

کاربرد مدل RUSLE در تعیین توزیع مکانی خطر هدررفت خاک

مازیار محمدی^۱، مقدسه فلاح^۲، عطاءاله کاویان^{۳*}، لیلا غلامی^۴ و ابراهیم امیدوار^۵

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس
۲. کارشناس ارشد آبخیزداری، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی
۳. دانشیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۴. استادیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۵. استادیار، گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۰۹/۰۱؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۵/۱۰/۰۱)

چکیده

مدل‌سازی می‌تواند نوعی رویکرد کمی و سازگاری در برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب تحت دامنه وسیعی از شرایط را فراهم کند. در این مطالعه به منظور شناسایی توزیع مکانی خطر فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه آبخیز تالار روش یکپارچه‌سازی معادله جهانی هدررفت خاک اصلاح‌شده، سامانه اطلاعات جغرافیایی و فن‌سنجش از دور به‌کار گرفته شد. عوامل فرساینده باران، فرسایش‌پذیری خاک، طول و درجه شیب و پوشش گیاهی به‌منظور تهیه نقشه نهایی به‌دست‌آمده از RUSLE محاسبه شدند. مقدار هدررفت خاک برای کل حوضه از ۰ تا ۹۲/۰۱ تن در هکتار در سال محاسبه شد و طبقه‌بندی مناطق فرسایشی نشان داد طبقه فرسایشی کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به ترتیب ۳۳/۱۲، ۲۷/۶۲، ۲۱/۱۳ و ۱۸/۱۳ درصد از کل حوضه آبخیز را پوشش می‌دهند. نتایج رگرسیون خطی نیز در این پژوهش نشان داد در بین عوامل مدل RUSLE عامل طول و درجه شیب با مقدار ۰/۹۳ بیشترین همبستگی را با نقشه هدررفت خاک دارند. همچنین زیرحوضه SW_۳ با ۵/۵۸ تن در هکتار در سال و زیرحوضه SW_۴ با ۱۹/۵۹ درصد تولید رسوب به ترتیب بیشترین خطر فرسایش و کمترین تولید رسوب را بین زیرحوضه‌ها داشتند. با توجه به اینکه مقادیر بیشترین و میانگین هدررفت خاک ویژه در حوضه بررسی شده عدد بسیار زیادی به‌دست آمده‌اند و از طرف دیگر همبستگی بین عامل LS و هدررفت خاک بسیار قوی است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که خطا در اندازه‌گیری عامل LS رخ داده است.

کلیدواژه‌گان: حوضه آبخیز تالار، سامانه اطلاعات جغرافیایی، سنسجش از دور، مدل‌های تجربی.

مقدمه

توانا و ساده است که توانایی پیش‌بینی هدررفت خاک در مقیاس سلول به سلول را دارد و زمانی بسیار مؤثرتر است که برای برآورد فرسایش خاک استفاده شود [۱۵]. پانندی و همکارانش [۱۶] در هندوستان برای شناسایی مناطق بحرانی فرسایش خاک در حوضه‌های کوچک کشاورزی از USLE، سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد در مناطق مختلف اختلاف رسوب برآوردی مدل نسبت به مقادیر مشاهده‌ای از ۱/۳۷ تا ۱۳/۸ درصد متغیر بوده است. کولی و همکارانش [۱۷] در جزیره کریت در شمال غرب چین از مدل RUSLE در چارچوب سامانه اطلاعات جغرافیایی و با به‌کارگیری سنجش از دور به‌منظور برآورد فرسایش خاک استفاده کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد فرسایش خاک برآوردی RUSLE در منطقه مد نظر با نتایج به‌دست‌آمده در حوضه‌های مدیترانه با ویژگی‌های مشابه مطابقت دارد. یوشینو و کفی [۱۸] به‌منظور ارزیابی خسارت‌های درون منطقه‌ای و برون منطقه‌ای فرسایش خاک بر تولیدات کشاورزی با استفاده از مدل RUSLE، در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS)^۶ و محاسبه خسارت اقتصادی فرسایش خاک با یک برنامه‌نویسی ریاضی نشان دادند که فرسایش آبی در مجموع سبب کاهش درآمد در حوضه آبخیز می‌شود. پن و همکارانش [۱۹] با استفاده از مدل RUSLE و GIS در شمال پکن، نقشه خطر فرسایش با پنج طبقه خیلی کم، کم، متوسط، شدید و خیلی شدید را تهیه کردند. آنها بیشترین عدم قطعیت را به ترتیب برای پارامترهای R، K و C شناسایی کردند و در نهایت برای کاهش عدم قطعیت در نتایج مدل RUSLE، استفاده از مدل‌های روندیاب رسوب را پیشنهاد کردند. پراساناکومار^۸ و همکارانش [۲۰] خطر فرسایش خاک در زیرحوضه آبخیز کوچک کوهستانی کرالا در کشور هندوستان با استفاده از مدل RUSLE و سامانه اطلاعات جغرافیایی برآورد کردند و به این نتیجه رسیدند که برآورد فرسایش خاک با روش RUSLE و سامانه اطلاعات جغرافیایی مبتنی بر سنجش از دور اگر با بررسی نمونه‌های میدانی همراه شود، می‌تواند سبب افزایش توانایی و دقت نتایج شود. فرهان و همکارانش [۲۱] فرسایش خاک را در حوضه آبخیز

امروزه فرسایش خاک یکی از دلایل مهم تخریب اراضی و یک خطر زیست‌محیطی مهم در سراسر جهان به‌خصوص برای کشورهای در حال توسعه تلقی می‌شود [۱]. شتاب فرسایش خاک به‌علت تغییرات زیست‌محیطی ناشی از دخالت‌های انسانی در مقیاس جهانی به‌دلیل افزایش فرایندهای ژئومورفولوژیکی به افزایش جریان رسوب در بسیاری از نقاط جهان منجر شده است [۲]. از مدت‌ها پیش تأثیرات نامطلوب فرسایش خاک از جمله کاهش حاصل‌خیزی خاک، کاهش کیفیت آب، تغییر در سیستم‌های هیدرولوژیکی و آلودگی‌های محیط زیستی به‌عنوان مشکلی جدی برای پایداری بشر شناخته شده است [۳]. علاوه بر این، فرسایش خاک به‌دلیل خسارت‌های درون منطقه‌ای و برون منطقه‌ای پایداری اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و زیست‌محیطی را به خطر می‌اندازد [۴]. از آنجا که در بسیاری از کشورها فرسایش خاک و تخریب اراضی مشکلات عمده‌ای را ایجاد کرده است، تلاش‌های شایان توجهی در توسعه مدل‌های فرسایش خاک صرف شده است. مدل‌سازی مؤثر می‌تواند اطلاعات مناسبی از وضعیت فرسایش فعلی و گرایش آن و نیز امکان تجزیه و تحلیل سناریوهای مختلف مدیریتی و حفاظتی را فراهم آورد [۵]. مدل‌های مبتنی بر فرایند و مدل‌های تجربی دو ابزار اصلی موجود برای پیش‌بینی فرسایش خاک است [۶]. مدل‌های بسیاری نیز مانند مدل WEEP^۱، [۷]، CREAMS^۲ [۸]، EuroSEM^۳ [۹] و SWAT^۴ [۱۰] با درجه پیچیدگی و شرایط متفاوت محیطی توسعه یافته است. مشکل اصلی مدل‌های مبتنی بر فرایند نیازمندی به تعداد پارامترهای ورودی بسیار زیاد و کمبود داده برای مقایسه مقدار فرسایش و رسوب شبیه‌سازی‌شده با مقدار واقعی در مرحله اعتبارسنجی است [۱۱]. از این‌رو، مدل‌های تجربی پیش‌بینی فرسایش خاک همچنان تأثیر مهمی در برنامه‌ریزی حفاظت خاک دارند [۱۲]. برای کمی‌سازی تولید رسوب در حوضه‌های آبخیز روش‌های ژئومورفولوژیکی توسعه یافته که یکی از این مدل‌ها پرکاربرد مدل معادله جهانی هدررفت خاک اصلاح‌شده^۵ است [۱۳ و ۱۴]. RUSLE یک مدل مؤثر،

6. Geographic information system
7. Remote sensing
8. Prasannakumar

1. Water Erosion Prediction Project
2. Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems
3. European Soil Erosion Model
4. Soil and Water Assessment Tool
5. Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)

برآورد میزان فرسایش و بار رسوب منجر شد. رضائی و همکارانش [۲۶] به برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE و شناسایی مؤثرترین عامل آن در حوضه آبخیز گابریک در استان هرمزگان پرداختند. نتایج این پژوهش ضمن تأیید قابلیت زیاد سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور را برای ایجاد داده‌های مورد نیاز ورودی به RUSLE، نشان‌دهنده کیفیت مناسب و قابلیت به‌روزرسانی فراوان برای داده‌های خروجی بود. استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تکنیک سنجش از دور و تلفیق آنها با مدل RUSLE امکان برآورد فرسایش خاک و توزیع مکانی آن را با هزینه و زمان کمتر و نیز صحت بیشتر فراهم می‌آورد [۲۷]. به‌طور کلی، تکنیک سنجش از دور به‌واسطه طبقه‌بندی اراضی برای تعیین عامل مدیریت و پوشش اراضی به‌کار می‌رود. در حالی که ابزار GIS برای استخراج عوامل توپوگرافیکی از داده‌های DEM، درون‌یابی از نمونه پلات‌ها و محاسبه از هدررفت خاک استفاده می‌شود. با توجه به زمان‌بر و پرهزینه بودن سایر روش‌های برآورد فرسایش خاک، یکپارچه‌سازی مدل‌های فرسایش خاک، تکنیک سنجش از دور، داده‌های میدانی و داده‌های به‌دست‌آمده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به تحقیقات بیشتری نیاز دارد [۲۸].

با توجه به اینکه حوضه آبخیز تالار یکی از حوضه‌های آبخیز کوهستانی شمال کشور است که در سال‌های اخیر همانند سایر بخش‌های استان مازندران به‌دلیل شرایط خاص این استان مانند اقلیم مرطوب و خاک حاصل‌خیز تغییرات کاربری شدیدی را تجربه کرده است. با توجه به شرایط یادشده در حوضه آبخیز تالار و اهمیت موضوع فرسایش خاک هدف این تحقیق توسعه یکپارچه‌سازی تکنیک سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل RUSLE به‌منظور برآورد و شناسایی توزیع مکانی فرسایش خاک و تولید رسوب در مقیاس حوضه است.

مواد و روش

موقعیت منطقه مطالعاتی

حوضه آبخیز تالار در حد واسط ۵۲ درجه و ۳۵ دقیقه و ۲۲ ثانیه تا ۵۳ درجه و ۲۳ دقیقه و ۳۴ ثانیه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه و ۲۳ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۱۹ دقیقه و ۱ ثانیه عرض شمالی واقع شده و توسط رودخانه تالار با امتداد شمالی- جنوبی زهکش می‌شود (شکل ۱). مساحت این

کیوفرانجا^۱ واقع در شمال اردن با استفاده از مدل RUSLE و سامانه اطلاعات جغرافیایی برآورد کردند و برای اعتبارسنجی مدل نتایج به‌دست‌آمده را با برآوردهای دیگر مدل‌ها در شمال اردن مقایسه کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد مدل RUSLE مبتنی بر سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در مقایسه با نتایج دیگر مدل‌های برآورد فرسایش، عملکرد مناسب‌تری دارد. گانسری و رامش^۲ [۲۲] به‌منظور برآورد هدررفت خاک با استفاده از مدل RUSLE در محیط GIS، شمال غرب هند نشان دادند بیشترین بخش حوضه در طبقه فرسایشی کم قرار دارد و همچنین این مدل به‌عامل پوشش و کاربری اراضی (به‌خصوص اراضی کشاورزی) حساسیت زیادی نشان می‌دهد. در ایران نیز زندی و همکارانش [۲۳] به‌منظور اولویت‌بندی مناطق پرخطر فرسایشی در حوضه آبخیز وازرود مازندران با استفاده از مدل RUSLE برای دو دوره ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ نقشه خطر فرسایش تهیه کردند و میزان تغییرات برای دوره ۱۰ ساله محاسبه شد. آنها در تحقیق خود پیشنهاد کردند که حدود ۱۱ درصد از سطح حوضه دچار فرسایش شدید است و به اقدامات حفاظتی نیاز دارد. همچنین رحیمی و مزبانی [۲۴] تغییرات فرسایش حوضه آبخیز سیوند طی سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۹ را با استفاده از مدل RUSLE و بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای TM^۳ (سال ۱۹۹۸) و ETM^۴ (سال ۲۰۰۹) ارزیابی کردند. رخبین و همکارانش [۲۵] در مطالعه و بررسی فرسایش خاک و بار رسوب حوضه آبخیز لاورفین استان هرمزگان از مدل USLE در چارچوب سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده کردند. همه نقشه‌های LS، K، R و C و P در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه و سپس با هم تلفیق شدند. بررسی نقشه خطر فرسایش نشان داد میزان خطر فرسایش خاک در سطح حوضه از صفر تا ۷۱۱۵ تن در هکتار در سال متغیر بوده است. مقایسه متوسط بار رسوب برآوردشده در روش‌های USDA^۵، MPSIAC^۶، EPM^۷ با نتایج RUSLE نشان داد تلفیق مدل RUSLE با سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور به افزایش قابلیت آن در

1. Kufranja
2. Ganasri and Ramesh
3. Thematic Mapper (TM)
4. Enhanced Thematic mapper plus (ETM+)
5. United States Department of Agriculture (USDA)
6. Modified Pacific Southwest Inter Agency Committee (MPSIAC)
7. Erosion Potential Method (EPM)

سایر متغیرهای محیطی بستگی دارند، بنابراین فرسایش خاک درون هر پیکسل محاسبه می‌شود.

به‌منظور تهیه نقشه نهایی فرسایش خاک ابتدا همه عوامل مدل RUSLE شامل R، K، L، S، C و P به‌صورت نقشه‌هایی با فرمت GRID و مقیاس ۳۰ متری تبدیل شد و سپس با ضرب همه این لایه‌ها میزان هدررفت خاک در سطح پیکسل محاسبه و نقشه نهایی هدررفت خاک به‌دست آمد. در حقیقت طی این فرایند اطلاعات موجود در پیکسل‌های مختص به لایه‌ها که براساس روابط مدل RUSLE تعیین شده بود در محیط GIS توسط ابزار Raster Calculator با یکدیگر تلفیق شدند [۲۳].

رابطه ۱ پارامترهای مدل RUSLE را نشان می‌دهد [۱۲]. شکل ۱ روش به‌کاررفته در این تحقیق را نشان می‌دهد.

$$A=R.K.L.S.C.P \quad (1)$$

در این رابطه A متوسط هدررفت مکانی خاک برای دوره فرساینده‌گی بارش (R) ($t^{-1} \text{ year}^{-1}$), R فرساینده‌گی باران (MJ $t^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ year}^{-1}$), K فرسایش‌پذیری خاک ($mm \text{ ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ year}^{-1}$), L طول شیب، S شدت شیب، C مدیریت پوشش گیاهی، P عامل حفاظتی است.

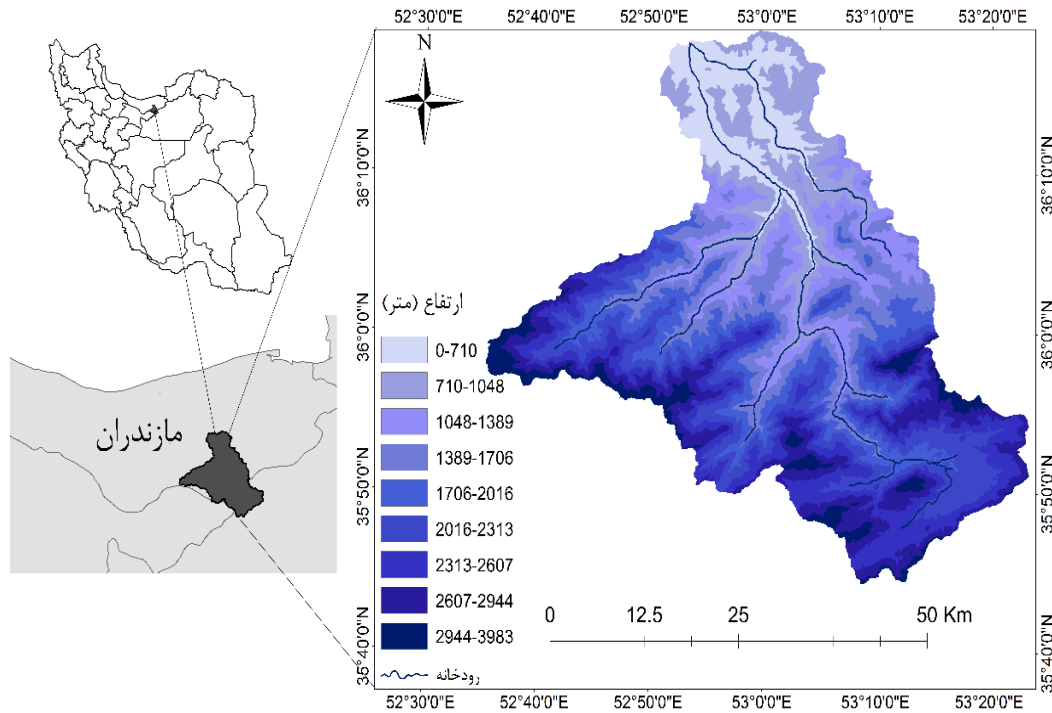
عامل فرساینده‌گی باران (R)

با توجه به اینکه تعداد ایستگاه‌ها در حوضه مطالعه شده کم است، به‌منظور بیشترکردن دقت کار الگوی بارنده‌گی ایستگاه‌های باران‌سنجی مجاور حوضه نیز بررسی شد. در این پژوهش، از داده‌های بارنده‌گی ماهانه و سالانه هفت ایستگاه هواشناسی با دوره آماری مشترک ۱۰ ساله (۲۰۰۳-۲۰۱۲) استفاده شد. به‌دلیل نبود آمار کوتاه‌مدت (کمتر از یک ساعت) مختص به شدت و مقدار رگبار در همه ایستگاه‌های انتخابی، از روش رنارد و فریموند [۱۲] (رابطه‌ای مبتنی بر داده‌های متوسط بارنده‌گی ماهانه و سالانه) برای محاسبه عامل فرساینده‌گی R برای هر ایستگاه استفاده شد. رنارد و فریموند از پژوهش‌های ویشمایر و با استفاده از داده‌های بارنده‌گی ماهانه و سالانه، عامل R را محاسبه کردند.

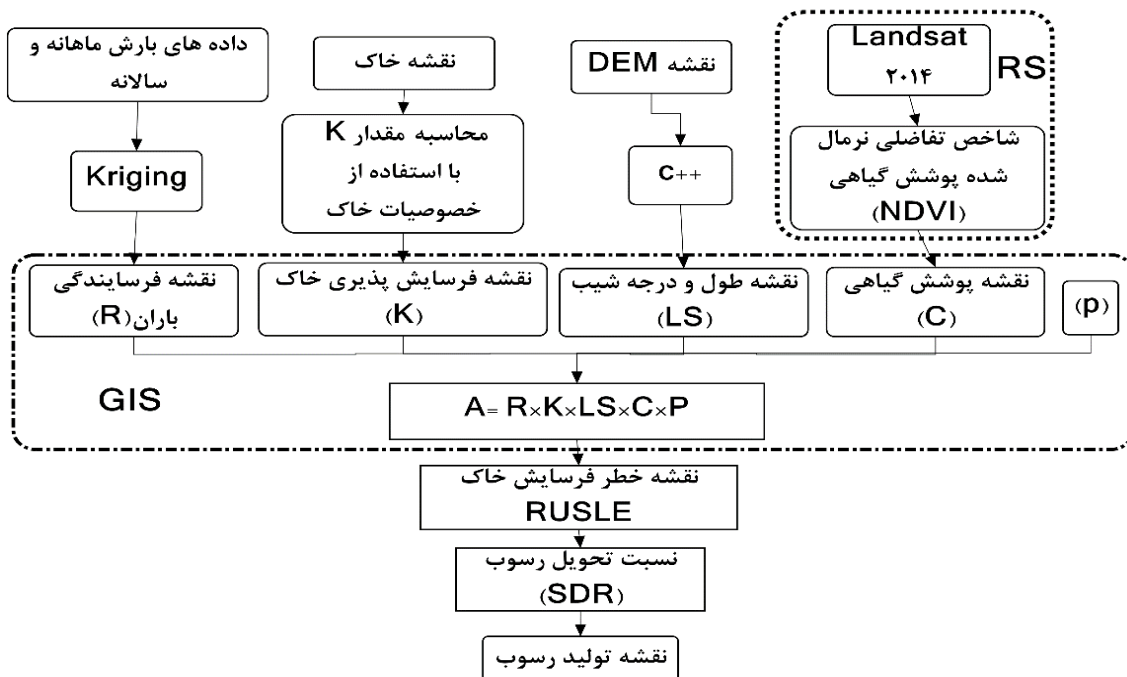
حوضه آبخیز ۲۱۰ هزار هکتار، میانگین بارنده‌گی سالانه ۵۴۰ میلی‌متر، رژیم بارش مدیترانه‌ای و کمترین و بیشترین دمای سالانه آن به‌ترتیب ۷/۷ و ۲۱ درجه سلسیوس است. بیشتر منطقه توسط سنگ‌های رسوبی و آذرین پوشیده شده است در حالی که سنگ‌های دگرگونی در منطقه وجود ندارد. از نظر گروه‌های هیدرولوژیکی گروه‌های A، B و C به‌ترتیب ۶۰، ۲۱ و ۱۹ درصد از حوضه را می‌پوشانند و گروه هیدرولوژیکی D در منطقه دیده نمی‌شود. از مهم‌ترین کاربری‌های اراضی در منطقه جنگل، مراتع، کشاورزی دیم، کشاورزی آبی و مناطق مسکونی هستند. حوضه آبخیز تالار یکی از حوضه‌ها کوهستانی شمال کشور است که مانند سایر مناطق استان مازندران در دهه‌های اخیر به‌دلیل داشتن شرایط خاصی چون اقلیم و خاک مناسب تغییرات پوشش سطحی و کاربری اراضی شدیدی را تجربه کرده است. در حوضه آبخیز تالار در طول بیش از دو دهه ۳۰ تا ۴۰ درصد اراضی جنگلی به‌دلیل توسعه جاده، ساخت و احداث کارخانه‌ها و معادن، چرای دام، قاچاق چوب کاهش یافته و به‌دلیل سطح پایین معیشت مردم ساکن حوضه بخش زیادی از اراضی جنگلی و مرتعی به کشاورزی دیم و باغ‌ها تغییر کاربری داده است [۲۹].

مدل RUSLE

مدل RUSLE به‌طور گسترده در سراسر جهان برای پیش‌بینی بلندمدت میزان فرسایش شیاری و بین شیاری در مقیاس مزرعه تا حوضه با انواع مختلف شیوه‌های مدیریتی استفاده شده است. بسیاری از پارامترها مانند شیب، جهت، نقشه‌های پوشش و کاربری اراضی به‌دست‌آمده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) و تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند به‌راحتی با RUSLE یکپارچه شود. اگرچه این مدل قابلیت روندیابی رسوب در آبراهه را ندارد و استفاده از آن در مناطق بسیار کوچک و بسیار بزرگ محدود شده است، این مدل همچنان بهترین مدل کاربردی پیش‌بینی فرسایش در دسترس است که می‌تواند به‌راحتی در سطح محلی و یا منطقه استفاده شود [۵]. معادله به‌کاررفته در این مدل تابع پنج نقشه با فرمت رستری شامل فرساینده‌گی بارش، فرسایش‌پذیری خاک، درصد طول و شیب، مدیریت پوشش گیاهی و عملیات حفاظتی است. این عوامل در زمان و مکان متغیر هستند و به



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعه شده در استان مازندران



شکل ۲. نمودار جریان مراحل تحقیق

$$F = \sum_{i=1}^n \frac{P_i^2}{P} \quad (4)$$

که در این روابط، F نمایه فورنیه اصلاح شده، P_i متوسط بارندگی ماه i ام (میلی متر) و \bar{P} متوسط بارندگی سالانه در

طبق پژوهش های آنها رابطه بین R و نمایه فورنیه اصلاح شده (F) به صورت رابطه های ۲ تا ۴ است.

$$R = 0.7397 F^{1/847}, F < 55 \text{ mm} \quad (2)$$

$$R = 95/77 - 6/0.81F + 0/477 F^2, F > 55 \text{ mm} \quad (3)$$

$$m = \frac{\beta}{(\beta + 1)} \quad (7)$$

$$\beta = \frac{\left(\frac{\sin \theta}{0.0896} \right)}{3 \times (\sin \theta)^{1/\lambda} + 0.56} \quad (8)$$

عامل پوشش گیاهی (C)

روش‌های مختلفی برای برآورد عامل C با استفاده از شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) برای ارزیابی هدررفت خاک توسط محققان مختلف توسعه داده شده است [۳۴، ۳۶، ۳۷، ۳۸]. بنابراین، به منظور تهیه نقشه عامل C ابتدا باید مقادیر شاخص NDVI در کل حوضه محاسبه شود. برای تهیه نقشه NDVI از باند ۴ و ۵ تصویر ماهواره‌ای Landsat 8 سال ۲۰۱۴ منطقه مطالعه شده با استفاده از رابطه ۹ استفاده شد. نقشه شاخص پوشش گیاهی NDVI منطقه مطالعه شده با استفاده از نرم‌افزار ENVI از رابطه ۹ به دست آمد:

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{Red}) / (\rho_{NIR} + \rho_{Red}) \quad (9)$$

در این رابطه ρ_{Red} باند قرمز و ρ_{NIR} باند مادون قرمز نزدیک است.

پس از محاسبه NDVI برای کل حوضه، در نهایت توزیع مکانی مقادیر C در حوضه نیز با استفاده از رابطه ۱۰ [۷] و توسط تحلیلگر مکانی نرم‌افزار ArcGIS به دست آمد.

$$C \text{ Factor} = 0.407 - 0.5953 \times NDVI \quad (10)$$

عامل عملیات حفاظتی (P)

در مدل RUSLE عامل P نشان‌دهنده هدررفت خاک در شرایط اجرای عملیات حفاظتی (کشت روی خطوط تراز، کشت نواری، تراس‌بندی و زهکشی زیرسطحی) نسبت به هدررفت خاک تحت زراعت شخم در جهت شیب است [۱۳]. این عملیات حفاظتی به دلیل تأثیر بر سرعت رواناب، زمان تمرکز و نیروی هیدرولیکی رواناب بر خاک سبب کاهش فرسایش می‌شوند و ارزش عددی این عامل از صفر (نشان‌دهنده عملیات حفاظتی کامل) تا یک (بدون عملیات حفاظتی) متغیر است. از آنجا که عامل حفاظت P در صورت نبود اطلاعات کافی درباره چگونگی مدیریت اراضی می‌تواند از معادله حذف شود [۳۹]، در این تحقیق نیز به دلیل نبود اطلاعات کافی عامل P محاسبه نشده است.

دوره آماری ۱۰ ساله (میلی‌متر) و R عامل فرساینده‌گی سالانه برحسب مگاژول میلی‌متر در هکتار در ساعت در سال است. در نهایت، با توجه به مقدار فرساینده‌گی باران هر ایستگاه با استفاده از روش کریجینگ در نرم‌افزار ArcGIS نقشه فرساینده‌گی باران منطقه مطالعه شده تهیه شد.

عامل فرسایش پذیری خاک (K)

عامل K منعکس‌کننده ویژگی‌های خاک در مقابل فرسایش است و برحسب $(t \text{ m}^2 \text{ h ha}^{-1} \text{ hJ}^{-1} \text{ mm}^{-1})$ بیان می‌شود. روش مرسوم تعیین ضریب فرسایش‌پذیری خاک در سطوح وسیع مانند حوضه‌های آبخیز، اختصاص دادن مقدار یکسان فرسایش‌پذیری برای هر واحد نقشه خاک است [۳۰]. مقدار عامل K برای هر واحد نقشه خاک، با استفاده از رابطه ۵ محاسبه می‌شود.

$$100 \cdot K = 2/1M^{1/14} * 10 - 4 * (12 - \%OM) + 3/25(S - 2) + 2/5(P - 3) \quad (5)$$

در این رابطه k عامل فرسایش‌پذیری خاک $(t \text{ m}^2 \text{ h ha}^{-1})$ حاصل ضرب (ر.س. / ۱۰۰ - درصد لای) + درصد شن ریز، OM درصد ماده آلی، S طبقه ساختمان خاک‌دانه‌ها، P طبقه نفوذپذیری پروفیل است.

عامل طول و درصد شیب (LS)

عامل‌های L و S با همدیگر اثر طول، تندی و شکل شیب را روی تولید رسوب نشان می‌دهند [۳۱]. برآورد میدانی طول شیب بسیار زمان‌بر و طاقت‌فرساست. روش استفاده شده در این مطالعه برای به دست آوردن عامل LS، برنامه‌ای است که ابتدا به زبان برنامه‌نویسی آرک ماکرو (ALM) نوشته شده [۳۲] و در سال ۲۰۰۴ با زبان برنامه‌نویسی C++ به روز شده است و از طریق وبسایت <http://www.iang.org> قابل دانلود است. برنامه به صورت خودکار از DEM به عنوان ورودی برای اجرای محاسبات عامل LS استفاده می‌کند [۳۳]. دستور عامل L براساس رابطه ۶ است [۳۴]. فایل اجرایی برنامه C++ طول شیب تجمعی را محاسبه و مقادیر آن را جایگزین λ می‌کند (رابطه ۶).

$$L = \left(\frac{\lambda}{22/13} \right)^m \quad (6)$$

توان m در این رابطه در ارتباط مستقیم با متغیر β است که نسبت فرسایش شیاری به بین شیاری است. توان m مقدار β از روابط ۷ و ۸ محاسبه می‌شوند [۱۲].

برآورد تولید رسوب

به دلیل مساحت بسیار زیاد حوضه برای بیشتر کردن دقت مطالعه و به منظور برآورد هدررفت خاک و تولید رسوب حوضه آبخیز تالار به شش زیرحوضه تقسیم شد. برای تعیین مقدار تولید رسوب ابتدا با استفاده از رابطه ۱۱ ارائه شده توسط سرویس حفاظت خاک سازمان کشاورزی ایالات متحده (USDA SCS) نسبت تحویل رسوب در هر زیرحوضه تعیین و سپس با استفاده از رابطه ۱۲ با استفاده از ضرب SDR در هدررفت خاک هر زیرحوضه مقدار تولید رسوب محاسبه شد [۱۴].

$$SDR = 0.51 \times A^{-0.11} \quad (11)$$

که در آنها A مساحت زیرحوضه (Km²)، SY تولید رسوب (ton ha⁻¹ yr⁻¹)، نسبت تحویل رسوب^۱ و SE هدررفت سالانه خاک (ton ha⁻¹ yr⁻¹) هستند.

رگرسیون خطی ساده

در بیشتر روش‌های تحلیلی برای اطلاعات بیشتر از رابطه و شدت بین دو یا چند متغیر و یا تغییرات در متغیرهای مستقل چه مقدار به متغیر مستقل یا وابسته افزوده می‌شود از تحلیل رگرسیون استفاده می‌شود [۳۵]. به این منظور با استفاده از نرم‌افزار ArcMap 10.1 ماژول Spatial Analyst tools/Multivariate و روش Band Collection Statistics میزان رگرسیون خطی نقشه‌های R، K، LS و C و تأثیر هر یک از این پارامترها در ایجاد نقشه هدررفت خاک مدل RUSLE محاسبه شد. در این مدل رگرسیونی نقشه هدررفت خاک به عنوان متغیر وابسته و نقشه‌های فرساینده باران، فرسایش پذیری خاک، پوشش گیاهی و نقشه طول و درصد شیب به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند.

نتایج و بحث

عامل فرساینده باران

بسیاری از مطالعات بر تأثیر مهم بارندگی در فرایند فرسایش خاک در حوضه‌های آبخیز مختلف تأکید کرده‌اند [۳۹ و ۴۰]. اگرچه بارش روزانه شاخص بهتری برای توصیف تغییرات میزان فرسایش خاک در فصول مختلف است، دسترسی آسان، سهولت در محاسبات و ثبات در یک منطقه مزیت

داده‌های بارش سالانه است و این امر امکان استفاده از این نوع داده‌ها را در بسیاری از مطالعات فراهم آورده است [۵]. از این رو، در این مطالعه از داده‌های بارش ماهانه و سالانه در برآورد پارامترهای مورد نیاز شاخص فورنیه (معادلات ۲-۴) برای دوره ۲۰۰۳-۲۰۱۳ استفاده شده است. جدول ۱ محاسبه شاخص‌های فورنیه و عامل فرساینده باران را برای هفت ایستگاه نشان می‌دهد.

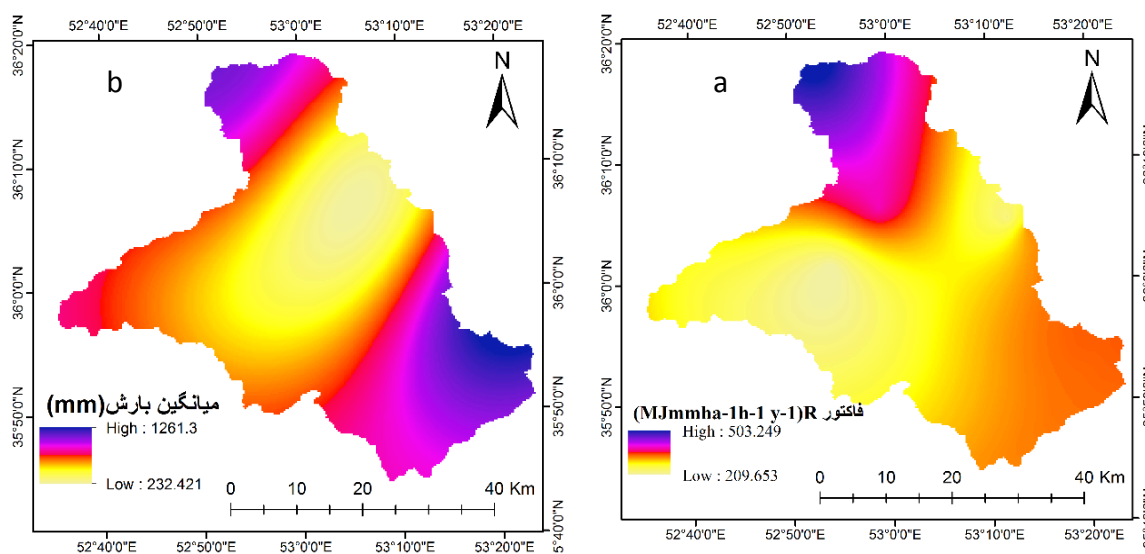
شکل ۳ نیز نقشه فرساینده باران را نشان می‌دهد. در محیط GIS مقدار متوسط عامل R در حوضه آبخیز تالار ۲۰۹/۶۵ تا ۵۰۳/۲۴ (MJmmha⁻¹h⁻¹ y⁻¹) محاسبه شد. شکل ۲ نشان می‌دهد بیشترین مقدار فرساینده باران در نیمه جنوبی حوضه به خصوص در منطقه شیرگاه (رنگ آبی) و کمترین آن در نواحی غربی (رنگ سفید) حوضه بود. گانسری و رامش [۵] با استفاده از داده‌های متوسط بارش ماهانه در ۱۳ ایستگاه فرساینده باران بین ۲۹۰۰ تا ۴۷۰۰ (MJmmha⁻¹h⁻¹ y⁻¹) را محاسبه کردند. زندی و همکارانش [۲۳] در حوضه آبخیز وازرود مازندران مقدار فرساینده باران را ۲۴۹ تا ۴۶۸ (MJmmha⁻¹h⁻¹ y⁻¹) محاسبه کردند که با توجه به نزدیکی مکانی منطقه با مقدار به دست آمده در این تحقیق همخوانی دارد.

عامل فرسایش پذیری خاک (K)

فرسایش پذیری خاک توسط مجموعه پیچیده‌ای از خواص فیزیکی و شیمیایی خاک کنترل و معمولاً به صورت تجربی تعیین می‌شود. عواملی مانند بافت، ساختار، مواد آلی و نفوذپذیری در تعیین این پارامتر خاک بسیار مهم‌اند. شکل ۴ نقشه فرسایش پذیری خاک را نشان می‌دهد. در حوضه ۵۸ نوع خاک با خصوصیات مختلف فیزیکی و شیمیایی شناخته شده است که مقدار K برای منطقه در دامنه ۰/۱۶ تا ۰/۷۵ (MJ.mm.ha⁻¹h⁻¹ y⁻¹) تعیین شد که ضریب فرسایش پذیری ۰/۵ تا ۲۹ درصد و ضریب فرسایش پذیری ۰/۷ تا ۰/۷ درصد پوشش به ترتیب بیشترین و کمترین مساحت را به خود اختصاص دادند. مقادیر بیشتر مقدار K نشان‌دهنده بیشتر بودن ذرات بسیار ریز شن و سیلت است که در نهایت سبب افزایش فرسایش پذیری خاک می‌شود [۴۰].

جدول ۱. شاخص فورنیه (F) و عامل فرساینده باران (R)

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	میانگین بارش سالانه (میلی متر)	شاخص فورنیه	فرساینده باران
آلاشت	۶۷۵۳۸	۳۹۹۶۸۶۱	۳۹۵/۷۸	۲۹/۴۵	۳۸۲/۲۴
دریزکلا	۶۹۸۰۸۶	۳۹۹۵۴۳۱	۵۴۶/۱۰	۲۲/۵۹	۲۳۴/۲۴
گل افشان	۶۷۳۳۳۵	۴۰۳۱۹۰۰	۲۲۶۸/۲۲	۹۴/۶۴	۳۷۹۲/۶۱
پلند	۶۷۱۴۰۹	۳۹۸۷۸۶۵	۴۶۳/۶۰	۲۱/۲۷	۲۰۹/۵۴
سنگده	۷۰۱۱۳۱	۳۹۹۳۶۵۱	۷۶۴/۴۵	۲۶/۵۷	۳۱۶/۰۵
شیرگاه	۶۶۹۲۷۴	۴۰۱۹۰۹۷	۱۰۷۶/۵۷	۳۴/۲۳	۵۰۴/۷۲
سلیمان تنگه	۷۰۰۶۶۳	۴۰۱۳۹۹۰	۵۹۳/۰۱	۲۱/۵۸	۲۱۵/۳۵



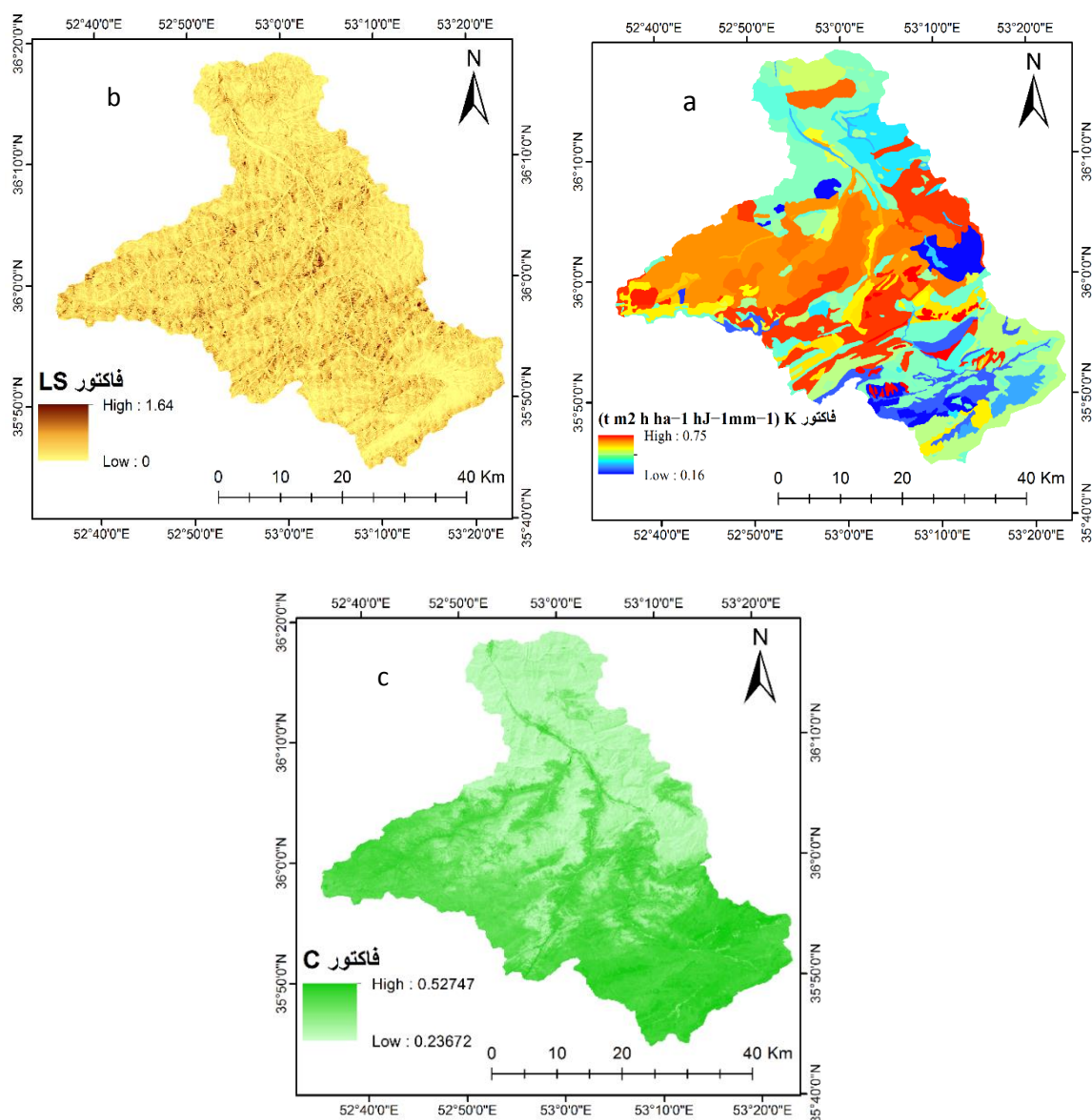
شکل ۳. نقشه فرساینده باران (a) و میانگین بارش سالانه (b)

عامل طول و درصد شیب (LS)

نقشه عامل طول و درصد شیب (LS) در شکل ۴ نشان داده شده است. مقدار این عامل بین ۰ تا ۱/۶۴ محاسبه شد که در دامنه‌های پرشیب در همه منطقه به خصوص اطراف آبراهه‌های اصلی است که به دلیل کوهستانی بودن حوضه آبخیز تالار است. به طور کلی، افزایش طول و درصد شیب به علت تشدید سرعت و قدرت فرساینده جریانی سطحی مقدار فرسایش خاک را در واحد سطح افزایش می‌دهد [۲۱]. همچنین اختلاف ارتفاع بین پست‌ترین و بلندترین نقطه در حوضه ۳۷۲۲ متر است. مقایسه نقشه طول و درصد شیب با نقشه نهایی RUSLE نشان داده است که با افزایش طول و درصد شیب منطقه شدت و میزان فرسایش نیز افزایش یافته است که با نتایج فلاح و همکارانش [۳۷] هم‌خوانی دارد.

عامل پوشش گیاهی (C)

شکل ۴ توزیع عامل پوشش گیاهی را نشان می‌دهد که مقادیر آن از کمترین ۰/۲۳ تا بیشترین ۰/۵۲ به دست آمد. مقادیر C برای مناطق جنگلی انبوه ۰/۲۳۷-۰/۲۹۷، اراضی جنگلی باز ۰/۲۹۷-۰/۳۲۹، اراضی کشاورزی ۰/۳۲۹-۰/۳۴۳، مناطق شهری ۰/۳۶۶-۰/۳۷۶ و اراضی با کمترین پوشش ۰/۵۷۲ محاسبه شد. زندگی و همکارانش [۲۳] نیز در حوضه آبخیز وازرود، مازندران، با استفاده از شاخص NDVI به دست آمده از تصویر لندست مقدار C را در این حوضه صفر تا ۰/۳۵ محاسبه کردند که مقدار عامل پوشش گیاهی نزدیک به مقدار محاسبه شده در تحقیق حاضر است. به طور کلی، می‌توان گفت که نیمه شمالی حوضه آبخیز تالار به دلیل وسعت بیشتر اراضی جنگلی مقادیر کمتری از مقدار C دارد و بیشترین مقدار در نواحی غربی و به خصوص جنوب شرقی حوضه به دلیل اراضی مرتعی دیده می‌شوند.

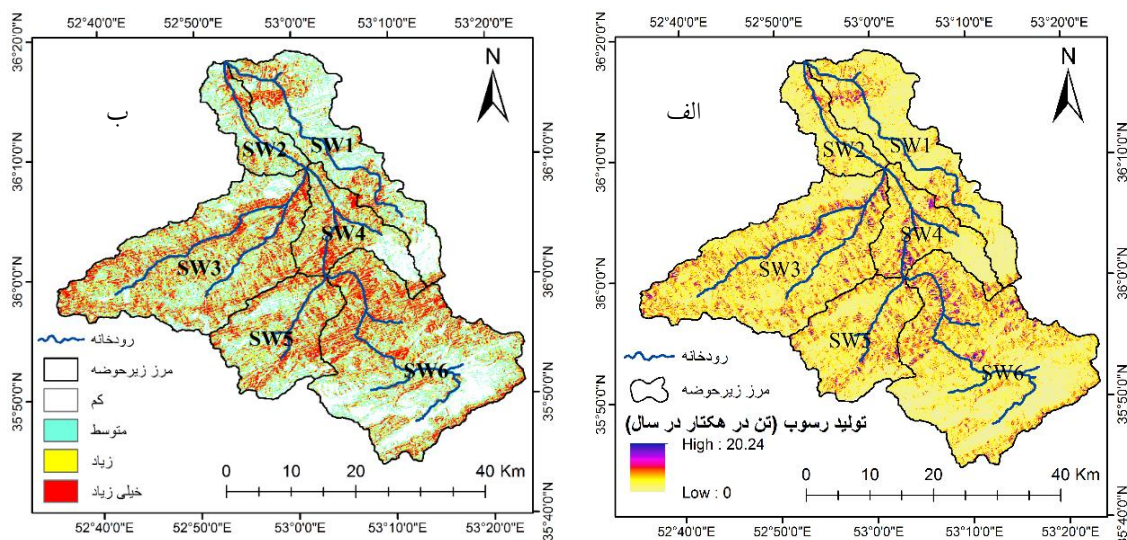


شکل ۴. نقشه فرسایش پذیری خاک (a)، نقشه طول و درصد شیب (b) و نقشه پوشش گیاهی (c)

برآورد هدررفت خاک و تولید رسوب

مقدار هدررفت خاک برای کل حوضه از ۰ تا ۹۲/۰۱ تن در هکتار در سال به دست آمد. شکل ۵ نقشه نهایی هدررفت خاک را در حوضه آبخیز تالار نشان می‌دهد که به چهار طبقه فرسایشی کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم شده است. نتایج طبقه‌بندی هدررفت خاک (شکل ۶) نشان می‌دهد طبقه فرسایشی کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به ترتیب ۳۳/۱۲، ۲۷/۶۲، ۲۱/۱۳ و ۱۸/۱۳ درصد از کل حوضه آبخیز را به خود اختصاص دادند. طبقه‌هایی با خطر فرسایش کم و

متوسط بیشتر قسمت‌های شرق و جنوب شرقی حوضه را پوشش می‌دهند و طبقه‌هایی با خطر فرسایش زیاد و خیلی زیاد بیشتر در قسمت‌های مرکزی حوضه مشاهده می‌شوند که تحت تأثیر تغییرات زیاد عامل LS و عامل فرسایش‌پذیری خاک هستند که در این مناطق بیشترین مقدار فرسایش را نشان می‌دهند. در نهایت، مقدار هدررفت خاک، نسبت تحویل رسوب و تولید رسوب برای هر زیرحوضه به صورت جداگانه محاسبه شد (جدول ۲).



شکل ۵. نقشه تولید رسوب (الف) و نقشه هدررفت خاک با تلفیق پارامترهای مدل **RUSLE** در حوضه آبخیز تالار (ب)



شکل ۶. نتایج مساحت خطر فرسایش پذیری خاک برای طبقه‌های مختلف

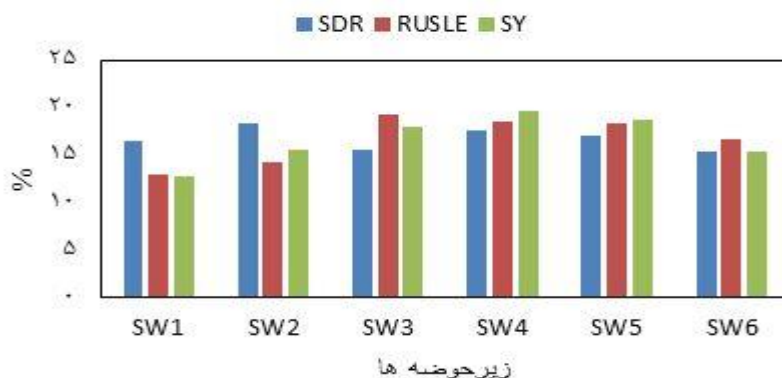
جدول ۲. محاسبه پارامترهای نسبت تحویل رسوب، تولید رسوب و هدررفت خاک برای زیرحوضه‌ها

زیرحوضه	مساحت (کیلومتر مربع)	SDR	میانگین RUSLE ($t\ h^{-1}\ year^{-1}$)	میانگین SY ($ton\ ha^{-1}\ yr^{-1}$)	اولویت‌بندی بر مبنای SY ($ton\ ha^{-1}\ yr^{-1}$)	اولویت‌بندی بر مبنای RUSLE ($t\ h^{-1}\ year^{-1}$)
SW1	۳۳۲/۰۶	۰/۲۷	۳/۷۸	۱/۰۲	۶	۶
SW2	۱۲۳/۷۵	۰/۳۰	۴/۱۲	۱/۲۳	۴	۵
SW3	۵۴۲/۶۳	۰/۲۶	۵/۵۸	۱/۴۵	۳	۱
SW4	۱۸۰/۱۹	۰/۲۹	۵/۴	۱/۵۶	۱	۲
SW5	۲۴۸/۹۶	۰/۲۸	۵/۳۳	۱/۴۹	۲	۳
SW6		۰/۲۵	۴/۸۶	۱/۲۱	۵	۴

همچنین رضائی و همکارانش [۳۹] پس از استفاده از مدل RUSLE در یک حوضه، بندرعباس، گزارش کردند که عامل توپوگرافی با مقدار ۸۷ درصد بیشترین همبستگی را با نقشه هدررفت خاک نشان داد. نتایج رگرسیون خطی نشان داد در بین پارامترهای مدل RUSLE پارامتر طول و درصد شیب بیشترین همبستگی را با نقشه هدررفت خاک داشته است و پارامترهای فرسایش‌پذیری خاک، پوشش گیاهی و فرسایشی باران به ترتیب در رده‌های بعدی قرار گرفتند.

برای محاسبه تولید رسوب ابتدا با استفاده از رابطه ۱۱ نسبت تحویل رسوب محاسبه و مقدار آن برای زیرحوضه‌ها از ۰/۲۵ تا ۰/۳۰ به دست آمد. با توجه به توان منفی مساحت در این رابطه می‌توان گفت که شاخص SDR با مساحت زیرحوضه‌ها نسبت عکس دارد که در نتیجه آن زیرحوضه SW_۲ با بیشترین مساحت کمترین نسبت تحویل رسوب (۰/۲۶) و زیرحوضه SW_۲ با کمترین مساحت بیشترین نسبت تحویل رسوب (۰/۳۰) را دارند. سپس با ضرب نسبت تحویل رسوب در هدررفت خاک مقدار رسوب تولیدی از ۱/۰۲ تا ۱/۵۵ تن در هکتار در سال برای زیرحوضه‌ها به دست آمد. شکل ۷ مقدار هدررفت خاک مدل RUSLE، نسبت تحویل رسوب و تولید رسوب (SY) را برای هر زیرحوضه برحسب درصد نشان می‌دهد.

همان‌گونه که جدول ۲ نشان می‌دهد، زیرحوضه‌های SW_۲ و SW_۱ با کمترین میانگین هدررفت خاک به ترتیب ۳/۷۸ و ۴/۱۲ نسبت به زیرحوضه‌های دیگر کمتر تحت خطر فرسایش خاک هستند و به ترتیب در اولویت ۶ و ۵ قرار گرفتند. با توجه به نقشه عامل پوشش گیاهی می‌توان بیان کرد که علت کم‌تر بودن هدررفت خاک در این دو زیرحوضه پوشش وسیع اراضی جنگلی است که در بعضی مواقع اراضی جنگلی تا ۱۰۰ درصد می‌توانند در حفاظت خاک مؤثر باشند [۳۸]. همچنین مطالعات دیگری مانند گتاچو و ملیسا [۳۹]، هونگ و لو [۴۰] و خوی و همکارانش [۴۱] بر تأثیر مثبت اراضی جنگلی در جلوگیری از فرسایش خاک و تولید رسوب تأکید داشته‌اند. زیرحوضه‌های SW_۳ و SW_۴ نیز به ترتیب با خطر فرسایش ۵/۵۸ و ۵/۴ تن در هکتار در سال در میان زیرحوضه‌های دیگر بیشتر تحت خطر فرسایش خاک هستند و به ترتیب در اولویت‌های اول و دوم به منظور اجرای عملیات حفاظتی قرار دارند. در این زیرحوضه‌ها علاوه بر مقادیر زیاد عامل طول و درصد شیب ضریب فرسایش‌پذیری خاک نیز بیشترین مقدار را دارد که این موضوع سبب تشدید فرسایش در این زیرحوضه‌ها می‌شود. کاملیودین و همکاران^۱ [۴۲] نیز در تحقیق خود بیان کردند که ترکیب دو عامل شیب و فرسایش‌پذیری خاک سبب تشدید فرسایش می‌شوند.



شکل ۷. درصد تولید رسوب (SY)، هدررفت خاک در مدل RUSLE و نسبت تحویل رسوب (SDR) برای زیرحوضه‌های تالار

بیشترین و کمترین مقدار نسبت تحویل رسوب را نسبت به زیرحوضه‌های دیگر حوضه دارند. در نهایت، بیشترین و کمترین تولید رسوب با مقادیر ۱/۵۵ و ۱/۰۲ تن در هکتار در سال برای زیرحوضه‌های SW_۴ و SW_۱ برآورد شد که بیشترین (۱۹/۵۹ درصد) و کمترین (۱۲/۸۴ درصد) مقدار رسوب را به رودخانه تالار وارد می‌کنند.

نتایج نشان دادند^۱ زیرحوضه‌های SW_۲ و SW_۱ با مقادیر به ترتیب ۱۹/۱ و ۱۳ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار هدررفت خاک را داشتند. همچنین زیرحوضه‌های SW_۲ و SW_۶ به ترتیب با مقادیر ۱۸/۳ و ۱۵/۳ درصد به ترتیب

- by human action. Cambridge: Cambridge Univ. Press. 1990.
- [3]. Lal R. Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality: critical reviews. *Plant Sci.* 1998;17:319-464.
- [4]. Grepperud S. Soil conservation and government policies in tropical area: does aid worsen the incentives for arresting erosion. *Agric econ.* 2012;12:120-140.
- [5]. Ganasri B, Ramesh H. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers.* 2015;1-9.
- [6]. Prasannakumar V, Shiny R, Geetha N, Vijith H. Spatial prediction of soil erosion risk by remote sensing, GIS and RUSLE approach: a case study of Siruvani river watershed in Attapady valley, Kerala, India. *Environ Earth Sci.* 2011;64:965-972.
- [7]. Nearing M, Foster G, Lane L. A process-based soil erosion model for USDA water erosion prediction project. *Transactions of ASAE.* 1989;32(5):1587-1593.
- [8]. Knisel W. A field scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems. us department of agriculture research service : US Department of Agriculture Research Service. 2010.
- [9]. Morgan R, Quinton J, Rickson R. Structure of the soil erosion prediction model for the European community. *Proceedings of International Symposium Water Erosion, Sedimentation and Resource Conservation*, 9-13 October, 1990 Dehradun, India. Central Soil and Water Conservation Research and T. CSWCRTI, Dehradun, India. 1990; p.49-59.
- [10]. Arnold J, Srinivasan R, Muttiah R, Williams J. Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development. *J Am Water Res Assoc.* 1998;34(1):73-89.
- [11]. Lazzari M, Gioia D, Piccarreta M, Danese M, Danese A. Sediment yield and erosion rate estimation in the mountain catchments of the Camastra artificial reservoir (Southern Italy): a comparison between different empirical methods. *Catena.* 2015;127:323e339.
- [12]. Renard K, Foster G, Weesies G, McCool D, Yoder D. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). US Department of Agriculture (Ed.), *Agricultural Handbook*. US Department of Agriculture, Washington. 1997;703:1-251.

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر به منظور یکپارچه‌سازی مدل تجربی RUSLE، GIS و RS در تعیین هدررفت خاک و تولید رسوب در حوضه آبخیز تالار انجام شد. نقشه‌های R، K، LS، و C در محیط GIS تهیه و پس از تلفیق این داده‌های مکانی و تهیه نقشه متوسط هدررفت خاک برای کل حوضه ۰ تا ۹۲/۰۱ تن در هکتار در سال و تولید رسوب ۰ تا ۲۰/۲۴ تن در هکتار در سال محاسبه شد. نتایج ارزیابی نقشه هدررفت خاک در مقیاس زیرحوضه نشان داد زیرحوضه‌های SW_۱ و SW_۲ در مناطق جنگلی با تراکم زیاد و ارتفاع کم واقع و دارای کمترین مقدار فرسایش هستند. در بین عامل‌های مختص به مدل RUSLE فرساینده‌گی باران نسبت به سایر پارامترها تأثیر کمتری در نواحی فرسایش‌پذیر داشته است که به دلیل پوشش خوب منطقه است و اثر برخورد قطرات باران را در فرسایش پاشمانی و در نتیجه شدت فرساینده‌گی باران را کاهش می‌دهد. بیشترین خطر فرسایش نیز در زیرحوضه‌های SW_۳ و SW_۴ برآورد شد که در این مناطق عامل طول و درصد شیب و فرسایش‌پذیری خاک نسبت به پوشش و فرساینده‌گی باران تأثیر بیشتری از خود نشان دادند. با توجه به نتایج ارائه‌شده می‌توان بیان کرد که زیرحوضه‌هایی با بیشترین مقدار تولید رسوب، هدررفت خاک و نسبت تحویل رسوب باید در برنامه‌های اولیه برنامه‌های حفاظت آب و خاک قرار گیرند و البته نباید از زیرحوضه‌های دیگر چشم‌پوشی کرد بلکه باید برنامه‌های کنترلی نیز برای حفظ و بهبود شرایط آنها در نظر گرفته شود. نتایج به‌دست‌آمده شامل نقشه‌های فرسایش خاک و تولید رسوب در این تحقیق علاوه بر توسعه سناریوهای مدیریتی در منطقه به سیاست‌گذاران و مدیران منابع طبیعی در اولویت‌بندی و به‌کارگیری شیوه‌های مدیریتی مناسب در کنترل فرسایش خاک مناطق پرخطر حوضه آبخیز تالار کمک می‌کند.

منابع

- [1]. Eswaran H, Lal R, Reich P. Land degradation: an overview. In: Bridges EM, Hannam ID, Oldeman LR, Penning de Vries FWT, Scherr SJ, Sombatpanit S (eds) *Response to land degradation*. Science, Enfield, 2001. P. 20-35.
- [2]. Turner B, Clark W, Kates R, Richards J, Matthews J, Meyer W. *The earth as transformed*

- [13]. Wischmeier W, Smith D. Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning. Agriculture Handbook No. 537. US Department of Agriculture Science and Education Administration, Washington, DC, USA, 1978. p. 163.
- [14]. Vipul Shinde K, Tiwari S, Manjushree S. Prioritization of micro watersheds on the basis of soil erosion hazard using remote sensing and geographic information system. International Journal of Water Resources and Environmental Engineering. 2010;2(3):130-136.
- [15]. Pandey A., Chowdary V, Mal B. Identification of critical erosion prone areas in the small agricultural watershed using USLE, GIS and remote sensing. Water Resources Management. 2007;21(4):742-746.
- [16]. kouli M, Soupios P, Vallianatos F. Soil erosion prediction using the revised universal soil loss equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. Environ Geol. 2009;57(3):483-497.
- [17]. Kefi M, Yoshino K. Evaluation of the economic effects of soil erosion risk on agricultural productivity using remote sensing: case of watershed in Tunis. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing Spatial Information Sci. 2010.
- [18]. Chen T, Niu R, Wang Y, Li P, Zhang L, Du B. Assessment of spatial distribution of soil loss over the upper basin of Miyun reservoir in China based on RS and GIS techniques. Environ Monitoring Assess. 2011;179:605-617.
- [19]. Prasannakumar V, Vijith H, Abinod S, Geetha N. Estimation of soil erosion risk within a small mountainous sub-watershed in Kerala, India, using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) and geo-information technology. Geoscience Frontiers. 2012;3(2):209-215.
- [20]. Farhan Y, Nawaiseh S. Spatial assessment of soil erosion risk using RUSLE and GIS techniques. Environ Earth Sci. 2015;74(6):4649-4669.
- [21]. Zandi J, Soleimani K, Habibnejad Roshan M. Prioritizing of areas of soil erosion control using techniques of multi-criteria evaluation and GIS. Geography and Development. 2013;31:93-105.(In Persian).
- [22]. Rahimi K, Mazbani M. Assess of erosion changes Sivand watershed during 1988 and 2009 using of the model RUSLE. Environmental Erosion Researchs. 2013;9:1-18. (In Persian).
- [23]. Rakhbin M, Nohegar A, Kamali A, Habib Ellahian M. Estimates of erosion and sediment yield in the watershed Lavrfyn (Hormozgan eparchy) using remote sensing (RS), Geographic Information System (GIS) and experimental models RUSLE. Geographical Research. 2014;3(114):89-104.(In Persian).
- [24]. Jahad Engineering services. Comprehensive study of Haraz Watershed. Compilation Reports., Studies office and evaluations watersheds.2001. (In Persian).
- [25]. Vaezi A, Bahrami H, Sadeghi S, Mahdian M. Spatial variability of soil erodibility factor (K) of the USLE in North West of Iran. J Agric Sci Tech. 2010;12:241-252.
- [26]. Pradhan B, Chaudhari A, Adinarayana J, Buchroithner M. Soil erosion assessment and its correlation with landslid events using remote sensing data and GIS. Environ Monitoring Assess. 2011;171:153-161.
- [27]. Hickey R. Slope Angle and Slope Length Solutions for GIS. Cartography. 2002;29: 582-591.
- [28]. Van Remortel R, Maichle R, Hickey R. Computing the LS factor for the revised universal soil loss equation through array-based slope processing of digital elevation data using C++ executable. Computers and Geosciences. 2004;30:1043-1053.
- [29]. Wischmeier W, Smith D. Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning. Agriculture Handbook No. 537. US Department of Agriculture Science and Education Administration, Washington, DC, USA, 1978. p. 163.
- [30]. De Jong S. Application of Reflective Remote Sensing for Land Degradation Studies. University of Utrecht. 1994.
- [31]. De Jeng S. Regional assessment of soil erosion using the distributed model SEMMED and remotely sensed data. catena. 1999;37:291-308.
- [32]. Kigira F, Gathanya J, Home P. Modeling the influence of land use/land cover changes on sediment yield and hydrology in thika river catchment Kenya, Using Swat Model. Nile Basin Water Sci Eng J. 2012;3(3):56-72.
- [33]. Lin C, Lin W, Chou W. Soil erosion prediction and sediment yield estimation: the Taiwan experience. Soil Till Res. 2002;68:143-152.
- [34]. Fallah suraki M, Kavian A, Omidvar E. Zoning of soil erosion hazard in the Haraz watershed model RUSLE. 2 National Conference on climate change and engineering

- sustainable agriculture and natural Resources,, Tehran- September 17.2015. (In Persian).
- [35]. Renard K, Foster G, Weesies G, McCool D, Yoder D. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). US Department of Agriculture (Ed.), Agricultural Handbook. US Department of Agriculture, Washington. 1997;703:1-251.
- [36]. Khatiby M, Karami F, Rajabi M, Nikju M. Assessment of the soil erosion hazard in the Sarakandr Chay watersheds, the Sahand east hillsides using of USLE and GIS. *Journal of Geography and Urban Planning*. 2012;40(16):1-23. (In Persian).
- [37]. Rezai P, Faridy P, Ghorbani M, Kazemi M. Estimate of soil erosion using of RUSLE model and identify the most effective factor in watershed Gabric-southeast Hormozgan province. *Quantitative geomorphology researchs* 2014;1:97-113. (In Persian).
- [38]. Dabral P, Baithuri N, Pandey A. Soil erosion assessment in a hilly catchment of North Eastern India using USLE, GIS and remote sensing. *Water Res Manag*. 2011;22(12):1783-1798.
- [39]. Kamaludin K, Lihan T, Ali Rahman Z, Mustapha M, Idris W, Rahim S. Integration of remote sensing, RUSLE and GIS to model potential soil loss and sediment yield (SY). *Hydrol Earth System Sci*. 2013;10:4567-4596.
- [40]. Getachew H, Melesse A. Effects of Land Use Change on Sediment and Water Yields in Yang Ming Shan National Park, Taiwan. *Environments*. 2015;2:32-42.
- [41]. Huang T, Lo K. Effects of land use change on sediment and water yields in yang ming shan national park, Taiwan. *Environments*. 2012;2:32-42.
- [42]. Khoi D, Suetsugi T. Impact of climate and land-use changes on hydrological processes and sediment yield—a case study of the Be River catchment, Vietnam. *Hydrol Sci J*. 2014;59(5):1097-1108.