامهرمز و از شمال به شهرستان ایذه منتهی می‌شود. متوسط سالانه بارندگی حوزه آبخیز مطالعاتی ۵۰۰ میلی‌متر و دبی متوسط سالانه آن معادل ۳/٦۹ مترمکعب بر ثانیه گزارش شده است. جنگل، مرتع و کشاورزی کاربری‌های اصلی در منطقه هستند که به ترتیب ۳۵، ۳۰ و ۳۵ درصد حوزه آبخیز را اشغال کرده‌اند. به منظور انجام پژوهش حاضر، داده‌های بارندگی از ایستگاه‌های داخل و خارج حوزه طی یک دوره زمانی ۱۵ ساله (۲۰۰۵ تا ۲۰۱۹) به صورت روزانه از اداره کل هواشناسی استان خوزستان تهیه شد. همچنین داده‌های رواناب و رسوب ایستگاه‌های هیدرومتری از سازمان کل آب و برق خوزستان تهیه شد. داده‌های مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متر و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ نیز از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا بدست آمد. در این راستا، از تصاویر ماهواره‌ای برای محاسبه عامل پوشش گیاهی استفاده شد. همچنین اطلاعات خاک‌شناسی از طریق نمونه‌برداری و مطالعات قبلی گردآوری و استفاده شد. در نهایت مقدار فرسایش در حوزه آبخیز مورد مطالعه توسط مدل RUSLE محاسبه شد. مقدار رسوب و نسبت تحویل رسوب نیز با استفاده از مدل SEDD برآورد شد.

نتایج و بحث

عامل فرسایندگی باران و عامل توپوگرافی به ترتیب با میانگین ۱۰/۱ (مگاژول در میلی‌متر بر هکتار در ساعت در سال) و ۹/۳ مؤثرترین عوامل تأثیرگذار بر فرسایش خاک هستند. فاکتور فرسایش‌پذیری خاک بین ۰/۰۲۳و ۰/۰۳٤ با میانگین ۰/۰۲۸ تعیین شد. فاکتور پوشش گیاهی نیز بین ۰/۱٤ تا ۰/۲۷ با میانگین ۰/۱۹ متغیر بود. در نهایت بر اساس عوامل‌پنج گانه میانگین سالانه فرسایش خاک در منطقه بر اساس مدل RUSLE ۷/۲ تن در هکتار در سال به‌دست آمد. آنالیز نتایج نشان داد که بیشترین مقدار فرسایش خاک در مناطق جنگلی با شیب تند بدست آمد و مراتع و اراضی کشاورزی به ترتیب در رتبه دوم و سوم فرسایش قرار گرفتند. علت زیاد بودن نرخ فرسایش در مناطق جنگلی شیب بالای ۵۰ درصد در این مناطق است. بر اساس منحنی سنجه رسوب، میانگین سالانه تولید رسوب کل حوزه برابر با ۲۱۰۰۰۰ تن در سال محاسبه شد که با در نظر گرفتن مساحت حوزه، معادل ۲/٤۵ تن در هکتار در سال است. میانگین نسبت تحویل رسوب حوزه نیز بر اساس متوسط فرسایش و رسوب، برابر با ۳٤ درصد برآورد شده است.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت منابع خاک، گرایش فیزیک و حفاظت خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران
۲- نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
(h.ghafari@scu.ac.ir)
۳- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

همچنین نتایج مدل SEDD نشان داد که نسبت تحویل رسوب در کل حوزه بین ۰ و ۰/۹۹ متغیر بود و بیشترین مقدار آن در ارتباط با نواحی مجاور آبراهه‌ها بدست آمد. بررسی‌های بیشتر نشان داد که بیشترین نسبت تحویل رسوب مربوط به اراضی جنگلی و مراتع است. زیرا این دو کاربری عمدتاً در اراضی شیبدار قرار دارند. در مقابل کمترین نسبت تحویل رسوب به دلیل شیب کم به اراضی زراعی مربوط بود.

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که استفاده از مدل‌های شبیه‌ساز با ورودی‌های اندک و سهل الوصول مانند مدل RUSLE و SEDD کارایی قابل‌قبولی در برآورد مقدار فرسایش و رسوب به ویژه در حوزه‌های بزرگ که با محدودیت و کمبود داده مواجه هستند، داشته باشد. در همین راستا، عامل پستی و بلندی مهمترین عامل فرسایش و انتقال رسوب در حوزه آبخیز مورد مطالعه تشخیص داده شد، به طوری که بیشترین نرخ فرسایش و رسوب در اراضی جنگلی با شیب بالای ۵۰ درصد بدست آمد و کم‌ترین میزان فرسایش نیز مربوط به اراضی زراعی با شیب کم بوده است. در همین راستا، اگرچه استفاده از مدل‌های تجربی برآورد فرسایش و رسوب مانند RUSLE و SEDD به‌منظور ارزیابی فرسایش خاک و رسوب در حوزه‌های آبخیز رایج است، اما دقت نتایج به‌دست‌آمده از آن‌ها اغلب به دلیل عدم وجود داده‌های واقعی فرسایش و رسوب در اکثر حوزه‌های آبخیز کشور مبهم است. از این رو، پیشنهاد می‌شود دقت و اعتبار نتایج مدل SEDD به عنوان مدلی با ورودی‌های کم و قابل دسترس در چندین حوزه آبخیز در نقاط مختلف کشور به‌ویژه حوزه‌های آبخیز معرف که دارای بانک داده‌ای مناسبی هستند و یا از طریق روش‌های دیگر مانند سزیم ۱۳۷ بررسی و مورد استفاده قرار گیرند.

کلیدواژه‌ها: **شبیه‌سازی، نسبت تحویل رسوب، منحنی سنجه رسوب**

مقدمه

فرسایش خاک مهم‌ترین شکل تخریب زمین در سراسر جهان به‌شمار می‌رود [۳۶]، طوری که تقریباً ۸۵ درصد تخریب اراضی را به این فرآیند نسبت داده‌اند [۳۷]. امروزه فرسایش خاک به عنوان یکی از بزرگترین مشکلات زیست‌محیطی و اجتماعی-اقتصادی معاصر شناخته شده است؛ زیرا بر کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و اقتصاد اجتماعی تأثیر می‌گذارد [۳٤]. در بین شکل‌های مختلف فرسایش خاک، فرسایش آبی بیشترین سهم را در تخریب اراضی [۱٦]، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که تحت سلطه آب و هوای موسمی استوایی [۲٤] دارد. فرسایش خاک در وحله اول با حذف لایه سطحی خاک که معمولاً غنی از مواد غذایی است، به طور قابل‌توجهی حاصلخیزی و باروری خاک را کاهش داده و باعث کاهش درآمد کشاورز و ناامنی غذایی می‌شود [۲۷، ۲۸، ٤۵، ۲۵]. از نظر اثرات خارج از محل، به دلیل ته‌نشینی رسوبات فرسایش یافته در عرصه‌های آبی، زیرساخت‌ها و مزارع کشاورزی پایین‌دست، خسارات اجتماعی-اقتصادی و محیط زیستی متنوعی ایجاد می‌کند [۷، ۸، ۱۰]. به عنوان مثال، ترسیب بیش از حد رسوبات در عرصه‌های آبی باعث کاهش کیفیت آب و از بین رفتن تنوع آبزیان می‌شود. همچنین ظرفیت ذخیره‌سازی آب را کاهش داده و در نتیجه منجر به کوتاه شدن طول عمر سدها و افزایش هزینه‌های مدیریت شود [۱۲، ۱٦]. رسوب بیش از حد همچنین باعث پر شدن بستر رودخانه و انسداد جریان در آبراهه‌ها و درنتیجه بالا آمدن بستر رودخانه و افزایش احتمال خطر سیل می‌شود [۲۰، ٤۲].

هرچند که در کشورهای مختلف برای معکوس کردن اثرات نامطلوب فرسایش خاک اقدامات مؤثری در مقیاس وسیع انجام شده، اما میزان فرسایش خاک گزارش‌شده در برخی مناطق هنوز بسیار زیاد است. به عنوان مثال، دابرال و همکاران [۱۱] گزارش دادند که در مقیاس جهانی سالانه نزدیک به ۷۵ میلیارد تن خاک سطحی به دلیل فرسایش آبی وارد آبراهه‌ها می‌شود. سازمان خواربار و کشاورزی[1] و هیات فنی بین دولتی خاک[2] [۱۳] هدررفت خاک در سطح جهان را بین ۲۰ تا ۳۰ میلیارد تن در هر سال گزارش کرده‌اند. به طور مشابه، مقدار هدررفت خاک در برخی از مناطق کوهستانی هیمالیا در آسیا ۲۰۰۰۰ تن در کیلومترمربع در سال گزارش شده است [۱۸]. نتایج مطالعات در ایران نیز حکایت از نرخ بالای فرسایش خاک دارند، طوری که فقط مقدار فرسایش آبی در کشور بین ۱ تا ٤ میلیارد تن در سال گزارش شده است [۳]. حتی با در نظر گرفتن مقدار حداقل (۱ میلیارد تن)، باز مقدار فرسایش خاک بیش از ۵ برابر آستانه مجاز است (با در نظر گرفتن ۱ تن در هکتار در سال به عنوان آستانه فرسایش قابل‌تحمل).

شدت فرسایش خاک و همچنین میزان تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز مختلف یکسان نبوده و بسته به عوامل طبیعی و انسانی هر منطقه بسیار متفاوت است [۲۱]. بنابراین، تعیین کمیت و همچنین شناسایی توزیع مکانی مناطق تلفات خاک و رسوبات برای ارائه اطلاعات به روز برای سیاست‌گذاران و کارشناسان جهت ابداع راهبردهای مؤثر حفاظت آب و خاک و کاهش پیامدهای نامطلوب فرسایش به دلیل رسوب‌گذاری در پایین‌دست بسیار ضروری است.

مناطق کوهستانی بویژه دامنه‌های زاگرس و البرز از آسیب‌پذیرترین محیط‌ها از نظر فرسایش خاک و رسوب‌دهی به شمار می‌روند [۳]. در این زمینه، استان خوزستان به دلیل میزبانی از چندین رودخانه بزرگ کشور از جمله کارون، کرخه، دز و جراحی-زهره و همچنین حساسیت زیاد خاک‌های این مناطق به فرسایش از جایگاه خاصی در مطالعات فرسایش و مدیریت رسوب برخوردار است. پر شدن مخازن سدهای احداث شده در این رودخانه‌ها و همچنین افزایش احتمال خطر سیل در منطقه از جمله پیامدهای مهم رسوب‌گذاری در این رودخانه‌ها به شمار می‌رود. لذا مطالعه وضعیت فرسایش و رسوبدهی رودخانه‌های مذکور و تعیین سهم هر کدام در تولید رسوبات می‌تواند اطلاعات مفیدی را در جهت مدیریت هرچه بهتر حوزه‌های آبخیز ارائه

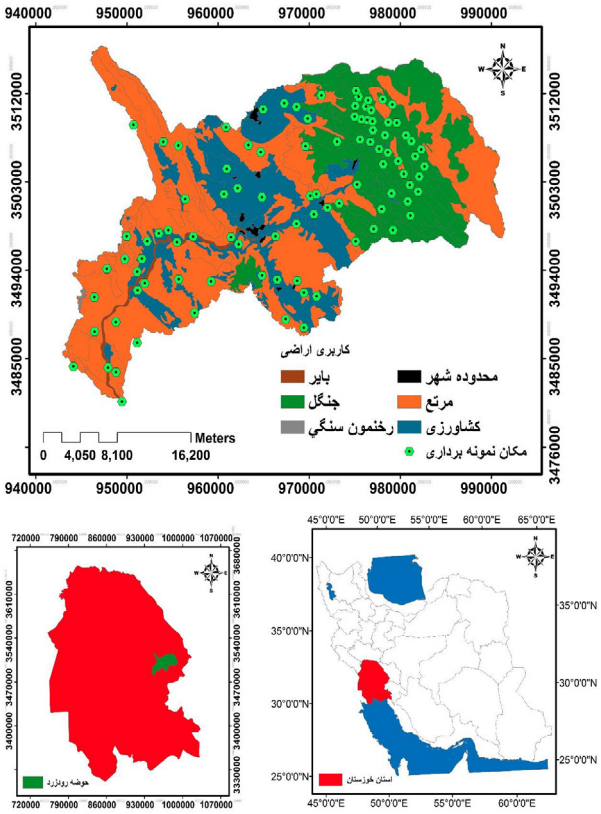
1. Food and Agriculture Organization (FAO)
2. Intergovernmental Technical Panel on Soils (ITPS)

دهد. از سوی دیگر، باتوجه به اینکه استان خوزستان یکی از قطب‌های اصلی تولیدات کشاورزی و دامپروری در سطح کشور است، حفاظت از منابع آب و خاک آن برای امنیت غذایی کشور بسیار مهم است. اهداف این پژوهش شامل تعیین میانگین سالانه فرسایش خاک و تولید رسوب و نشان دادن تغییرات مکانی مناطق کانونی فرسایش و رسوب توسط مدل‌های RUSLE و SEDD برای اولویت‌بندی مناطق پرخطر در حوزه آبخیز مذکور است.

مواد و روش‌ها

حوزه آبخیز مورد مطالعه

آبخیز رودزرد با مختصات (۳۹′ ۴۹ ° تا ۱۰′ ۵۰° شمالی و ۲۲′ ۳۱° تا ۴۲′ ۳۱° شرقی) در جنوب غربی ایران و شرق استان خوزستان (زاگرس مرکزی) قرار دارد (شکل ۱) که از جنوب به شهرستان رامهرمز و از شمال به شهرستان ایذه منتهی می‌شود. مساحت آن حدود ۸۸۲/۴۹ کیلومترمربع و طول بزرگ‌ترین آبراهه آن ۴۴/۷ کیلومتر بوده که به شکل درختی از شرق به غرب در جریان است. این حوزه آبخیز مسئول تأمین آب سد جره در ۲۸ کیلومتری رامهرمز است. این سد با هدف آبیاری زمین‌های کشاورزی دشت رامهرمز، کنترل سیلاب رودخانه زرد و تولید انرژی برق آبی در سال ۱۳۹۰ احداث شده و گنجایش آن حدود ۲۶۰ میلیون مترمکعب است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز رودزرد در کشور و استان خوزستان

Fig 1. Geographical location of Roudzard watershed in the country and province

متوسط سالانه بارندگی حوزه ۵۰۰ میلی‌متر و دبی متوسط سالانه آن معادل ۳/۶۹ مترمکعب بر ثانیه گزارش شده است [۴۳]. همچنین ارتفاع متوسط وزنی حوزه ۱۱۹۷/۳۷۳ متر و میانگین دمای آن ۲۰ درجه سانتی‌گراد است. بلندترین ارتفاعات حوزه با مقدار ۳۳۰۰ متر در قسمت شرقی حوزه واقع شده‌اند و به سمت غرب کاهش می‌یابند. مناطق جنگلی، اراضی کشاورزی و مراتع کاربری‌های اصلی در منطقه هستند که به ترتیب ۳۵، ۳۰ و ۳۵ درصد حوزه را اشغال کرده‌اند. بلوط، افرا و پسته وحشی از مهمترین گونه‌های جنگلی موجود در منطقه است. گندم، جو، ذرت، ماش، برنج و صیفی‌جات نیز رایج‌ترین محصولات زراعی منطقه هستند. شغل اصلی مردم این منطقه کشاورزی، باغداری و دامپروری است [۳۱]. لذا حفظ آب و خاک به طور مستقیم بر زندگی و معیشت آن‌ها تأثیرگذار است.

جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز

داده‌های بارندگی ایستگاه‌های داخل حوزه شامل باغملک، قلعه تل، ماشین، مال آقا، گنداب و دلی بختیار و همچنین ایستگاه‌های خارج از حوزه شامل شیوند، دهدز، رامهرمز، ایذه، بارانگرد ،چشمه شیرین و میداوود در بازه زمانی ۱۵ ساله (۲۰۰۵ تا ۲۰۱۹) به صورت روزانه از اداره کل هواشناسی استان خوزستان جمع‌آوری شد. داده‌های رواناب و رسوب ایستگاه‌های هیدرومتری شامل ماشین و منجنیق از سازمان کل آب و برق خوزستان تهیه شد. داده‌های مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متر و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ از سایت سازمان زمین شناسی ایالات متحده آمریکا[1] تهیه شد. از تصاویر ماهواره‌ای برای محاسبه عامل پوشش گیاهی استفاده شد.

عمده اطلاعات خاک‌شناسی حوزه از مطالعات قبلی [۲] جمع‌آوری شد. علاوه بر آن‌ها به‌منظور تکمیل داده‌ها، تعداد ۲۹ نمونه خاک از قسمت‌های مختلف حوزه جهت تهیه نقشه فرسایش‌پذیری برداشته شد. موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده در شکل ۱ مشخص شده است. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، برخی خصوصیات از جمله ماده آلی به روش واکلی-بلک [۴۸]، درصد رس، سیلت، شن و شن خیلی ریز به روش الک و هیدرومتر [۱۵] تعیین شدند.

برآورد مکانی فرسایش خاک توسط مدل RUSLE

RUSLE مدلی تجربی است که میانگین سالانه فرسایش را طبق معادله ۱ برآورد می‌کند [۳۸].

$$E = R.K.LS.C.P \qquad (۱)$$

که E فرسایش خاک ($t\ ha^{-1}\ y^{-1}$)، R عامل فرسایندگی باران ($MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ y^{-1}$)، K عامل فرسایش‌پذیری خاک ($t\ ha\ hr\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$)، LS عامل توپوگرافی، C عامل پوشش خاک و P عامل مدیریت است. این مدل، تنها فرسایش شیاری و سطحی را در نظر می‌گیرد و قادر به محاسبه فرسایش آبکندی و کنار رودخانه‌ای نیست.

1 - United States Geological Survey (USGS)

فاکتور فرسایندگی باران طبق معادلات ۲ تا ٤ بر اساس میانگین ماهانه و سالانه باران توسط شاخص فورنیه اصلاح شده [٤] برای هر ایستگاه محاسبه شد. سپس در محیط GIS با استفاده از روش درون‌یابی وزنی‌دهی معکوس فاصله[1]، نقشه توزیعی R برای کل منطقه تهیه شد.

$$F = \sum_{i=1}^{12} \frac{Pi^2}{P} \quad (۲)$$

$$R - factor = 0.07397 \times F^{1.847} \quad IF\ F < 55 \quad (۳)$$

$$R - factor = 95.77 - 0.681F + 0.477F^2 \quad IF\ F > 55 \quad (٤)$$

نقشه عامل فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از معادله ۵ محاسبه شد [٤۹].

$$K = \left[\frac{\left(\begin{array}{c}2.1 \times 10^{-4} \times M^{1.14}(12 - OM) + \\ 3.25\,(S-2) + 2.5\,(P-3)\end{array}\right)}{100}\right] 0.1317 \quad (۵)$$

$$M = (\%Silt + \%VFSand).(100 - \%Clay) \quad (٦)$$

که K فرسایش‌پذیری خاک ($Mg\ ha\ h\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$)، OM مواد آلی (٪)، M عامل بافت خاک، S کلاس ساختمان خاک و P کلاس نفوذپذیری خاک است.

عامل توپوگرافی نیز بر اساس معادله ۷ از نقشه DEM (۳۰ متر) در محیط نرم‌افزار SAGA استخراج شد [۳۰].

$$LS = \left(\frac{As}{22.13}\right)^{0.5} \times \left(\frac{\sin S}{0.0896}\right)^{1.3} \quad (۷)$$

که As مساحت ناحیه مشارکت‌کننده در واحد عرض و S شیب بر حسب رادیان است.

عامل پوشش گیاهی نیز بر اساس میانگین سالانه شاخص NDVI در محیط گوگل ارت انجین[2] طبق معادله ۸ و ۹ محاسبه شد [۲۲]. به دلیل اینکه هیچگونه اقدام مدیریتی و حفاظتی در حوزه پیاده نشده است، مقدار عامل مدیریت برای کل منطقه ۱ فرض شد.

$$C = \left(\frac{1 - NDVI}{2}\right) \quad (۸)$$

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (۹)$$

برآورد مکانی رسوب توسط مدل SEDD

SEDD مدلی تجربی-توزیعی است که میزان تولید رسوب حوزه را از حاصل‌ضرب فرسایش خاک در نسبت تحویل رسوب محاسبه می‌کند. نسبت تحویل رسوب برای هر واحد مورفولوژیک (پیکسل) به عنوان تابعی از زمان پیمایش و ضریب زبری توسط معادله ۱۰ محاسبه می‌شود [١٤]. این مدل قادر به شبیه‌سازی فرایندهای فرسایش، انتقال و ته‌نشینی در آبراهه‌ها نبوده و فرض می‌کند تمام موادی که به شبکه آبراهه‌ها می‌رسند، به خروجی حوزه منتقل می‌شوند. به عبارتی دیگر، نسبت تحویل رسوب از دامنه‌ها به آبراهه‌ها محاسبه می‌شود.

$$SDR_i = \exp(-\beta \,.\, t_{pi}) \quad (۱۰)$$

که t_{pi} زمان پیمایش از واحد iام تا نزدیک‌ترین آبراهه در امتداد مسیر هیدرولیکی p ، β ضریب ویژه حوزه است. زمان پیمایش تحت تأثیر شیب مسیر و فاصله تا آبراهه بوده و از معادله ۱۱ قابل محاسبه است.

$$t_{pi} = \frac{l_{p,i}}{\sqrt{S_{p,i}}} = \sum_{j=1}^{n} \frac{\lambda_{i,j}}{\sqrt{S_{i,j}}} \quad (۱۱)$$

که l و s به ترتیب طول و شیب مسیر جریان هیدرولیکی و λ طول واحد i در امتداد مسیر جریان است.

ضرییب β به خصوصیات حوزه بستگی داشته و در صورت داشتن نسبت تحویل رسوب کل حوزه، با استفاده از فرمول ۱۲ و به روش سعی و خطا محاسبه می‌شود.

$$SDR_W = \frac{\sum_{i=1}^{N} \exp(-\beta\, t_i)\, l_i^{0.5}\, s_i^2 a_i}{\sum_{i=1}^{N} l_i^{0.5}\, s_i^2 a_i} \quad (۱۲)$$

برای تعیین نسبت تحویل رسوب کل حوزه، به اطلاعات فرسایش و رسوب حوزه نیاز است که اطلاعات فرسایش خاک توسط مدل RUSLE و اطلاعات رسوب توسط داده‌های واقعی رسوب و منحنی سنجه استخراج شدند.

تهیه منحنی سنجه رسوب[3]

رابطه رگرسیونی بین رواناب (Q) و رسوب (SY) در محور مختصات لگاریتمی را منحنی سنجه رسوب می‌نامند (معادله ۱۳) که به طرق مختلف از جمله یک خطی، چند خطی، متوسط دسته‌ها، USBR و فائو تهیه می‌شود. در این مطالعه، از روش رگرسیون یک خطی، دو خطی و حد وسط دسته‌ها استفاده شد [۵۰].

$$Q = aSY^b \quad (۱۳)$$

نتایج و بحث

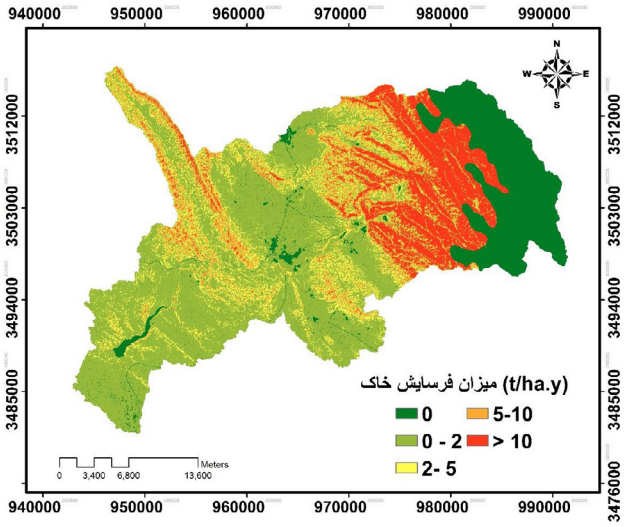
فرسایش خاک و عوامل مؤثر بر آن

حداکثر و حداقل مقدار عامل فرسایندگی باران در حوزه به ترتیب ۱۷ و ۳/٦ با میانگین ۱۰/۱ (مگاژول در میلی‌متر بر هکتار در ساعت در سال) بدست آمد. که با نتایج صادقی و همکاران [۳۹] تطابق دارد. نتایج آن‌ها نشان داد میانگین سالانه R در ایران برای دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵ و ۵۰ سال به ترتیب ۱/٤۷، ۲/٦۲، ۳/۳۵، ٤/٤۸ و ٤/٥٤ (مگاژول در میلی‌متر بر هکتار در ساعت در سال) است. همچنین میانگین عامل فرسایندگی باران در ایستگاه‌های مختلف استان خوزستان بین ۱/۳ تا ۱۷/٤ (مگاژول در میلی‌متر بر هکتار در

1. Inverse Distance Weighted (IDW)
2. Google Earth Engine
3. Sediment Rating Curve

ساعت در سال) گزارش شد. فاکتور توپوگرافی بین ۰/۰۰۲ تا ۱۵۸ متغیر بود و مشابه با الگوی فرسایندگی باران، بیشترین مقدار آن مربوط به ارتفاعات منطقه در بخش غربی بود. فاکتور فرسایش‌پذیری خاک بین ۰/۰۲۳و ۰/۰۳٤ تعیین شد. در بخشی از حوزه که به طور کامل رخنمون سنگی وجود داشت، ضریب فرسایش‌پذیری برابر با صفر در نظر گرفته شد. فاکتور پوشش گیاهی بین ۰/۱٤ تا ۰/۲۷ متغیر بود و بیشترین مقدار آن در بخش‌های جنگلی و کشاورزی بدست آمد، که مقادیر کم مربوط به مناطق جنگلی و مقادیر بالای مربوط به خاک‌های فاقد پوشش بود. مقادیر زیاد فاکتور C بیانگر عدم حفاظت خاک در برابر نیروهای مخرب قطرات باران بوده و آسیب‌پذیری بیشتر خاک در برابر فرسایش را نشان می‌دهد [۲٦]. در نهایت، بر اساس مقادیر عوامل پنجگانه فوق مقدار فرسایش خاک برآورد شد. میانگین فرسایش سالانه حوزه بین ۰ تا ۲۳۰ با میانگین ۷/۲ تن در هکتار در سال به‌دست آمد (شکل ۲). بررسی نقشه فرسایش خاک حاکی از آن است که بخش عمده‌ای از منطقه دارای فرسایشی کمتر از ۸ تن در هکتار در سال است. همبستگی نسبتاً بالای مقدار فرسایش با عامل توپوگرافی (R=0.44) حاکی از آن است که این عامل بیشترین تأثیر را در فرسایش داشته است. بزرگی مقادیر عامل LS نسبت به سایر عوامل نیز موید این موضوع است. نیسی و همکاران [۳۲] نیز در مطالعه خود گزارش کردند که تندی شیب یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر مقدار فرسایش خاک در مناطق کوهستانی شرق استان خوزستان است. بررسی میزان فرسایش در کاربری‌های مختلف نشان داد که نوع پوشش/کاربری زمین تأثیر کمی بر میزان فرسایش خاک دارد. چراکه با وجود پوشش گیاهی مناسب، بیشترین مقدار فرسایش خاک (میانگین ۱٦ تن در هکتار در سال) در مناطق جنگلی با شیب تند بدست آمد و مراتع و اراضی کشاورزی به ترتیب در رتبه دوم و سوم فرسایش قرار گرفتند. این درحالی است که در اغلب مطالعات [۵، ٤۰، ٤۱] کمترین مقادیر فرسایش معمولاً در اراضی جنگلی و بیشترین فرسایش در اراضی زراعی شیب‌دار گزارش شده است. دلیل اینکه مقدار فرسایش در اراضی کشاورزی نسبت به جنگل و مرتع کمتر بدست آمد، قرار گرفتن این اراضی در شیب‌های کم است. نزدیک به ۲۷ درصد مساحت حوزه دارای شیبی بیشتر از ۵۰ درصد بوده و عمده جنگل‌ها در این بخش قرار گرفته‌اند، در حالی که شیب اراضی کشاورزی کمتر از ۵ درصد بوده است. هالدر [۱۹] نیز در مطالعه‌ای که با هدف ارزیابی مکانی فرسایش خاک در حوضه رودخانه کوماری در منطقه گرمسیری چوتا نگپور[1] هند انجام دادند، دریافتند که تلفات سالانه خاک در حوضه بین ۰ تا ۲۰۸ تن در هکتار در سال متغیر بوده و اراضی جنگلی بالادست حوضه به دلیل فعالیت‌های مخرب انسانی دارای بیشترین میزان فرسایش خاک بودند.

1. Chota Nagpur



شکل ۲- نقشه مکانی میزان فرسایش خاک در حوزه رودزرد

Fig 2. Spatial map of soil erosion rate in Roudzard basin

مدل‌سازی رسوب معلق با منحنی سنجه رسوب

نتایج نیکویی برازش سه مدل رگرسیونی مورد استفاده برای توصیف رابطه رواناب-رسوب در جدول ۱ ارائه شده است. روش حد وسط دسته‌ها، نسبت به دو روش دیگر بیشترین ضریب تبیین (R^2=0.96) را داشت. ضریب تبیین رگرسیون یک خطی برابر با ۰/۷۲ و برای رگرسیون دو خطی ۰/٦۹ (برای دبی‌های کمتر از ۲۰ مترمکعب بر ثانیه) و ۰/۸۲ (برای دبی‌های بزرگ‌تر از ۲۰ مترمکعب بر ثانیه) بدست آمد. مزیت روش حد وسط دسته‌ها نسبت به سایر روش‌های رگرسیونی در این است که ارزش بیشتری به دبی‌های بالا می‌دهد. با توجه به این‌که دبی‌ها بالا نقش و سهم زیادی در انتقال رسوبات دارند، نتایج این روش به واقعیت نزدیک‌تر خواهد بود. بر اساس، روش حد وسط داده‌ها، میانگین سالانه تولید رسوب کل حوزه برابر با ۲۱۰۰۰۰ تن در سال محاسبه شد که با در نظر گرفتن مساحت حوزه، معادل ۲/٤۵ تن در هکتار در سال است. غفاری و عامری‌خواه [۱۷] در مطالعه خود گزارش دادند که روش منحنی سنجه رسوب در عین سادگی در مقایسه با روش‌های هوش مصنوعی مانند شبکه عصبی، فازی-عصبی و جنگل تصادفی کارایی قابل قبولی دارند. محمدی [۲۹] بیان کردند که شرایط محلی منطقه بالادست از قبیل توپوگرافی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و فعالیت‌های انسانی و همچنین ویژگی‌های مورفولوژیکی کانال رودخانه و جامعه آماری که با توجه به آن نمونه‌برداری انجام شده تأثیر زیادی در دقت منحنی سنجه رسوب دارد. این در حالی است که در ترسیم و توسعه منحنی‌های سنجه رسوب فقط از داده‌های دبی جریان به عنوان مهم‌ترین متغیر استفاده می‌شود. لذا، به منظور برآورد صحیح میزان تولید رسوب و لحاظ کردن سایر عوامل تأثیرگذار در تولید رسوب پیشنهاد می‌شود علاوه بر مقادیر دبی جریان، سایر عوامل نیز در ترسیم منحنی‌های سنجه رسوب مورد استفاده قرار گیرند.

این کار نیاز به داده‌های زیاد از چندین حوزه آبخیز مختلف دارد. به عنوان مثال، ترن [٤٩] عوامل مؤثر بر ضرایب a و b منحنی سنجه رسوب را در ٦٤ ایستگاه هیدرومتری مطالعه کردند و گزارش دادند که شکل منحنی سنجه رسوب تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار دارد و در حوزه‌هایی که در مسیر جریان آب سد و بند احداث شده، شکل منحنی سنجه معمولاً محدب است. شکل محدب نشان‌دهنده محدودیت در قدرت هیدرولیکی جریان‌ها برای حمل رسوب است. ضریب توانی معادله (b) در فصل زمستان به دلیل یخ‌زدن زمین توان منحنی سنجه رسوب کمتر از یک بدست آمد. همچنین با افزایش متوسط دبی جریان، ضریب a کاهش یافت.

جدول ١- شاخص‌های ارزیابی مدل‌های مختلف منحنی سنجه رسوب

Table 1. Evaluation indicators of different sediment rating curve models

نوع روش	ضریب تبیین	ضریب نش- ساتکلیف	خطای جذر میانگین مربعات	میانگین سالانه رسوب (تن)
Method	R^2	NS	RMSE	Average annual sediment yield (ton)
رگرسیون یک خطی Fitting one curve	0.72	0.13	14225	32551
رگرسیون دو خطی Fitting two curve	0.69-0.82	0.76	7439	218000
رگرسیون حد وسط دسته Discharge-based classification	0.94	0.81	6570	210000

این نتایج با یافته‌های انصاری و همکاران [٢] که تولید رسوب حوزه را توسط مدل SWAT ارزیابی کردند، تطابق ندارد. ایشان میانگین تولید رسوب سالانه حوزه مورد مطالعه را حدود سه برابر بیشتر (٧/٥ تن در هکتار در سال) گزارش کردند. اختلاف بین یافته‌ها ممکن است به دلیل تفاوت بازه زمانی مورد مطالعه و نوع روش کار باشد. در مطالعه ایشان، بازه زمانی ١٩٩٧ تا ٢٠٠٩ بررسی شد. از طرفی، در مدل SWAT مقدار تولید رسوب توسط مدل MUSLE محاسبه می‌شود که به جای عامل فرسایندگی باران از عامل فرسایندگی رواناب استفاده می‌کند. نحوه تعیین فاکتور پوشش گیاهی نیز در مدل SWAT متفاوت بوده و بر اساس نوع پوشش گیاهی تعیین می‌شود [٣٣]. همچنین میانگین سالانه تولید رواناب در بازه زمانی ٢٠٠٥ تا ٢٠١٨ حدود ٥/٣ مترمکعب در ثانیه بدست آمد که نسبت به سه دهه گذشته به دلیل تغییر اقلیم و خشکسالی در حدود ٤٢ درصد کاهش یافته است. امین و غفوری روزبهانی [١] میانگین سالانه دبی ایستگاه ماشین را برای بازه زمانی ١٩٦٥ تا ١٩٨١ برابر با ٩/٢ مترمکعب در ثانیه معادل ٣٣٨ میلی‌متر تخمین زدند.

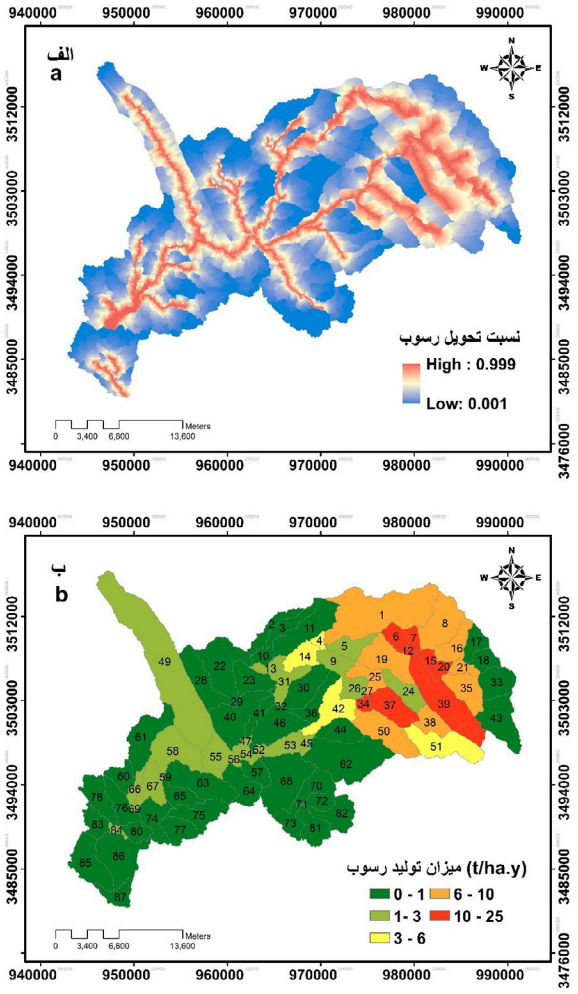
برآورد مکانی تولید رسوب بر اساس مدل SEDD

با توجه به میانگین سالانه تولید رسوب (٢/٤٥ تن در هکتار در سال) و فرسایش (٧/٢ تن در هکتار در سال)، میانگین نسبت تحویل رسوب حوزه برابر با ٣٤ درصد محاسبه شد. به عبارتی دیگر، از کل خاک فرسایش یافته حدود یک سوم آن به شبکه آبراهه راه پیدا می‌کند و دو سوم باقیمانده در سطح حوزه مجدد توزیع می‌شود. از میانگین نسبت تحویل رسوب حوزه برای محاسبه ضریب ویژه حوزه (β) و تهیه نقشه توزیعی نسبت تحویل رسوب استفاده شد. ضریب ویژه حوزه بر اساس معادله (١٣) ٠/٠٠٠٥٥ بدست آمد. بر اساس بررسی منابع [٦، ٣٧، ٤٤]، مقدار پارامتر β بین 1×10^{-1} تا 1×10^{-6} متغیر است. هرچه ظرفیت و سهولت انتقال رسوب در حوزه بیشتر باشد، مقدار پارامتر β کوچکتر خواهد بود.

با داشتن مقدار پارامتر β و DEM با استفاده از مدل SEDD نقشه نسبت تحویل رسوب حوزه به‌صورت توزیعی تهیه شد که نتایج آن در شکل ٣ الف ارائه شده است. مقدار آن بین ٠ و ٠/٩٩ متغیر بود. بیش‌ترین مقدار نسبت تحویل رسوب به نواحی مجاور آبراهه‌ها مربوط بود که اساساً در طبیعت نیز این‌گونه است و با افزایش فاصله و کاهش شیب توان انتقال رسوب کاهش می‌یابد. بررسی تفکیکی نسبت تحویل رسوب بر اساس شیب نشان داد که بیشترین نسبت تحویل رسوب (٥٧٪) به شیب‌های بالاتر از ٥٠ درصد تعلق داشت. بر اساس نوع کاربری، بیشترین نسبت تحویل رسوب در اراضی جنگلی و مراتع مشاهده شد. زیرا این دو کاربری عمدتاً در اراضی شیبدار قرار دارند. کمترین نسبت تحویل رسوب نیز به اراضی زراعی مربوط بود.

ضریب SDR در تحقیقات فرسایش خاک به‌ویژه هنگام طراحی برنامه‌های حفاظت خاک، اصلاح شیب و پروژه‌های کنترل رسوب برای مهندسان و تصمیم گیرندگان نقش بسیار مهمی دارد [٤٦]. دقت ارزیابی SDR برای مدیریت حوزه‌های آبخیز از اهمیت بالایی برخوردار است. با این حال، اندازه‌گیری مستقیم SDR تقریباً غیرممکن و یا دشوار است. لذا، استفاده از مدل‌های مبتنی بر GIS که به‌شکل مکانی تغییرات را نشان می‌دهند بسیار مفید خواهد بود. تنها محدودیت این مدل‌ها واسنجی آن‌ها برای منطقه مورد نظر است که نیاز به پایگاه داده مناسب دارد. مدل SEDD برای محاسبه SDR از یک پارامتر منحصر به فرد استفاده می‌کند که تابعی از خصوصیات حوزه آبخیز بوده به آزمایش‌های میدانی نیاز دارد. چنانچه بتوان با استفاده از خصوصیات حوزه آبخیز مدلی برای پیش‌بینی آن ایجاد

کرد بسیار حایز اهمیت است. به عنوان مثال، بورگت و همکاران [۹] مقدار ضریب β را در دو حوزه آبخیز با کاربری باغ زیتون با استفاده از عامل C و R معادله جهانی هدر رفت خاک مدل‌سازی کردند. لوپز-ویسنته و ناواس [۲۳] به این نتیجه رسیدند که ضریب β حساسیت محدودی به نوع کاربری زمین دارد، اما شیب و طول مسیرهای جریان بیش‌ترین تأثیر را بر β دارند.



شکل ۳- الف) نقشه مکانی نسبت تحویل رسوب و ب) اولویت‌بندی مناطق بحرانی تولید رسوب

Fig 3. Spatial map of sediment delivery ratio (a) and prioritization of critical areas of sediment yield (b)

بر اساس نتایج بدست آمده از مدل SEDD بیشترین مقادیر تولید رسوب به ترتیب در زیرحوزه‌های شماره ۱۲، ۲۰، ۷، ۳۷، ۱۵، ۳٤، ٦ و ۳۹ روی می‌دهد که بین ۱۲ تا ۲٤ تن در هکتار در سال رسوب تولید می‌کنند (شکل ۳ ب). این زیرحوزه‌ها که جمعاً حدود ٦ درصد سطح حوزه را تشکیل می‌دهند به تنهایی مسئول تولید ۳۵ درصد کل رسوبات حوزه هستند. این حوزه‌ها باید در اولویت اول اقدامات حفاظت آب و خاک قرار بگیرند. زیرحوزه‌هایی با تولید رسوب بین ٦ تا ۱۲ تن در هکتار در سال در اولویت دوم حفاظت قرار می‌گیرند که تعداد آن‌ها ۱٤ زیر حوزه بوده و بالغ بر ۲۰ درصد سطح حوزه را در بر دارند. این زیرحوزه‌ها مجموعاً ۳۷ کل رسوبات را تولید می‌کنند. مابقی زیرحوزه‌ها که حدود ۷٤ درصد مساحت حوزه را دربر گرفته‌اند کمتر از ٤ تن در هکتار در سال رسوب تولید می‌کنند و جزء زیرحوزه‌های بدون خطر قرار می‌گیرند.

نتیجه‌گیری

آگاهی از وضعیت فرسایش و رسوب در حوزه‌های اصلی کشور نقش مهمی در مدیریت هرچه بهتر آن‌ها دارد. با این حال، به دلیل فقدان داده‌های مناسب و کافی، تعیین مقدار فرسایش و رسوب به ویژه در حوزه‌های بزرگ با محدودیت‌هایی همراه است. استفاده از مدل‌های شبیه‌ساز با ورودی‌های اندک و سهل الوصول مانند مدل RUSLE و SEDD می‌توانند این محدودیت‌ها را تا حدی مرتفع سازند. بر اساس نتایج شبیه‌سازی مدل RUSLE متوسط نرخ فرسایش سالانه خاک برای حوزه رودزرد حدود ۷/۲ تن در هکتار در سال بود که از این میزان نزدیک به ۳٤ درصد به شکل رسوبات به خروجی حوزه منتقل می‌شوند. این مقدار رسوب در مقایسه با گنجایش سد مخزنی پایین‌دست حوزه که ۲٦۰ میلیون مترمکعب گنجایش دارد، مقدار خیلی کمی است (۰/۰۵ درصد کل گنجایش سد) و تأثیر چندانی روی عمر مفید سد ندارد. با این حال، در صورت نیاز به اقدامات کنترل فرسایش و رسوب اولویت با زیرحوزه‌های شماره ۱۲، ۲۰، ۷، ۳۷، ۱۵، ۳٤، ٦ و ۳۹ که در بخش شرقی حوزه واقع شده‌اند، است. این زیرحوزه‌ها مجموعاً ٦ درصد مساحت حوزه را دربر دارند، اما حدود ۳۵ درصد کل رسوبات را تولید می‌کنند. عامل پستی و بلندی مهم‌ترین عامل فرسایش و رسوب در این حوزه تشخیص داده شد، به طوری که بیشترین نرخ فرسایش و رسوب در اراضی جنگلی با شیب بالای ۵۰ درصد بدست آمد و کم‌ترین میزان فرسایش مربوط به اراضی زراعی با شیب کم بود. اگرچه استفاده از مدل‌های تجربی مانند RUSLE و SEDD به‌منظور ارزیابی فرسایش خاک و رسوب در حوزه‌های آبخیز رایج است، اما دقت نتایج به‌دست‌آمده از آن‌ها اغلب به دلیل عدم وجود داده‌های واقعی فرسایش و رسوب در اکثر حوزه‌های آبخیز کشور مبهم است. لذا، پیشنهاد می‌شود دقت و اعتبار نتایج مدل SEDD به عنوان مدلی با ورودی‌های کم و قابل دسترس در چندین حوزه آبخیز به‌ویژه حوزه‌های آبخیز معرف که دارای بانک داده‌ای مناسبی هستند و یا از طریق روش‌هایی مانند سزیم ۱۳۷ بررسی شود. هم‌چنین پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی رابطه بین ضریب β در مدل SEDD با خصوصیات ئومورفولوژیک حوضه بررسی شود.

سپاسگزاری

از دانشگاه شهید چمران اهواز به دلیل حمایت مالی و تجهیزاتی این تحقیق و هم‌چنین از سازمان آب و برق خوزستان بابت همکاری در جمع‌آوری داده‌های هیدرولوژی و هواشناسی تشکر و قدردانی می‌شود.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام میدارند که هیچگونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان

شکوفه داودی: کار میدانی و آزمایشگاهی، تجزیه و تحلیل داده‌ها

حیدر غفاری: مفهوم‌سازی، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماری، نگارش نسخه اولیه مقاله

احمد فرخیان فیروزی: راهنمایی، ویرایش و بازبینی مقاله، کنترل نتایج

منابع مورد استفاده

1. Amin, S. and Ghafouri Rouzbahani, A.M. 2002. Roodzard Representative Watershed Surface Runoff and Evapotranspiration Simulation Using Stanford-IV Model. Jwss. 6 (3):1-13 URL: http: //jstnar.iut.ac.ir/article-1-38-fa.html. (In Persian)

2. Ansari, M. R. Gorji, M. Sayad, G. A. Shorafa, M. and Hemadi, K. 2016. Simulation of runoff in Rood Zard basin using Arc Swat Model. Irrigation Sciences and Engineering. 38(4): 97-107. doi: 10.22055/jise.2016.11797. (In Persian)

3. Arabkhedri, M. 2021. Water erosion and sediment production status in Iran: statistical and comparative analyses. Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 6(2):139-156. Available from: https://sid.ir/paper/1055048/

4. Arnoldus, H.M.J. 1977. Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Marocco. FAO Soils Bulletin 34. FAO, Rome, Italy. p. 83.

5. Azmoodeh, A. Kavian, A. Solymani, K. and Vahabzadeh, G. 2010. Comparing runoff and soil erosion in forest, dry farming and garden land uses soils using rainfall simulator. Water and Soil, 24(3).

6. Batista, P.V.G. Silva, M.L.N. and Silva, B.P.C. 2017. Modelling spatially distributed soil losses and sediment yield in the upper Grande river basin - Brazil. Catena 157:139–150

7. Belayneh, Y. Ru, G. and Guadie, A. 2018. Forest cover change and its driving forces in Fagita Lekoma District, Ethiopia. J for Res 31:1567–1582

8. Boakye, E. Anyemedu, F.O.K. Donkor, E.A. and Quaye-Ballard, J.A. 2020. Spatial distribution of soil erosion and sediment yield in the Pra river basin. SN Applied Sciences. 2(3): 320.

9. Burguet, M. Taguas, E.V. and Gómez, J.A. 2017. Exploring calibration strategies of the SEDD Model in Two Olive Orchard Catchments. Geomorphology, 290, 17–28.

10. Chinnasamy, P. and Sood A. 2020. Estimation of sediment load for Hima- layan Rivers: case study of Kaligandaki in Nepal. ournal of Earth System Science. 129(1): 181.

11. Dabral, P.P. Baithuri, N. and Pandey, A. 2008. Soil erosion assessment in a hilly catchment of North Eastern India using USLE, GIS and remote sensing. Water Resour Manag 22:1783–1798.

12. Duru, U. Arabi, M. and Wohl E.E. 2017. Modeling stream flow and sedi- ment yield using the SWAT model: a case study of Ankara river basin, Turkey. Physical Geography. 39(3): 264-289.

13. FAO and ITPS. 2015. Status of the World's Soil Resources (SWSR)—main report. Food and agriculture organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. Rome, Italy.

14. Ferro, V. and Porto P. 2000. Sediment delivery distributed (SEDD) model. Journal of hydrologic engineering. 5(4): 411-422.

15. Gee, G.W. and Or, D. 2002. Particle-size analysis. In: J.H. Dane and G.C. Topp, editors, Methods of soil analysis. Part 4. SSSA Book Ser. No. 5. SSSA, Madison, WI. p. 255–294.

16. Gelagay, H.S. and Minale, A.S. 2016. Soil loss estimation using GIS and Remote sensing techniques: A case of Koga watershed, Northwestern Ethiopia. International Soil and Water Conservation Research. 4(2): 126-136.

17. Ghafari, H. and Ameri khah, H. 2023. Simulation of daily suspended sediment of Roud-Zard River using different machine learning techniques. Agricultural Engineering, 46(1), 101-119. doi: 10.22055/agen.2023.44206.1677. (In Persian)

18. Golosov, V.N. and Walling D.E. 2019. Erosion and sediment problems: global hotspots. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, France.

19. Halder, J.C. 2023. The integration of RUSLE-SDR lumped model with remote sensing and GIS for soil loss and sediment yield estimation. Advances in Space Research. 71(11): 4636-4658.

20. Kafle, K.R. Khanal, S.N. and Dahal, R.K. 2017. Consequences of Koshi flood 2008 in terms of sedimentation characteristics and agri- cultural practices. Geoenvironmental Disasters. 4, 1-13.

21. Kumar, M. and Debjyoti J. 2010. Estimation of sediment yield and areas of soil erosion and deposition for watershed prioritization using GIS and remote sensing. Water Resources Management. 24(10): 2091-2112.

22. Lin, C.Y. Lin, W. and Chou, W. 2002. Soil erosion prediction and

J.R. 2005. Soil and Water Assessment Tool (SWAT), theoretical documentation. USDA-ARS Grassland Soil and Water Research Laboratory, Temple, Tex. USA.

34. Noori, H. Siadatmousavi, S.M. and Mojaradi, B. 2016. Assessment of sediment yield using RS and GIS at two sub-basins of Dez Watershed, Iran. International Soil and Water Conservation Research, 4(3), 199-206.

35. Nyesheja, E.M. Chen, X. El-Tantawi, A.M. Karamage, F. Mupenzi, C. and Nsengiyumva, J.B. 2019. Soil erosion assessment using RUSLE model in the Congo Nile Ridge region of Rwanda, Phys. Geogr. 40, 339–360. doi.org/10.1080/02723646.2018.1541706.

36. Phinzi, K. and Ngetar, N. S. 2019. The assessment of water-borne erosion at catchment level using GIS-based RUSLE and remote sensing: A review, International Soil and Water Conservation Research, Volume 7, Issue 1, Pages 27-46, ISSN 2095-6339, https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.12.002.

37. Porto, P. Walling, D.E. 2015. Use of Caesium-137 Measurements and Long-Term Records of Sediment Load to Calibrate the Sediment Delivery Component of the SEDD Model and Explore Scale Effect: Examples from Southern Italy. J. Hydrol. Eng. 20, 1–12.

38. Renard, K.G. Foster, G.R. Weesies, G.A. McCool, D.K. and Yoder, D.C. 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Handbook #703. US Department ofAgriculture, Washington

39. Sadeghi, S.H. Zabihi, M. and Vafakhah, M. 2017. Spatiotemporal mapping of rainfall erosivity index for different return periods in Iran. Nat Hazards 87, 35–56. https://doi.org/10.1007/s11069-017-2752-3

40. Safari Z, Rahimi ST, Ahmed K, Sharafati A, Ziarh GF, Shahid S, Ismail T, Al-Ansari N, Chung E-S, and Wang X. 2021. Estimation of Spatial and Seasonal Variability of Soil Erosion in a Cold Arid River Basin in Hindu Kush Mountainous Region Using Remote Sensing. Sustainability. 13(3):1549. https://doi.org/10.3390/su13031549

41. Sanogo, K. Birhanu, B.Z. Sanogo, S. and Ba, A. 2023. Landscape pattern analysis using GIS and remote sensing to diagnose soil erosion and nutrient availability in two agroecological zones of Southern Mali. Agric & Food Secur 12, 4. https://doi.org/10.1186/s40066-023-00408-6

42. Santosh, N. Flügel, W. and BhaktaShrestha, A. 2014. Upstream-downstream linkages of hydrological processes in the sediment yield estimation: the Taiwan experience. Soil Tillage Res 68:143–152

23. López-Vicente, M. and Navas, A. 2010. Relating soil erosion and sediment yield to geomorphic features and erosion processes at the catchment scale in the Spanish Pre-Pyrenees. Environ. Earth Sci. 61, 143–158.

24. Majhi, A. Shaw, R. Mallick, K. and Patel, P.P. 2021. Towards improved USLE-based soil erosion modelling in India: A review of prevalent pitfalls and implementation of exemplar methods, Earth-Science Reviews. 221, 103786.

25. Mandal, D. Chandrakala, M. Alam, N.M. Roy, T. and Mandal, U. 2021. Assessment of soil quality and productivity in different phases of soil erosion with the focus on land degradation neutrality in tropical humid region of India, CATENA, Volume 204, 105440, ISSN 0341-8162, doi.org/10.1016/j.catena.2021.105440.

26. Markose, V. J. and Jayappa, K. S. 2016. Soil loss estimation and prioritization of sub-watersheds of Kali River basin, Karnataka, India, using RUSLE and GIS. Environmental Monitoring and Assessment, 188(4) (https://doi.org/10.1007/s10661-016-5218-2)

27. Mekonnen, M. Keesstra, S.D. Stroosnijder, L. Baartman, J.E.M. and Maroulis, J. 2015. Soil conservation through sediment trapping: a review. Land degradation & development. 26(6): 544-556.

28. Miheretu, B.A. and Yimer, A.A. 2018. Estimating soil loss for sustainable land management planning at the Gelana subwatershed, northern highlands of Ethiopia. International Journal of River Basin Management, 16(1), 41-50.

29. Mohamadi, S. 2019. The suspended sediment load modeling by artificial neural networks, neural-fuzzy and rating curve in Hlilrood watershed. Watershed Engineering and Management, 11(2), 452-466. doi: 10.22092/ijwmse.2017.108140.1219. (in Persian)

30. Moore, I. D. and Wilson, J. P. 1992. Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation. Soil Water Conserv. 47(5), 423-428.

31. Nazari Birgani, G. 2014. Analysis and monitoring of the meteorological and hydrological drought Using L-Moment method (case study:Rod Zard basin-Khozestan Province). M.Sc. Thesis. Faculty of Agriculture and Natural Resources. Ardakan University.

32. Neisi, H. Khademalrasoul, A. and Amerikhah, H. 2021. Mapping of water erosion and deposition affected by different LS algorithms using WaTEM/SEDEM Model. Water and Soil, 35(1): 67-82. doi: 10.22067/jsw.2020.14940.0. (In Persian)

33. Neitsch, S.L. Arnold, J.G. Kiniry, J.R. and Williams,

Himalayan region. Ecol Process. https:// doi. org/ 10. 1186/ s13717-014- 0019-4

43. Sazab Pardazan Consulting Engineers Company. 2014. Watershed justification studies of the watersheds upstream and downstream of Jare Dam (Roodzard and Alaa). Erosion and sedimentation report. (Final revised). . (In Persian)

44. Taguas, E.V. Moral C. and Ayuso, J.L. 2011. Modeling the spatial distribution of water erosion within a Spanish olive orchard microcatchment using the SEDD model. Geomorphology 133: 47-56. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.06.018

45. Tamene, L. Adimassu, Z. and Ellison J. 2017. Mapping soil erosion hotspots and assessing the potential impacts of land management practices in the highlands of Ethiopia. Geomorphology. 292:153–163

46. Thomas, K. Chen W. Lin B-S. and Seeboonruang, U. 2020. Evaluation of the Sediment Delivery Distributed (SEDD) Model in the Shihmen Reservoir Watershed. Sustainability. 12(15):6221. doi.org/10.3390/su12156221

47. Tran, V.T.T. 2014. An Analysis of the suspended sediment rating curve parameters in the upper mississippi river basin at the monthly and annual levels." Master's Thesis, University of Tennessee.

48. Walkley, A. and Black, I.A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37, 29–38.

49. Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses. A Guide to Conservation Planning. : USDA Agriculture Handbook, no.537. 1978.

50. Zakwan M. Pham, Q.B. and Zhu, S. 2021. Effective discharge computation in the lower Drava River. Hydrological Sciences Journal. 66(5): 826-837.

نشریه علمی
علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

Vol. 18, No. 66, Full 2024 سال هجدهم- شماره ۶۶- پاییز ۱۴۰۳

Spatial Estimation of Soil Erosion and Sediment Yield in GIS Environment Using SEDD and RUSLE Models: A Case Study Roudzard Watershed in Khuzestan Province

Shekoufeh Davoudi[1], Heidar Ghafari[2]* and Ahmad Farrokhian Firouzi[3]

Received: 14-01-2024 Accepted: 11-02-2024

Extended Abstract

Introduction

Today, soil erosion is recognized as one of the major contemporary environmental and socio-economic problems. Because it affects agriculture, natural resources, environment and social economy. Although effective measures have been taken in different countries to reverse the adverse effects of soil erosion on a large scale, the rate of soil erosion on a global scale is still very worrying. For example, it has been estimated that approximately 75 billion tons of surface soil are lost annually on a global scale as a result of erosion. The results of studies in Iran also indicate a high rate of soil erosion. The available evidence indicates that the quantity of water erosion in Iran ranges between 1 and 4 billion tons per year. Therefore, efforts to reduce soil erosion should be continued more than before. In this regard, it is very necessary to quantify and identify the spatial distribution of soil and sediment loss areas to provide up-to-date information for policy makers and experts to devise effective strategies for water and soil protection and reduce the adverse consequences of soil erosion.

Materials and Methods

The study area of Rudzard watershed is located in the southwest of Iran and the east of Khuzestan province, which leads to Ramhormoz city in the south and Izeh city in the north. The average annual rainfall of the area is 500 mm, with an annual average discharge of 3.69 cubic meters per second. The region is primarily utilized for forest, pasture, and agricultural activities, which collectively occupy 35%, 30%, and 35% of the total area, respectively. Rainfall data from stations inside and outside the basin during a period of 15 years (2005 to 2019) on a daily basis from the General Directorate of Meteorology of Khuzestan Province and runoff and sediment data from hydrometric stations from the General Organization of Water and Electricity of Khuzestan which was prepared. The data of the 30-meter elevation digital model and Landsat 7 satellite images were obtained from the website of the United States Geological Survey. The satellite images were used to calculate the vegetation factor. Soil science information was also collected through sampling and previous studies. Finally, the amount of erosion was calculated using the RUSLE model. Sediment volume and sediment delivery rate were also estimated using the SEDD model.

Results and Discussion

Rainfall erosivity and topography are the most important factors influencing soil erosion with an average of 10.1 (MJ mm

1. M.Sc. student in Soil Resource Management, majoring in Physics and Soil Conservation, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
2. Corresponding author and Assistant Professor of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
3. Associate Professor of Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

ha-1 h-1 y-1) and 9.3, respectively. The soil erodibility factor varied between 0.023 and 0.034 with an average of 0.028. The vegetation factor also varied between 0.14 and 0.27 with an average of 0.19. Finally, based on these five factors, the annual average of soil erosion in the region was found to be 7.2 tons per hectare per year based on the RUSLE model. The analysis of the results showed that the highest amount of soil erosion was obtained in the forest areas with steep slopes, and the second and third highest amount was obtained in the pasture and agricultural areas, respectively. The reason for the high erosion rate in the forest areas is the slope of more than 50% in these areas. Based on the average of categories method, the average annual sediment production of the whole area was calculated as 210,000 tons per year, which is equivalent to 2.45 tons per hectare per year, considering the area of the area. The average sediment delivery ratio of the basin was estimated to be 34% based on the average erosion and sedimentation. The results of the SEDD model also showed that the sediment delivery ratio in the whole area varied between 0 and 0.99, and its highest value was obtained in the areas adjacent to waterways. Further investigation showed that the highest sediment delivery ratio was associated with forest and pasture land. This is because these two land uses are mainly located in sloping areas. On the other hand, the lowest ratio of sediment delivery was related to agricultural lands due to the low slope.

Conclusion

The results showed that the use of simulator models with small and easily accessible inputs, such as RUSLE and SEDD models, has an acceptable efficiency in estimating the amount of erosion and sedimentation, especially in large areas limited by lack of data. Elevation and slope factors were found to be the most important erosion and sediment transfer factors in this area, such that the highest erosion and sedimentation rates were obtained on forest lands with slopes greater than 50%, and the lowest erosion was associated with agricultural lands with low slopes. Although the use of experimental models such as RUSLE and SEDD to evaluate soil erosion and sedimentation in watersheds is common, the accuracy of the results obtained from them is often due to the lack of real data of erosion and sedimentation in most watersheds of the country. Therefore, it is suggested that the accuracy and validity of the results of the SEDD model as a model with low and accessible inputs in several watersheds, especially representative watersheds that have an appropriate database or through the method such as cesium 137 should be investigated.

Keywords: *Simulation, Sediment delivery ratio, Sediment rating curve*

Acknowledgement

We would like to express our sincere gratitude to the Shahid Chamran University of Ahvaz and the Khuzestan Water and Electricity Organization for the financial and logistical supports who significantly contributed during the research project.

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data Availability Statement

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Authors' contribution

Shekoufeh Davoudi: Field and laboratory work, Data analysis

Heidar Ghafari: Conceptualization, Resources, Software, Manuscript editing, Supervision and Writing

Ahmad Farrokhian Firouzi: Formal analysis and investigation, Visualization, Supervision, review and editing