

بررسی خطرات فرسایش و ارزیابی اثرات تغییرات کاربری‌ها حائز اهمیت است. تغییر پوشش و کاربری زمین بر بسیاری از فرایندهای طبیعی نظیر فرسایش خاک و تولید رسوب، سیلاب و خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک اثر می‌گذارد. هدف پژوهش حاضر بررسی سناریوهای مختلف عملیات بیولوژیکی بر میزان هدررفت خاک حوزه آبخیز مرگاو استان مازندران است.

مواد و روش‌ها

حوزه آبخیز مرگاو در محدوده طول شرقی $6^{\circ} 9' 53''$ الی $11^{\circ} 14' 53''$ و عرض شمالی $36^{\circ} 6' 25''$ الی $36^{\circ} 12' 34''$ با مساحت 44017 هکتار در بالادست سد شهید رجایی ساری و از توابع شهر فریم بخش دودانگه ساری در استان مازندران است. بارندگی متوسط سالانه حوضه معادل $580/1$ میلی‌متر بوده که ماه آذر و فصل پاییز به ترتیب پر باران‌ترین ماه و فصل هستند و مرداد و فصل تابستان نیز کم باران‌ترین ماه و فصل سال هستند. دمای متوسط حوزه نیز معادل $11/7$ درجه سانتی‌گراد محاسبه شده است. همچنین پارامترهای فیزیوگرافی این حوضه از قبیل حداقل و حداکثر ارتفاع از سطح دریا به ترتیب 779 و 1787 متر و ارتفاع متوسط وزنی $1204/2$ متر و شیب متوسط وزنی $35/79$ درصد و زمان تمرکز $2/7$ ساعت است. در نهایت اقلیم حوزه نیز به روش آمبرژه و دومارتن به ترتیب مرطوب سرد و نیمه مرطوب بوده است. به منظور اجرای سناریوهای تغییر کاربری فعلی اراضی حوضه به کاربری‌های مرتع و گیاهان دارویی، ابتدا نقشه کاربری فعلی اراضی حوزه آبخیز مرگاو، با استفاده از بازدیدهای میدانی و نرم‌افزار گوگل ارث در محیط GIS رسم شد. سپس با استفاده از مدل RUSLE، فرسایش کل حوضه محاسبه شد. از آنجایی که تغییر کاربری اراضی جنگلی، مسکونی و سد به کاربری دیگر در حوضه، منطقی نبود، از فرایند شبیه‌سازی حذف و بر سایر کاربری‌ها، پیشنهاد سناریو به مساحت $561/54$ هکتار صورت گرفت.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد، میانگین میزان هدررفت خاک در اراضی کشاورزی، باغی و مناطق جنگلی تخریب یافته حوزه آبخیز مرگاو با استفاده از مدل RUSLE، $25/4$ تن بر هکتار در سال بود. همچنین نتایج شبیه‌سازی سناریوهای عملیات بیولوژیکی و حفاظتی خاک با استفاده از مدل RUSLE نشان داد، سناریوهای مرتعداری (سناریوی اول)، مرتعداری و باغداری (سناریوی دوم) و کشت گیاهان دارویی (سناریوی سوم)، به ترتیب فرسایش خاک را به $18/9$ ،

شبیه‌سازی سناریوهای عملیات بیولوژیکی حفاظت خاک بر تغییرات فرسایش با استفاده از مدل RUSLE (حوزه آبخیز مرگاو - بخش فریم استان مازندران)

رضا احمدی لمراسکی^۱، عطاالله کاویان^۲، لایلا غلامی^۳، حمید امیرنژاد^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۸

DOI: 10.22034/18.64.15

چکیده مبسوط

مقدمه

هدررفت خاک پدیده‌ای است که موجب تخریب اراضی شده و به دلیل بهره‌وری پایین کشاورزی نه تنها بر منابع طبیعی بلکه بر معیشت مردم نیز تأثیر منفی می‌گذارد. خاک از منظر اقتصادی یکی از منابع طبیعی است که بر قدرت ملی یک کشور مؤثر است و به عنوان یک محور اصلی در قدرت اقتصادی ارزیابی می‌شود. فرسایش فرایندی است که باعث تخریب لایه‌های سطح خاک و جابه‌جایی مواد تشکیل‌دهنده آن شده و یکی از شایع‌ترین علل تخریب اراضی در سراسر جهان و تهدیدی جدی برای جامعه انسانی و محیط زیست است. متوسط سالانه فرسایش خاک در ایران حدود 24 تن در هکتار در سال است. این رقم بسیار قابل توجه بوده و ارزش اقتصادی بیش از صدها میلیارد ریال را در بر می‌گیرد. تنش‌های اقتصادی، اجتماعی و سیاسی به ویژه تنش‌های ناشی از مهاجرت نیز تا حد زیادی به این موضوع مربوط می‌شود. از سوی دیگر، رشد روزافزون جمعیت در ایران و به دنبال آن مصرف بیشتر مواد غذایی، کشاورزان را مجبور به استفاده از اراضی شیب‌دار حساس به فرسایش کرده است که یکی از دلایل اصلی تخریب منابع طبیعی است. بنابراین، پیش از هر اقدامی پیش‌بینی شدت فرسایش خاک به برنامه‌ریزی در تعیین کاربری اراضی،

- ۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران
- ۲- استاد و نویسنده مسئول، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
آدرس ایمیل: a.kavian@sanru.ac.ir
- ۳- دانشیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
- ۴- استاد، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۸/۹ و ۵/۴ تن بر هکتار در سال (کاهش) رساندند. با توجه به نقش فرسایش باران، میزان آن از شمال حوضه به سمت غرب و جنوب غربی حوضه افزایش می‌یابد که این امر مربوط به کاهش بارندگی و توزیع فضایی ناهموار بارندگی در حوضه است. شاخص فرسایش پذیری خاک (K) در استفاده از جنگل‌های تخریب شده و کشاورزی بیشتر از سایر کاربری‌ها بود. مناطق با شیب بیشتر فرسایش بیشتری داشتند که نشان‌دهنده نقش عامل LS در این امر است. به عبارت دیگر، اراضی کشاورزی که برای عامل LS در مقطع متوسط به بالا قرار گرفته‌اند، این بخش را نسبت به فرسایش خاک حساس‌تر می‌کند. با توجه به نقشه عامل پوشش گیاهی بر میزان فرسایش، حساس‌ترین مناطق به فرسایش اراضی جنگلی تخریب شده و سپس کشاورزی مناطقی هستند که با در نظر گرفتن افزایش یا کاهش شیب، میزان فرسایش را افزایش یا کاهش می‌دهند. بنابراین مهمترین عاملی که می‌تواند اثر منفی شیب بر فرسایش حوضه را کاهش دهد پوشش گیاهی است.

نتیجه‌گیری

پایمدهای منفی فرسایش کل حوزه آبخیز مرگاو می‌تواند کاهش تدریجی حاصلخیزی خاک سطحی و اراضی زراعی و به خطر افتادن معیشت و امنیت غذایی مردم باشد. در واقع با توجه به نقش موثر پوشش گیاهی بر فرسایش خاک، اجرا و توسعه اراضی باغی و یا کشت گیاهان دارویی بر اساس اصول کشت نواری در اراضی شیب‌دار در این حوضه پیشنهاد می‌شود. در واقع می‌توان در راستای هدف‌گذاری حفاظتی، هدف‌گذاری اقتصادی را در انتخاب نوع پوشش گیاهی و انتخاب گونه گیاهی در نظر گرفت که هم بتواند از فرسایش خاک جلوگیری کند و هم از کشت آن درآمدزایی کند. بنابراین با توجه به دستورالعمل احداث باغ و کشت گیاهان دارویی دیم در اراضی شیب‌دار در سال ۱۳۹۵ و با توجه به جنبه‌های اقتصادی، سه سناریو برای این حوضه پیشنهاد شد که بهترین سناریو تبدیل اراضی کشاورزی به گیاهان دارویی دیم (سناریوی ۳) است که باعث کاهش فرسایش از ۲۵/۴۴ تا ۵/۴ تن در هکتار در سال می‌شود. زیرا کشت گیاهان دارویی نیازی به خاک‌ورزی در سال ندارد و در مقایسه با محصولات مانده‌گندم می‌توان آن را طبق مدل حفاظتی خاک کشت کرد که باعث کاهش فرسایش خاک می‌شود. بنابراین توجه به مسائل اجتماعی و اقتصادی مبتنی بر توسعه پایدار در اجرای عملیات آبخیزداری می‌تواند عامل مهمی در مدیریت بهتر حوزه‌های آبخیز کشور باشد.

کلیدواژه‌ها: عملیات بیولوژیک، حفاظت خاک، مدل RUSLE، مسائل اقتصادی-اجتماعی، حوزه آبخیز مرگاو

مقدمه

فرسایش فرایندی است که باعث تخریب لایه‌های سطح خاک و جابه‌جایی مواد تشکیل‌دهنده آن شده [۸] و یکی از شایع‌ترین علل تخریب اراضی در سراسر جهان [۲۳] و تهدیدی جدی برای

جامعه انسانی و محیط زیست است [۴۱]، هم‌چنین ۱۱۰۰ میلیون هکتار از اراضی سراسر جهان تحت تأثیر فرسایش قرار گرفته است [۲۸]. از دیدگاه اقتصادی، خاک در زمره منابع طبیعی بر قدرت ملی یک کشور مؤثر بوده و به‌عنوان محوری عمده در قدرت اقتصادی ارزیابی می‌شود. متوسط فرسایش سالانه خاک در کشور ایران حدود ۲۴ تن بر هکتار بر سال است [۳۲]. این رقم بسیار قابل توجه بوده و ارزش اقتصادی بیش از صدها میلیارد ریال را شامل می‌شود. تنش‌های اقتصادی، اجتماعی و سیاسی به ویژه تنش‌های حاصل از مهاجرت‌های روستاییان و عشایر نیز تا حد زیادی به این موضوع مرتبط است [۳۷]. از طرف دیگر، رشد روزافزون جمعیت در ایران و به دنبال آن مصرف بیش‌تر مواد غذایی، بهره‌برداران را به استفاده از اراضی شیب‌دار حساس به فرسایش واداشته و این از دلایل عمده تخریب منابع طبیعی به‌شمار می‌رود. نقش پوشش مرتعی در کاهش فرسایش و رسوب فقط به قسمت فوقانی و بیرونی گیاهان محدود نمی‌شود، بلکه ریشه‌های گیاهان نیز در این زمینه نقشی حساس دارند. زیرا ریشه‌های گیاهان با نفوذ در اعماق خاک، موجب چسبندگی خاکدانه‌ها شده و مانع متلاشی شدن خاکدانه‌ها به هنگام برخورد قطرات باران می‌شوند [۴]. مراتع هم‌چنین نقش بسیار مهمی در جلوگیری از پرشدن مخازن سدها دارند. تخریب مراتع و پوشش گیاهی آن، موجب برهم خوردن تعادل هیدرولوژیکی، فرسایش خاک، تشکیل رسوبات و در نهایت پرشدن مخازن سدها می‌شود. فرسایش خاک به‌عنوان یک مشکل جدی محیط‌زیستی مشکلات و نابسامانی‌های غیرقابل اجتنابی را در پی دارد. از جمله این مشکلات شامل کاهش عمر مفید سدهای ذخیره‌ای، افزایش هزینه طراحی و احداث سدهای بزرگ، افزایش هزینه تصفیه آب شرب به‌علت وجود مواد معلق بیش از حد در سدها، انباشه شدن رسوبات در شبکه آبیاری و افزایش هزینه لایروبی، تقلیل ظرفیت نظام‌های آبیاری و زهکشی پایین‌دست و افزایش مواد فرسایش‌یافته در آن‌ها هستند [۱۰]. بنابراین پژوهش‌های متعددی نقش پوشش مرتعی را در حفظ و جلوگیری از فرسایش و رسوب نشان می‌دهد و لزوم ارزیابی و ارزش اقتصادی مرتع را در جلوگیری از فرسایش مشخص می‌کند [۴۵]. علاوه بر این، بررسی وضعیت فرسایش در فصول مختلف نشان می‌دهد بیش‌ترین فرسایش خاک در فصل زمستان به‌دلیل توزیع بیش‌تر بارندگی‌ها و فقدان پوشش گیاهی به‌وجود می‌آید [۳۱]. بنابراین، پوشش گیاهی نقش مهمی در تنظیم فرایندهای هیدرولوژیکی و تغییر در خواص خاک، به دلیل مهار نیروهای مخرب بارندگی که باعث سله بستن خاک لخت و فرسایش خاک می‌شود، دارد و باعث بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی و زیست‌شناختی خاک شده که این امر باعث کاهش فرسایش خواهد شد [۲۶]. این عامل مهم براساس مطالعات تکنیک‌های حفاظتی روی سطح خاک می‌تواند از دست رفتن خاک را به طور مؤثرتری کاهش دهد [۴۶]. بنابراین، پیش از هر اقدامی پیش‌بینی شدت فرسایش خاک به برنامه‌ریزی در تعیین کاربری اراضی، بررسی خطرات فرسایش و ارزیابی اثرات

تغییرات کاربری‌ها حائز اهمیت است [۷]. تغییر پوشش و کاربری زمین بر بسیاری از فرایندهای طبیعی نظیر فرسایش خاک و تولید رسوب، سیلاب و خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک اثر می‌گذارد [۴۰]. بررسی میکرومورفولوژیکی مقاطع نازک خاک نشان می‌دهد که در اکثر موارد ساختمان مطلوب دان‌های و اسفنجی بر اثر تخریب پوشش طبیعی منطقه به انواع توده‌ای و متراکم تبدیل شده است. به دلیل وقوع چنین تغییراتی ضریب فرسایش‌پذیری خاک افزایش یافته است [۱]. زانکا و همکاران [۴۷]، براساس تحقیقی در جنوب شرقی چین نتیجه گرفتند احیای جنگل باعث کاهش رواناب سطحی و فرسایش می‌شود. هم‌چنین شدت فرسایش در اراضی لخت به شدت افزایش می‌یابد. وان رمپای و همکاران [۴۱] در بلژیک نشان دادند تغییرات اندک در وسعت اراضی جنگلی و تبدیل آن‌ها به اراضی کشاورزی اثرات قابل توجهی بر میزان فرسایش خاک و تولید رسوب بر جای گذاشته است. سانتوز و همکاران [۳۹]، با بررسی تغییر کاربری اراضی در برزیل عنوان کردند با کاهش سطح اراضی کشاورزی و مرتعی، فرسایش در منطقه ۱۰ برابر افزایش داشته است. کوشنا و همکاران [۲۷]، با بررسی اثر کاربری اراضی بر فرسایش خاک کشور زیمبابوه به این نتیجه رسیدند با کاهش ۳۹ درصدی سطح اراضی جنگلی بین سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۱۶، فرسایش ۱۹/۲ درصد افزایش داشته و به طور میانگین سالانه ۱/۲ تن بر هکتار در سال بر میزان فرسایش افزوده می‌شود. ویی و همکاران [۴۳]، با بررسی تفکیک فرسایش خاک و فعالیت‌های انسانی در فلات لس چین در قرن بیستم، تغییرات میزان فرسایش خاک را مستقیماً به نحوه استفاده از اراضی دانستند. ارزیابی و برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب سالانه، به منظور اجرای برنامه‌های حفاظت خاک، تعیین روش‌های مبارزه با فرسایش و کاهش رسوب‌زایی ضرورت دارد [۲۳]. نبود یا کمبود آمار و اطلاعات در زمینه فرسایش خاک و تولید رسوب در بسیاری از حوزه‌های آبخیز کشور، به‌کارگیری روش‌های تجربی مناسب برای برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب را الزامی می‌کند [۲۴]. بنابراین، رابطه جهانی فرسایش خاک^۱ یکی از مدل‌های تجربی است که به طور گسترده برای بررسی عوامل مؤثر در فرسایش آبی و برآورد هدررفت خاک در اثر فرسایش سطحی و شیب‌اری از زمین‌های زراعی استفاده می‌شود. رابطه جهانی فرسایش خاک اصلاح شده^۲ نیز به عنوان مدل توسعه یافته USLE برای پیش بینی فرسایش خاک سالانه از یک سطح معین استفاده می‌شود [۲]. مدل RUSLE، از همان عوامل اساسی موجود در مدل USLE استفاده می‌کند، اما تعاریف و روابط متقابل این عوامل، در آن بهتر تشریح شده و سبب بهبود صحت برآورد فرسایش خاک شده است. با توجه به اینکه مدل USLE، تنها در اراضی کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گرفت، مدل RUSLE، وابسته به نوع استفاده از اراضی است. به عبارت دیگر، مدل اخیر، هم در اراضی کشاورزی و هم در اراضی منابع طبیعی

قابلیت استفاده دارد و به همین دلیل، اصطلاح وابسته به کاربری اراضی به مدل نسبت داده‌اند. از طرفی مدل RUSLE، یک روش تک رخداد محسوب می‌شود، بدین معنا که می‌تواند مقدار فرسایش را برای هر رخداد بارندگی محاسبه کند [۱۸]. اویچاتی و همکاران [۳]، با استفاده از مدل RUSLE در چندین زیرحوضه مراکش، دامنه فرسایش را بین ۰/۵۷ الی ۷/۴۹ تن برهکتار در سال برآورد و نشان دادند دو فاکتور شیب و پوشش گیاهی نقش مؤثری بر ایجاد هدررفت خاک داشته‌اند. کبد و همکاران [۲۲]، با بررسی میزان فرسایش خاک در حوضه بلز اتیوپی با استفاده از مدل RUSLE به این نتیجه رسیدند، دامنه میزان فرسایش خاک از صفر تا ۵۰ تن بر هکتار در اراضی کوهستانی و شیب‌دار و متوسط فرسایش سالانه آن ۱۳/۲ تن برهکتار در سال بود. افضلی و همکاران [۳۴]، با استفاده از مدل RUSLE، میزان فرسایش خاک در آبخیز دهکهان جنوب کرمان، ۵۰ تن بر هکتار در سال برآورد کردند. محمدی و همکاران [۳۰]، با استفاده از مدل RUSLE در حوزه آبخیز تالار مقدار فرسایش خاک را بین صفر تا ۹۲/۰۱ تن بر هکتار در سال محاسبه کردند که طول و درجه شیب مهم‌ترین نقش را در فرسایش کل حوضه داشتند. به طور خلاصه، یکی از تأثیرات اساسی نوع پوشش زمین بر فرایندهای موجود در حوزه‌های آبخیز، نقش آن بر میزان فرسایش خاک است که تهدیدی برای منابع طبیعی، کشاورزی و محیط زیست به‌شمار می‌رود [۳۸]. از این رو، شناسایی روند فرسایش خاک به همراه بررسی اثر تغییرات پوشش زمین در حوزه‌های آبخیز در اقدامات مدیریتی کنترل فرسایش و مدیریت حوزه‌های آبخیز و منابع آب و خاک نقش مؤثری دارد [۴۴]. بنابراین با توجه تخریب اراضی جنگلی، تغییر کاربری اراضی و فرسایش اراضی حوزه آبخیز مرگاو، پژوهش حاضر به منظور برآورد وضعیت فرسایش حوضه و راهکارهای کاهش آن با هدف در نظر گرفتن اهداف چند منظوره حفاظتی و اقتصادی، انجام شد. در واقع هدف از پژوهش حاضر، بررسی بهبود وضعیت فرسایش خاک و اجرای عملیات حفاظتی با در نظر گرفتن مسائل اقتصادی- اجتماعی حوضه است و می‌تواند الگویی اولیه برای مدیریت کل حوزه‌های آبخیز کشور باشد.

مواد و روش‌ها

- معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز مرگاو در محدوده طول شرقی "۹۰ ۶" الی "۵۳۰ ۴۱" ۱۴° ۵۳° و عرض شمالی "۳۶ ۲۵" الی "۳۶ ۱۲ ۳۴" با مساحت ۴۴۰۱/۷ هکتار در بالادست سد شهید رجایی ساری و از توابع شهر فریم بخش دودانگه ساری در استان مازندران است (شکل ۱). بارندگی متوسط سالانه حوضه معادل ۵۸۰/۱ میلی‌متر بوده که ماه آذر و فصل پاییز به ترتیب پرباران‌ترین ماه و فصل هستند و مرداد و فصل تابستان نیز کم باران‌ترین ماه و فصل سال هستند. دمای متوسط حوزه نیز معادل ۱۱/۷ درجه سانتی‌گراد محاسبه شده است. تبخیر و تعرق پتانسیل به روش‌های بلانی - کریدل، تورنت وایت اصلاح

1. Universal Soil Loss Equation (USLE)

2. Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)

جدول ۱- مساحت کاربری‌های مختلف اراضی در حوزه آبخیز مرگاو
Table 1. Area of different land uses in Margav watershed

مساحت (هکتار) Area (h)	کاربری اراضی Land use	ردیف row
0.54	سد dam	1
8.14	باغ Garden	2
3783.1	جنگل Forest	3
99.05	جنگل تخریب یافته Destroyed forest	4
56.52	مسکونی Residential	5
454.35	کشاورزی Agriculture land	6
4401.7	-	مساحت کل Area

ارزیابی سناریوها با استفاده از مدل RUSLE

میزان فرسایش خاک در منطقه با استفاده از مدل RUSLE با ترکیب نقشه‌های فاکتور R, L, S, C, K و P برآورد شد (رابطه ۱) [۴۴].

$$A = R.K.L.S.C.P \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه A میانگین فرسایش خاک در واحد سطح (تن بر هکتار در سال)، فاکتور R فرسایش باران (میلی ژول میلی متر بر هکتار در ساعت در سال)، فاکتور K فرسایش پذیری خاک (تن بر هکتار در میلی ژول در میلی متر)، طول شیب، S درجه شیب، C فاکتور مدیریت پوشش گیاهی و P اقدامات حفاظتی است که مقادیر L, S, C و P بدون واحد هستند. برای محاسبه فاکتور فرسایش باران (R)، از آمار بارندگی ایستگاه‌های مربوط به حوزه برای سال‌های ۱۳۸۸ الی ۱۴۰۰ استفاده شد و سپس با استفاده از ابزار IDW در محیط GIS و رابطه ۲، [۹]، نقشه آن (شکل ۲) رسم شد.

$$R = \frac{2.5P^2}{100(0.073P+0.73)} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن p متوسط بارندگی سالیانه (میلی متر) است. فرسایش پذیری خاک برای ۲۲ نقطه با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد [۳۲].

رابطه (۳)

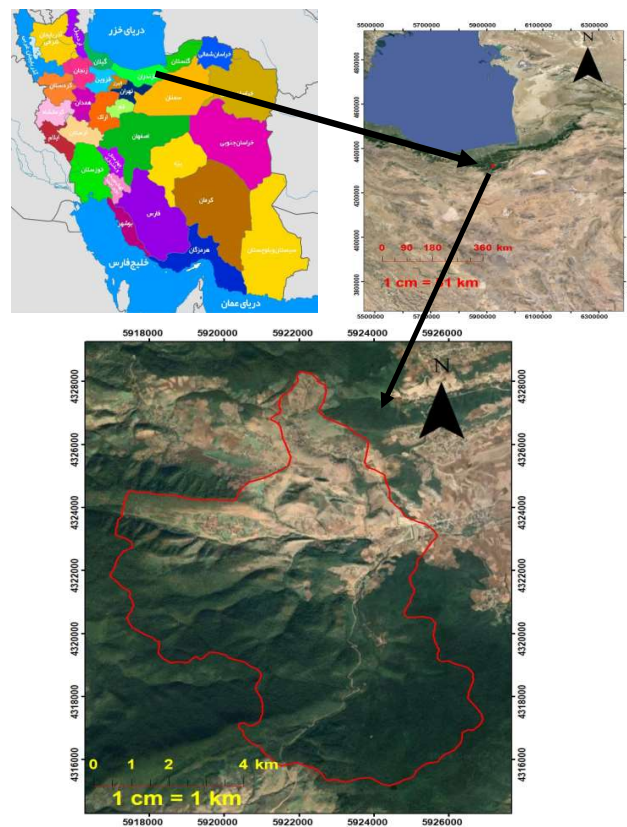
$$K = 0.2 + 0.3e^{0.02 * SAN(1 - \frac{SIL}{100})} * (\frac{SIL}{CLA})^{0.3} * \left(1 - \frac{0.25 OM}{OM + e^{(3.72 - 2.95 OM)}}\right) * \left(1 - \frac{0.7 SN1}{SN1 + e^{(22.9 SN1 - 5.51)}}\right)$$

که در آن SAN درصد شن، SIL درصد سیلت، CLA درصد رس، OM مواد آلی، SN1 SN1، $1 - \frac{SAN}{100}$ است. طول و درجه

شده و پهن اصلاح شده به ترتیب معادل ۷۶۶/۱۱۶۶،۲ و ۸۳۵/۵ میلی متر در سال برآورد شده است. همچنین پارامترهای فیزیوگرافی این حوضه از قبیل حداقل و حداکثر ارتفاع از سطح دریا به ترتیب ۷۷۹ و ۱۷۸۷ متر و ارتفاع متوسط وزنی ۲۰۴/۲ متر و شیب متوسط وزنی ۳۵/۷۹ درصد و زمان تمرکز ۲/۷ ساعت است. در نهایت اقلیم حوضه نیز به روش آمبرژه و دومارتن به ترتیب مرطوب سرد و نیمه مرطوب بوده است [۱۷].

روش تحقیق

به منظور اجرای سناریوهای تغییر کاربری فعلی اراضی حوضه به کاربری‌های مرتع و گیاهان دارویی، ابتدا نقشه کاربری فعلی اراضی حوضه آبخیز مرگاو (جدول ۱)، با استفاده از بازدیدهای میدانی و نرم افزار گوگل ارث در محیط GIS رسم شد. سپس با استفاده از مدل RUSLE، فرسایش کل حوضه محاسبه شد. از آنجایی که تغییر کاربری اراضی جنگلی، مسکونی و سد به کاربری دیگر در حوضه، منطقی نبود، از فرایند شبیه سازی حذف و بر سایر کاربری‌ها، پیشنهاد سناریو به مساحت ۵۶۱/۵۴ هکتار صورت گرفت.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز مرگاو در استان مازندران
Fig 1. Geographical location of Margav watershed in Mazandaran province

شیب با استفاده از مدل SAGA بخش LS به دست آمد [۳۶]. در بررسی های فرسایش خاک، فاکتور C ارتباط زیادی با کاربری اراضی و پوشش سطح زمین، به دلیل وابستگی آن به تناوب زراعی، عملیات کشاورزی، تاج پوشش گیاهی، ناهمواری سطح، و زیست توده زیرسطحی دارد [۱۲]. ضریب C بین صفر و یک است (جدول ۲) و هرچه به صفر نزدیک تر شود نشان دهنده آن است که احتمال فرسایش وجود نخواهد داشت و هرچه به یک نزدیک تر شود یعنی احتمال فرسایش خیلی زیاد است [۱۴].

جدول ۲- تعیین فاکتور C بر اساس نوع کاربری و پوشش زمین
Table 2. Determination of factor C based on the type of land use and land cover

ردیف Row	نوع کاربری Land use	فاکتور C C factor	مرجع Reference
1	سد dam	0	
2	کشاورزی Agriculture land	0.63	محمد و همکاران (Mohammad, et al)
3	مسکونی Residential	0.09	[۳۲]
4	جنگل Forest	0.003	
5	جنگل تخریب یافته Destroyed forest	0.18	بوگرا و همکاران (Bouguerra, et al)
6	مرتع Range	0.4	[۱۱]
7	گیاهان بوته ای Bushy plants	0.014	نوت و همکاران (Nut, et al)
8	گیاهان فورب Forb plants	0.05	باکر و همکاران (Bakker, et al)
9	باغ Garden	0.05	وانگ و همکاران (Wang, et al)

طبق گزارش اعضای بین دولتی جهانی تغییرات آب و هوایی، فرسایش خاک در زمین های کشاورزی فاقد اقدامات حفاظتی،

می تواند بیش از ۱۰۰ برابر سریع تر از تشکیل خاک باشد [۵]. جدول ۳، ضرایب فاکتور عملیات حفاظتی (کشت روی خطوط تراز، کشت نواری، و تراس بندی) را نشان می دهد. از آنجایی که در منطقه مورد بررسی هیچ گونه اقدام حفاظتی انجام نشده است، برای کل منطقه مورد مطالعه عدد یک در نظر گرفته شد. با توجه به شرایط اجرای تراس بندی و همچنین پرهزینه بودن این روش اصلاحی، اجرای این روش در منطق مورد نظر پیشنهاد نمی شود، بنابراین از روش های فوق حذف شد. پس از تعیین مقادیر فاکتورهای مدل، به کمک الحاقی Spatial Analyst برنامه ArcGIS نقشه خطر فرسایش به دست آمد. به طوری که این نقشه مقادیر هدررفت سالانه خاک (تن بر هکتار در سال) را بر اساس سلول به سلول می دهد. سپس، این نقشه به کلاس های مختلف خطر فرسایش پهنه بندی شد تا مناطق پرخطر شناسایی شود.

- پیش بینی اثر اجرای سناریوهای بیولوژیکی بر میزان فرسایش خاک منطقه

پس از انتخاب سناریوهای مختلف (جدول ۴)، با در نظر گرفتن جنبه اقتصادی و منطقی آن، مقادیر فاکتورهای C و P متناسب با نوع کاربری تعیین و با فاکتورهای K، R و LS در محیط Raster calculator GIS ضرب و میزان هدررفت خاک برای هر سناریو محاسبه شد.

نتایج

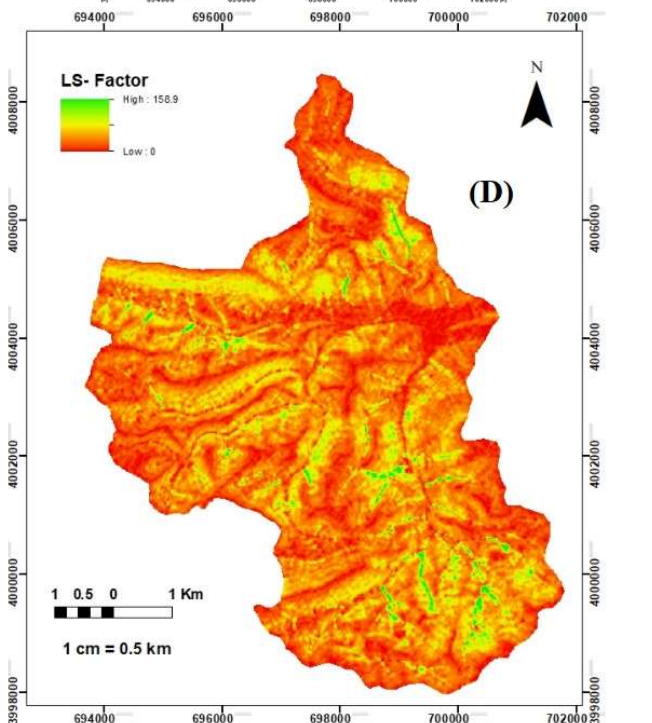
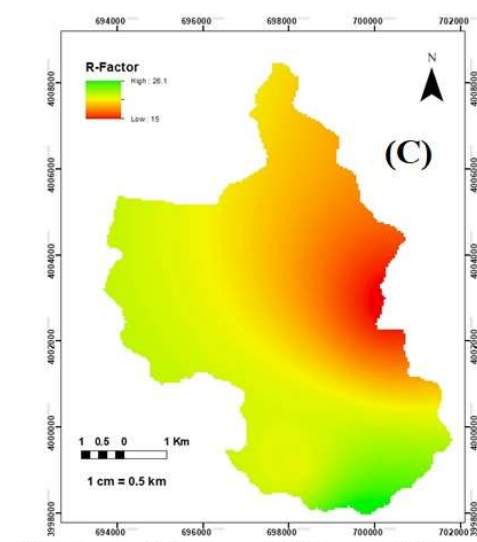
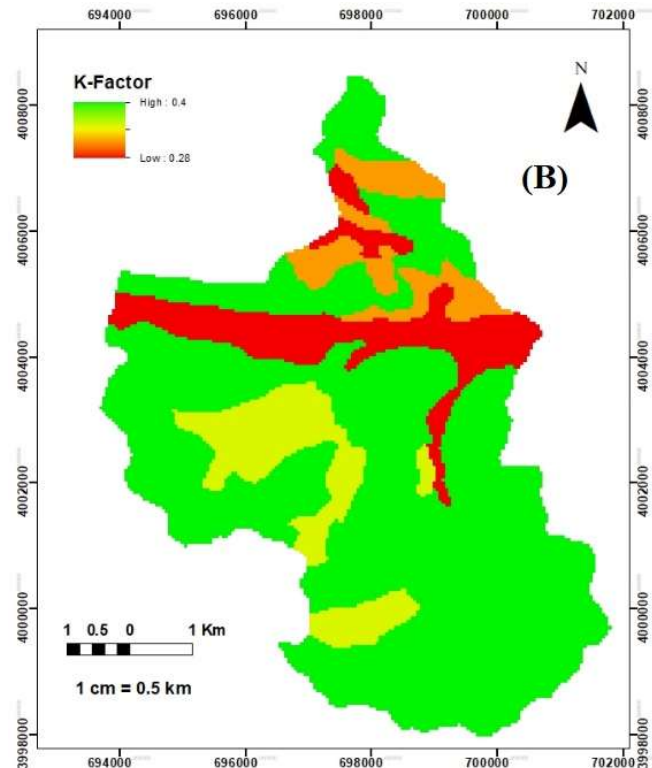
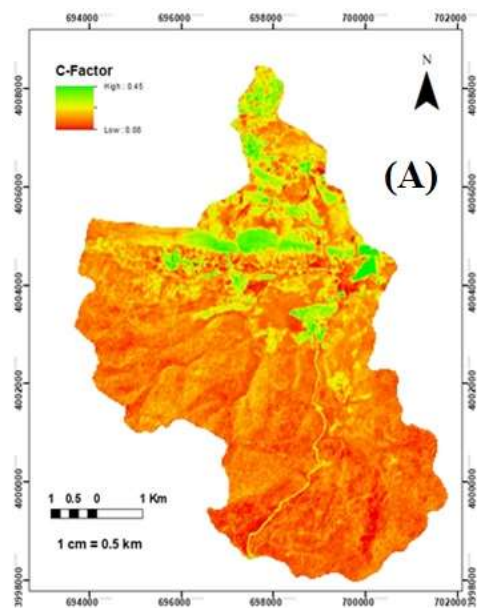
- برآورد فرسایش خاک منطقه مورد مطالعه

ابتدا مقادیر هر فاکتور ورودی (شکل ۲) و سپس میزان فرسایش خاک فعلی در کاربری های انتخاب شده (شکل ۳) با استفاده از مدل RUSLE در کل حوضه محاسبه و به هشت طبقه [۱۶]، تقسیم شد. همان طوری که گفته شد با توجه به غیرمنطقی بودن تغییر کاربری جنگل موجود در حوضه، از فرایند شبیه سازی حذف و اجرای سناریوها با استفاده از سایر کاربری ها انجام شد.

جدول ۳- تعیین ضرایب فاکتور عملیات حفاظتی [۲۵]

Table 3. Determining the coefficients of the protection operation factor [40]

فاکتور P P factor			درصد شیب زمین land slope (%)	ردیف Row
تراس بندی Terracing	کشت نواری Strip Cropping	کشت روی خطوط تراز Contour farming		
0.1	0.27	0.55	0-7	1
0.12	0.3	0.6	7-11.3	2
0.16	0.4	0.8	11.3-17.6	3
0.18	0.45	0.9	17.6-26.8	4
0.2	0.5	1	>26.8	5

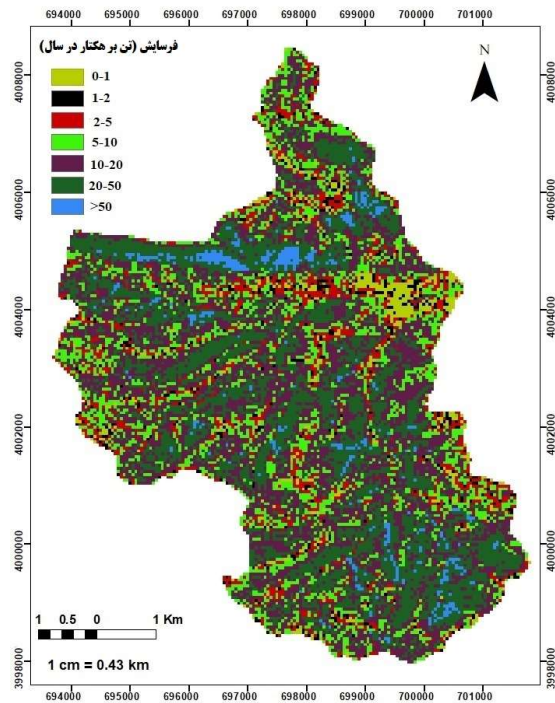


شکل ۲- فاکتورهای ورودی به مدل RUSLE در پژوهش حاضر (A: فاکتور C، B: فاکتور K، C: فاکتور R و D: فاکتور LS)

Fig 2. The input factors to the RUSLE model in the present study (A: C factor, B: K factor, C: R factor and D: LS factor)

بیولوژیک متناسب با آن طبق جدول ۴ و پیش‌بینی میزان فرسایش خاک با استفاده از این سناریوها (جدول ۵) انجام شد. شکل ۵ شبیه‌سازی حاصل از اجرای سناریوهای مختلف بیولوژیکی را نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج، میزان کل فرسایش خاک در حوضه ۱۷ تن بر هکتار در سال و با حذف کاربری جنگل برای شبیه‌سازی سناریوها در سایر نقاط، ۲۵/۴ تن بر هکتار در سال است. سپس بر اساس مساحت و کاربری فعلی (شکل ۴)، سناریوهای شبیه‌سازی عملیات



شکل ۳- نقشه میزان فرسایش کل حوزه آبخیز مرگاو

Fig 3. Map of the erosion rate of the entire Margav watershed

جدول ۴- معرفی سناریوهای بیولوژیکی حوضه مرگاو

Table 4. Introduction of biological scenarios of Margav Basin

سناریو (فاکتور P) Scenario (P factor)			سناریو (فاکتور C) Scenario (C factor)			مساحت (هکتار) Area (h)	کاربری فعلی Land use	درصد شیب Land slop (%)	ردیف Row
3	2	1	3	2	1				
-	-	-	سد Dam			0.42	سد Dam		1
			باغ Garden			1.73	باغ Garden		2
کشت نوری Strip Cropping			احیای جنگل Forest restoration			0.1	جنگل تخریب یافته Destroyed forest	0-7	3
			گیاهان دارویی فورب Forbes Medicinal Plants	مرتعداری Range management	مرتعداری Range management	39.6	کشاورزی دیم Dryland farming		4
-	-	-	مسکونی Residential			7.4	مسکونی Residential		5
-	-	-	سد Dam			0.01	سد Dam		6
			باغ Garden			1.7	باغ Garden		7
کشت نوری Strip Cropping			احیای جنگل Forest restoration			0.54	جنگل تخریب یافته Destroyed forest	7-11.3	8
			گیاهان دارویی فورب Forbes Medicinal Plants	مرتعداری Range management	مرتعداری Range management	49.2	کشاورزی دیم Dryland farming		9
-	-	-	مسکونی Residential			17.3	مسکونی Residential		10

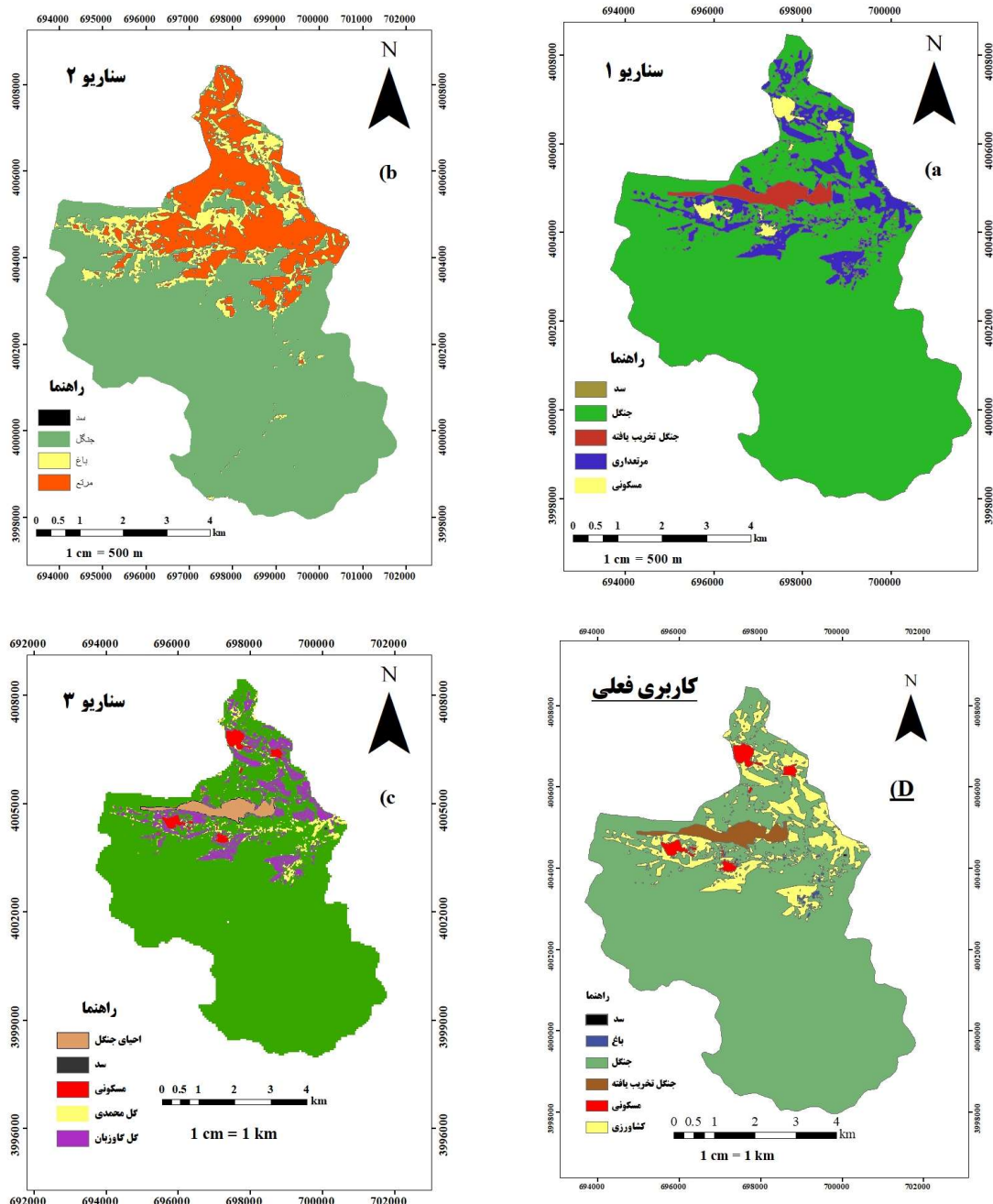
Table 4. Continued Introduction of biological scenarios of Margav Basin

	Garden	باغ		1.8	باغ Garden		11
کشت نواری Strip Cropping	Forest restoration	احیای جنگل		2.8	جنگل تخریب یافته Destroyed forest	11.3-17.6	12
	گیاهان دارویی بوته ای Shrub medicinal plants	مرتعداری Range management	مرتعداری Range management	94	کشاورزی دیم Dryland farming		13
-		مسکونی Residential		26	مسکونی Residential		14
	Garden	باغ		2.1	باغ Garden		15
کشت نواری Strip Cropping	Forest restoration	احیای جنگل		94.8	جنگل تخریب یافته Destroyed forest	17.6-26.8	16
	گیاهان دارویی بوته ای Shrub medicinal plants	باغ Garden	مرتعداری Range management	245.7	کشاورزی دیم Dryland farming		17
-		مسکونی Residential		6.1	مسکونی Residential		18
کشت نواری Strip Cropping	گیاهان دارویی بوته ای Shrub medicinal plants	باغ Garden	مرتعداری Range management	0.01	کشاورزی دیم Dryland farming	>26.8	19

جدول ۵- پیش بینی میزان فرسایش خاک حاصل از اجرای سناریوها

Table 5. Predicting the amount of soil erosion resulting from the implementation of scenarios

ردیف Row	فرسایش (تن بر هکتار در سال) Erosion (ton/h/y)	کاربری فعلی Land use	سناریو scenario	3	2	1
1	دامنه تغییرات variation range	0.2-122.4	0.05-88	0.01-43.7	0.01-70.6	
2	میانگین Average	25.4	18.9	5.4	8.9	

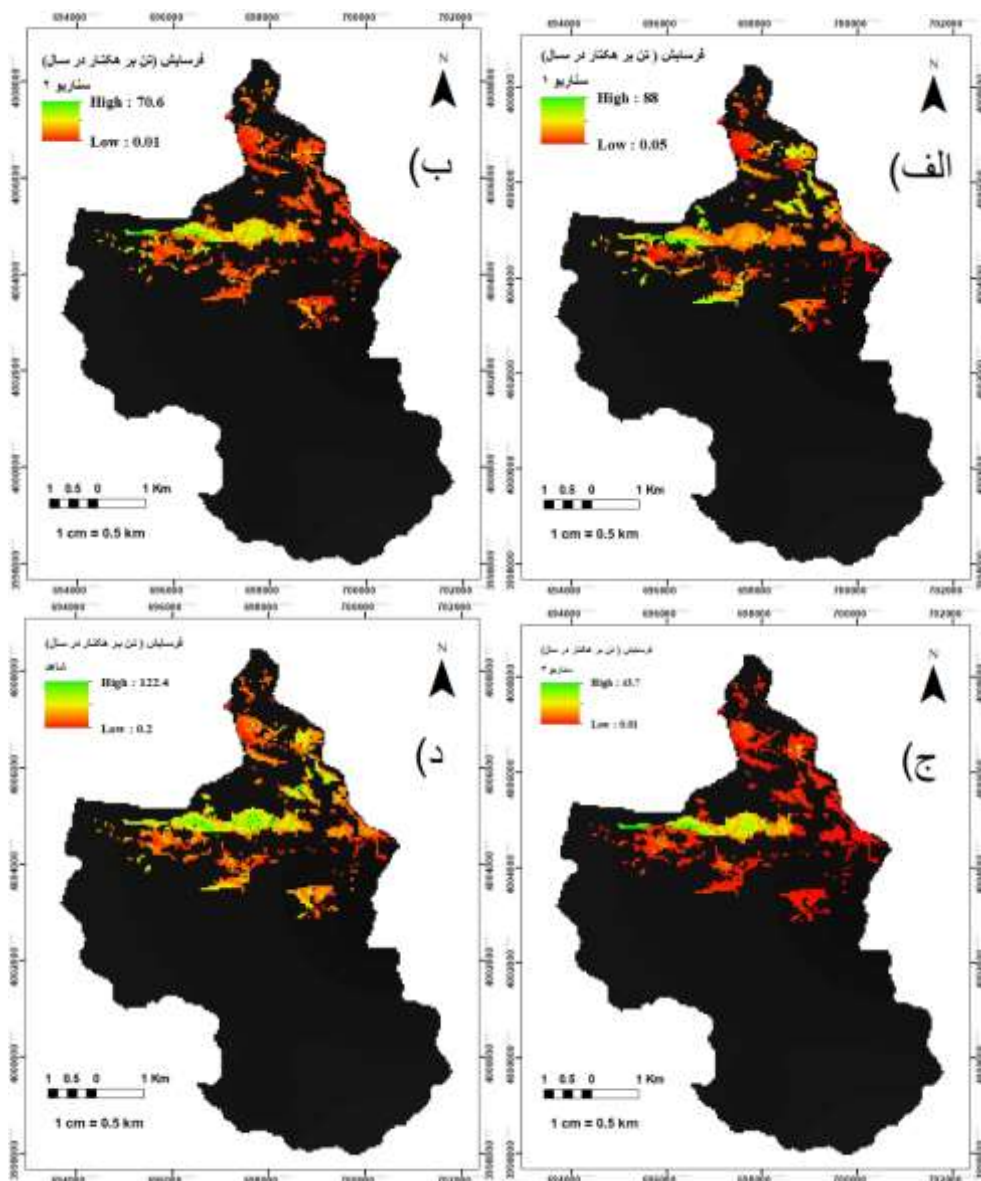


شکل ۴- نقشه فعلی کاربری اراضی و سناریوهای پیشنهادی حوزه آبخیز مرگاو (الف: سناریو ۱، ب: سناریو ۲، ج: سناریو ۳، د: کاربری فعلی)

Fig 4. Current land use map and proposed scenarios of Margav watershed (A: Scenario 1, B: Scenario 2, C: Scenario 3, D: Current use)

اراضی کشاورزی شوند و باعث ایجاد فرسایش خاک بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ به میزان ۸۸/۸ و ۸۶/۹ تن بر هکتار در سال شد و همچنین باعث ایجاد فرسایش شدید در ۴۲/۸ و ۵۴/۴ درصد اراضی شد. در سناریوی دوم تبدیل اراضی کشاورزی به مراتع و باغات در شیب‌های کم و زیاد مد نظر قرار گرفت که میانگین فرسایش کل حوضه ۸/۹ تن برهکتار در سال برآورد شد. جلیلی و همکاران [۲۱]، به منظور تعیین مناسب‌ترین ترکیب کاربری اراضی شامل باغ، کشت آبی، کشت دیم و مرتع جهت کمینه‌سازی فرسایش خاک و

در سناریوی اول چیزی که از همه بیش‌تر مد نظر بود تبدیل اراضی کشاورزی به مراتع به منظور استفاده چند منظوره از آن بود تا بتوان سبب توسعه دامپروری و زنبورداری در حوضه شد و با در نظر گرفتن عملیات کشت نوری، میانگین فرسایش کل حوضه ۱۸/۹ تن بر هکتار در سال برآورد شد. مویسا و همکاران [۳۳] با بررسی اثرات تغییر کاربری و پوشش گیاهی بر فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE به این نتیجه رسیدند، بیش‌ترین میزان هدررفت خاک مربوط به وقتی است که اراضی مرتعی و جنگلی تبدیل به



* مناطق تیره، اراضی جنگلی و مسکونی هستند که عملیات شبیه‌سازی سناریو روی آنها انجام نشد.

* The dark areas are forested and residential areas that were not simulated.

شکل ۵- شبیه‌سازی حاصل از اجرای سناریوهای مختلف بیولوژیکی (الف: سناریو ۱، ب: سناریو ۲، ج: سناریو ۳ و د: نقشه فعلی فرسایش)
 Fig 5. Simulation resulting from the implementation of different biological scenarios (a: scenario 1, b: scenario 2, c: scenario 3 and d: current map of erosion)

خاک حوضه، می‌توان طرح‌های بیولوژیکی و حتی مکانیکی را با توجه به اهداف چند منظوره پیشنهاد و به اجرا رساند تا باعث توسعه پایدار در حوضه شد که شبیه‌سازی اجرای سناریوها این مهم را به انجام رسانید (شکل ۵).

بحث و نتیجه‌گیری

برهم‌کنش‌های مختلف بین عناصر محیط بیوفیزیکی (اقلیم، زمین، پوشش گیاهی و خاک) بر فرسایش خاک یک منطقه خاص، تأثیر می‌گذارد [۱۴]. در این پژوهش اثرات اجرای سناریوهای مختلف بیولوژیکی با استفاده از مدل RUSLE شبیه‌سازی شد و میزان

بهینه‌سازی سود، میزان کاهش فرسایش خاک و افزایش سود سالانه را به ترتیب ۷/۷ درصد و ۱۱۸/۶ درصد ارائه نمود. بهینه‌سازی انجام شده بر کاهش اراضی دیم و افزایش اراضی باغ در منطقه تأکید داشت.

در سناریوی سوم تبدیل اراضی کشاورزی به اراضی جهت کشت گیاهان دارویی فورب و بوته‌ای در شیب‌های کم و زیاد مد نظر قرار گرفت که میانگین فرسایش کل حوضه ۵/۴ تن بر هکتار در سال برآورد شد (منظور از کل حوضه در این بخش همان اراضی جدا شده از کاربری جنگل است). در واقع با توجه به نیازهای اقتصادی آبخیزنشینان و همچنین توجه به مسائل حفاظت آب و

فرسایش با استفاده از آن برآورد شد. با توجه به نقش فرساینده گی باران، مقدار آن از شمال حوضه به سمت غرب و جنوب غربی حوضه افزایش می‌یابد که با کاهش بارندگی و توزیع مکانی غیریکنواخت بارندگی در حوضه مرتبط است. شاخص فرسایش‌پذیری خاک (K) در کاربری جنگل تخریب شده و کشاورزی بیش‌تر از سایر کاربری‌ها بوده است که با نتایج عجمی و همکاران [۱]، مبنی بر افزایش فرسایش و رسوب بر اثر تخریب جنگل‌ها و تغییر کاربری همخوانی دارد. همانطور که مشاهده شد، مناطقی که دارای شیب بیشتری بودند بیشتر تحت فرسایش قرار گرفتند که نقش فاکتور LS در این امر مشهود است. به عبارت دیگر، اراضی کشاورزی که در بخش متوسط به بالا برای فاکتور LS قرار گرفتند، باعث حساسیت این بخش به افزایش فرسایش خاک می‌شود که با نتایج مطالعات جهان تیغ و همکاران [۲۰]، مطابقت دارد. با توجه به نقشه فاکتور پوشش گیاهی بر میزان فرسایش، بیش‌ترین مناطق حساس به فرسایش اراضی تخریب شده جنگلی و سپس کشاورزی هستند که با در نظر گرفتن افزایش و یا کاهش شیب مقادیر فرسایش زیاد و کم می‌شود. بنابراین، مهم‌ترین عاملی که می‌تواند از اثر منفی شیب بر فرسایش در حوضه بکاهد، پوشش گیاهی است. مقادیر مختلف پوشش گیاهی تأثیر معنی‌داری بر مؤلفه‌های رواناب و رسوب در منطقه مورد بررسی داشتند. آستانه شروع رواناب در پوشش گیاهی حداکثر، به‌طور معنی‌داری بیشتر از پوشش‌های گیاهی حداقل و متوسط است. به طوری‌که در پوشش‌های گیاهی زیاد با به تأخیر انداختن شکل‌گیری رواناب، نفوذپذیری افزایش و فرسایش خاک کاهش می‌یابد. هم‌چنین میانگین حجم رواناب در پوشش‌های مختلف گیاهی اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند که با نتایج اسمعیلی و همکاران [۱۳] مطابقت دارد. براساس نتایج، متوسط فرسایش سالانه خاک حوزه آبخیز مرگاو در سال ۱۴۰۰، بین ۰/۲ تا ۱۲۲/۴ تن بر هکتار در سال و میانگین آن ۲۵/۴ تن بر هکتار در سال است. هم‌چنین کمترین و بیشترین فرسایش به ترتیب در کاربری باغ، اراضی کشاورزی و جنگل تخریب شده به میزان ۹/۵، ۱۸/۳ و ۴۴/۷ تن بر هکتار در سال بوده است. پیامدهای منفی فرسایش کل حوزه آبخیز مرگاو می‌تواند کاهش تدریجی حاصلخیزی خاک سطحی و اراضی کشاورزی قابل کشت شود و معیشت مردم و امنیت غذایی را به خطر بیندازد. در واقع با توجه به نقش مؤثر پوشش گیاهی بر میزان فرسایش خاک [۱۵]، اجرا و توسعه اراضی باغی و یا کشت گیاهان دارویی مانند گل محمدی و گل گاوزبان طبق اصول کشت نوری در اراضی شیبدار در این حوضه پیشنهاد می‌شود. در واقع می‌توان در راستای هدف‌گذاری حفاظتی، هدف‌گذاری اقتصادی هم در انتخاب نوع پوشش گیاهی در نظر گرفت و گونه گیاهی انتخاب کرد که هم بتوان از فرسایش خاک جلوگیری کرد و هم از کشت آن درآمدزایی کرد. بنابراین با توجه به دستورالعمل احداث باغ و کشت گیاهان دارویی دیم در اراضی شیبدار در سال ۱۳۹۶ (رسانه‌های آموزشی مدیریت هماهنگی ترویج کشاورزی) و در نظر

گرفتن جنبه‌های اقتصادی، سه سناریو برای این حوضه پیشنهاد شد که بهترین سناریو، تبدیل اراضی کشاورزی به گیاهان دارویی دیم است که باعث کاهش فرسایش از ۲۵/۴ به ۵/۴ تن بر هکتار در سال می‌شود (سناریو ۳) چون کشت گیاهان دارویی نیاز به خاکورزی هر ساله ندارد و نسبت به محصولات زراعی مثل گندم، می‌توان طبق الگوی حفاظت خاک کشت کرد که باعث کاهش فرسایش خاک و هزینه‌های کشت می‌شود. در واقع یک نمونه از آینده‌نگری در این سناریو، کاهش فرسایش و حفظ سرمایه طبیعی، توسعه کشت گیاهان دارویی، ایجاد کارگاه‌های فراوری گیاهان دارویی در حوضه، مهاجرت معکوس آبخیزنشینان از شهر به روستا و افزایش درآمد ساکنین است. هر چند، مقوله مهاجرت معکوس فواید بسیار بیشتری دارد [۲۹].

اصلاح مراتع در حوضه و توسعه مرتعداری با هدف دامپروری و زنبورداری نیز براساس برنامه‌ریزی و مدیریت اقتصادی باعث کاهش فرسایش خاک و افزایش درآمد ساکنین در بخش دام می‌شود که با نتایج جعفریان و همکاران [۱۹] مبنی بر کاهش ۳۴ درصدی فرسایش بر اثر اصلاح مراتع مطابقت دارد.

بنابراین یک رویکرد درست با اهدافی چند منظوره در بخش پیشنهاد و اجرای عملیات آبخیزداری، می‌تواند نتایج بسیار مطلوبی بر مسائل اجتماعی و اقتصادی کشور داشته باشد. بنابراین با توجه به نتایج پژوهش، پیشنهاد می‌شود توسعه کشت گیاهان دارویی طبق اصول کشت نوری، به منظور درآمدزایی ساکنین و کاهش فرسایش خاک در حوزه آبخیز مرگاو انجام شود. هم‌چنین می‌توان با توجه به نیاز استان مازندران به فراورده‌های دامی به توسعه مرتعداری و دامداری با رعایت شیوه‌های حفاظتی و مرتعداری، در حوزه آبخیز مرگاو اقدام نمود.

سپاسگزاری

بدینوسیله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری بابت حمایت‌های مالی و لجستیکی که در طول پروژه تحقیقاتی کمک قابل توجهی کردند، صمیمانه تشکر می‌کنیم.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله هیچ گونه تضاد منافی را در مورد تألیف یا انتشار این مقاله اعلام نکرده‌اند.

دسترسی به داده‌ها

مجموعه داده‌ها بنا به درخواست منطقی برای نویسندگان مربوطه در دسترس هستند.

مشارکت نویسندگان

رضا احمدی لمراسکی: مفهوم‌سازی اولیه - نگارش نسخه اولیه مقاله

عطالله کاویان: مشاوره، نظارت، بازبینی متن، روش‌شناسی لایلا غلامی: راهنمایی، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماري، کنترل نتایج، تحلیل آماری
حمید امیرنژاد: تحلیل آماری

Conference on Innovative Research in Agriculture, Food Science, Forestry, Horticulture, Aquaculture, Animal Sciences, Biodiversity, Environmental Engineering and Climate Change,

10. Borón, V., Payán, E., MacMillan, D., & Tzanopoulos, J. (2016). Achieving sustainable development in rural areas in Colombia: Future scenarios for biodiversity conservation under land use change. *Land Use Policy*, 59, 27-37.

11. Bouguerra, H., Bouanani, A., Khanchoul, K., Derdous, O., & Tachi, S. E. (2017). Mapping erosion prone areas in the Bouhamdane watershed (Algeria) using the Revised Universal Soil Loss Equation through GIS. *Journal of Water and Land Development*, 32(1), 13.

12. Chen, Z., Wang, L., Wei, A., Gao, J., Lu, Y., & Zhou, J. (2019). Land-use change from arable lands to orchards reduced soil erosion and increased nutrient loss in a small catchment. *Science of the Total Environment*, 648, 1097-1104.

13. Esmali, A., Kaviani, A., Jafarian, Z., & Kavianpoor, A. H. (2015). Effect of vegetation covers on decreasing runoff and soil loss using rainfall simulation in Nesho rangeland, Mazandaran province. *Geography and Environmental Planning*, 26(2), 179-190. <https://doi.org/https://dorl.net/dor/20.1001.1.20085362.1394.26.2.12.3>. (in Persian)

14. Ganasri, B., & Ramesh, H. (2016). Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS-A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*, 7(6), 953-961.

15. Ghosal, K., & Das Bhattacharya, S. (2020). A review of RUSLE model. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 48, 689-707.

16. Gürtekin, E., & Gökçe, O. (2021). Estimation of erosion risk of Harebakayış sub-watershed, Elazığ, Turkey, using GIS based RUSLE model. *Environmental Challenges*, 5, 100315.

17. Habashi, K., MOHAMMADI, S., KARIMZADEH, H. R., & Poormanafi, S. (2018). Assessment soil erosion risk in Kohpayeh-segzi plain using Revised Universal Soil Loss Equation (RSLE). 161-178 (in Persian)

18. Islam, M. R., Jaafar, W. Z. W., Hin, L. S., Osman, N., & Karim, M. R. (2020). Development of an erosion model for Langat River Basin, Malaysia, adapting GIS and RS in RUSLE. *Applied Water Science*, 10(7), 1-11.

19. Jafarian, Z., Beshtar, V., & Kaviani, A. (2017). Simulation effects of improvement and restoration operations of rangeland on soil loss using RUSLE model. *Physical Geography research quarterly*, 49(1), 55-69. (https://jphgr.ut.ac.ir/article_61579_bf9a56aa8705d97b9bb1fea917e92250.pdf). (in Persian)

1. Ajami, M., Khormali, F., & Ayoubi, S. (2012). Role of deforestation and land use change on soil erodibility of loess in eastern Golestan province. *Watershed Management Research*. (in Persian)

2. Alitane, A., Essahlaoui, A., El Hafyani, M., El Hmaidi, A., El Ouali, A., Kassou, A., El Yousfi, Y., van Griensven, A., Chawanda, C. J., & Van Rompaey, A. (2022). Water erosion monitoring and prediction in response to the effects of climate change using RUSLE and SWAT equations: case of R'Dom watershed in Morocco. *Land*, 11(1), 93.

3. Aouichaty, N., Bouslihim, Y., Hilali, S., Zouhri, A., & Koulali, Y. (2022). Estimation of water erosion in abandoned quarries sites using the combination of RUSLE model and geostatistical method. *Scientific African*, 16, e01153.

4. Armin, M., & Eskandari Jahmani, F. (2020). Prioritization of erosion-sensitive areas using satellite imagery (Case study: part of Bahmei county in Kohgiluyeh and Boyerahmad province). *Environmental Erosion Research Journal*, 10(2), 41-58. <http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-545-fa.html>. (in Persian)

5. Armeth, A., Barbosa, H., Benton, T., Calvin, K., Calvo, E., Connors, S., Cowie, A., Davin, E., Denton, F., & van Diemen, R. (2019). IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Summary for Policy Makers. Geneva, Switzerland Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

6. Bakker, M. M., Govers, G., van Doorn, A., Quetier, F., Chouvardas, D., & 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(3-4), 213-226.

7. Bayramin, İ., Basaran, M., Erpul, G., & Canga, M. R. (2008). Assessing the effects of land use changes on soil sensitivity to erosion in a highland ecosystem of semi-arid Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 140, 249-265.

8. Benchettouh, A., Kouri, L., & Jebari, S. (2017). Spatial estimation of soil erosion risk using RUSLE/GIS techniques and practices conservation suggested for reducing soil erosion in Wadi Mina watershed (northwest, Algeria). *Arabian Journal of Geosciences*, 10, 1-14.

9. Bhamare, S., Kazi, N., & Agone, V. (2015). Soil Erosion on Toranmal Plateau: An Application of RUSLE. *National*

- Omidvar, E. (2016). The Application of RUSLE Model in Spatial Distribution Determination of Soil loss Hazard. Iranian journal of Ecohydrology, 3(4), 645-658. (in Persian)
31. Mohammadi, S., Balouei, F., Haji, K., Khaledi Darvishan, A., & Karydas, C. G. (2021). Country-scale spatio-temporal monitoring of soil erosion in Iran using the G2 model. International Journal of Digital Earth, 14(8), 1019-1039. (in Persian)
 32. Mohammed, S., Alsafadi, K., Talukdar, S., Kiwan, S., Hennawi, S., Alshihabi, O., Sharaf, M., & Harsanyie, E. (2020). Estimation of soil erosion risk in southern part of Syria by using RUSLE integrating geo informatics approach. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 20, 100375.
 33. Moisa, M. B., Negash, D. A., Merga, B. B., & Gemedo, D. O. (2021). Impact of land-use and land-cover change on soil erosion using the RUSLE model and the geographic information system: a case of Temeji watershed, Western Ethiopia. Journal of Water and Climate Change, 12(7), 3404-3420.
 34. Nezhadafzali, K., Shahrokhi, M. R., & Bayatani, F. (2019). Assessment soil erosion using RUSLE model and identification the most effective factor in Dekhan watershed basin of southern Kerman. Journal of Natural Environmental Hazards, 8(20), 21-38. (in Persian)
 35. Nut, N., Mihara, M., Jeong, J., Ngo, B., Sigua, G., Prasad, P. V., & Reyes, M. R. (2021). Land use and land cover changes and its impact on soil erosion in Stung Sangkae catchment of Cambodia. Sustainability, 13(16), 9276.
 36. Panagos, P., Borrelli, P., & Meusburger, K. (2015). A new European slope length and steepness factor (LS-Factor) for modeling soil erosion by water. Geosciences, 5(2), 117-126.
 37. Saatsaz, M. (2020). A historical investigation on water resources management in Iran. Environment, Development and Sustainability, 22, 1749-1785. (in Persian)
 38. Saffari, A., Nouri, A. A., & Karami, J. (2018). Investigation about the influence of land-cover and land use changes on soil erodibility potential, case study: Gharesoo, Gorganrood. 83-96. (in Persian)
 39. Santos, J. C. N. d., Andrade, E. M. d., Medeiros, P. H. A., Guerreiro, M. J. S., & Palácio, H. A. d. Q. (2017). Land use impact on soil erosion at different scales in the Brazilian semi-arid I. Revista Ciência Agronômica, 48, 251-260.
 40. Singh, R., Huerta-Espino, J., Sharma, R., Joshi, A., & Trethowan, R. (2007). High yielding spring bread wheat germplasm for global irrigated and rainfed production systems. Euphytica, 157, 20. Jahantigh, M., & Jahantigh, M. (2020). Investigating of land use change effect on some soil physical-chemistry characteristics and Erosion in arid areas (case study: Hirmand of sistan). Environmental Erosion Research Journal, 9(4), 92-118. <http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-551-fa.html>. (in Persian)
 21. Jalili, K., Sadeghi, S., & Nikkami, D. (2007). Land use optimization of watershed for soil erosion minimization using linear programming (a case study of Brimvand watershed, Kermanshah province). JWSS-Isfahan University of Technology, 10(4), 15-27. <http://jcipp.iut.ac.ir/article-1-603-fa.html>. (in Persian)
 22. Kebede, Y. S., Endalamaw, N. T., Sinshaw, B. G., & Atinkut, H. B. (2021). Modeling soil erosion using RUSLE and GIS at watershed level in the upper beles, Ethiopia. Environmental Challenges, 2, 100009.
 23. Ketema, A., & Dwarakish, G. (2021). Water erosion assessment methods: a review. ISH Journal of Hydraulic Engineering, 27(4), 434-441.
 24. Khorsand, M., Khaledi Darvishan, A., & Gholamalifard, M. (2016). Comparison between estimated annual soil loss using RUSLE model with data from the erosion pins and plots in Khamsan representative watershed. Iranian journal of Ecohydrology, 3(4), 669-680. (in Persian)
 25. Kim, H. S. (2006). Soil erosion modeling using RUSLE and GIS on the Imha watershed, South Korea Colorado State University Fort Collins, CO, USA. [
 26. King, K., Richardson, C., & Williams, J. (1996). Simulation of sediment and nitrate loss on a vertisol with conservation tillage practices. Transactions of the ASAE, 39(6), 2139-2145.
 27. Kusena, W., Chemura, A., Dube, T., Nicolau, M. D., & Marambanyika, T. (2022). Land use and land cover change assessment in the Upper Runde sub-catchment, Zimbabwe and possible impacts on reservoir sedimentation. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 126, 103105.
 28. Martin, M. A. (2001). The future of the world food system. Outlook on agriculture, 30(1), 11-19.
 29. Mohajerani, A., & Rusta, Z. (2014). An evaluation of the economic, social, cultural, and political impact of reverse migration on villages of Tonekabon and Ramsar in Mazandaran Province (2015-2016). Journal of Urban Sociological Studies, 13(5), 167-194. (in Persian)
 30. Mohammadi, M., Fallah, M., Kaviani, A., Gholami, L., &

45. Yeganeh, H., Azarnivand, H., Saleh, I., Arzani, H., & Amirnejad, H. (2016). Estimating the economic value of soil conservation function (case study: Taham watershed, Zanjan province). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 2.(1) (in Persian)
46. Yu, X., Zhang, X., Li, J., Zhang, M., & Xie, Y. (2006). Effects of vegetation cover and precipitation on the process of sediment produced by erosion in a small watershed of loess region. *Acta Ecologica Sinica*, 26(1), 1-8.
47. Zhang, B., Yang, Y.-s., & Zepp, H. (2004). Effect of vegetation restoration on soil and water erosion and nutrient losses of a severely eroded clayey Plinthudult in southeastern China. *Catena*, 57(1), 77-90.
- 351-363.
41. Van Rompaey, A. J., Govers, G., Van Hecke, E., & Jacobs, K. (2001). The impacts of land use policy on the soil erosion risk: a case study in central Belgium. *Agriculture, ecosystems & environment*, 83(1-2), 83-94.
42. Wang, W.-j., Zhang, S.-w., & Fang, H.-y. (2012). Coupling mechanism of slope-gully erosion in typical black soil area of Northeast China. *J. Nat. Resour*, 27(12), 2113-2122.
43. Wei, J., Zhou, J., Tian, J., He, X., & Tang, K. (2006). Decoupling soil erosion and human activities on the Chinese Loess Plateau in the 20th century. *Catena*, 68(1), 10-15.
44. Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Department of Agriculture, Science and Education Administration.

Scenarios Simulation of Biological Operations of Soil Conservation on Changing Erosion Using the RUSLE Model (Margav Watershed - Farim Section of Mazandaran Province)

Reza. Ahmadi Lemaraski¹, Ataollah. Kavian^{*2}, Leila. Gholami³, Hamid. Amirnejad⁴

Received: 20-11-2022 Accepted: 19-08-2023

Abstract

Introduction:

Soil loss is a phenomenon that it causes the land degradation and due to the low productivity of agriculture, it has a negative impact not only on natural resources, but also on people's livelihood. From an economic point of view, soil is one of the natural resources that is effective on the national power of a country and is evaluated as a major axis in economic power. The average annual soil erosion in Iran is about 24 t.ha⁻¹ year⁻¹. This figure is very significant and includes the economic value of more than hundreds of billions of Rials. Economic, social and political tensions, especially the tensions resulting from the migrations of villagers and nomads, are also largely related to this issue. On the other hand, the ever-increasing growth of the population in Iran, followed by the consumption of more food, has forced the farmers to use sloping lands that are sensitive to erosion, and this is one of the main reasons for the destruction of natural resources. Therefore, before any action, it is important to predict the intensity of soil erosion, to plan in determining land use, to examine the risks of erosion and to evaluate the effects of changes in land use. Changing land cover and land use affects many natural processes such as soil erosion and sediment production, floods, and physical and chemical properties of soil. The purpose of the present study is the investigating the different scenarios of biological operations on the amount of soil loss in Margav watershed of Mazandaran province.

Materials and Methods:

The watershed area of Mergav is in the range of east longitude 53° 9' 6" to 53° 14' 41" and north latitude 36° 6' 25" to 36° 12' 34", with an area of 4401.7 hectares, upstream of Shahid Rajaei Sari Dam and in the functions of the city of Frame, Dodangeh The average annual rainfall of the basin is equal to 1.580 mm, and December and autumn are the rainiest months and seasons, respectively. August and summer are the least rainy months and seasons. The average temperature is also calculated as 11.7°C. Also, the physiographic parameters the minimum and maximum height above the sea level are 779 and 1787 meters, respectively. The weighted average height is 1204.2 m, the weighted average slope is 35.79% and the concentration time is 2.7 hours. In the end, the climate of the area has been wet, cold and semi-humid according to Amberje and Dumartin methods. In order to implement the scenarios of changing the current land use of the basin to the use of pasture and medicinal plants, first,

1- Ph.D. Student, Faculty of Watershed Management Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

2- * Professor, Department of Watershed Management Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

3- Associate Professor, (corresponding Author), Department of Watershed Management Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

4- Professor, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

the current land use map of Mergao watershed, was drawn using field visits and Google Earth software in the GIS environment. Then, using the RUSLE model, the erosion of the entire basin was calculated. Since it was not logical to change the use of forest, residential and dam lands to other uses in the basin, a scenario with an area of 561.54 hectares was proposed to be removed from the simulation process and applied to other uses.

Results and Discussion:

The obtained results from present study showed that the average soil loss in agricultural lands, gardens and degraded forest areas of Margav watershed using the RUSLE model was the rate of $25.4 \text{ t. ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$. Also, the simulation results of the scenarios of biological operations and soil conservation using the RUSLE model showed that scenarios Pasture (first scenario), pasture and horticulture (second scenario) and cultivation of medicinal plants (third scenario), decreased the soil erosion with rates of 18.9, 8.9, $5.4 \text{ t. ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$, respectively. According to the role of rain erosion, its amount increases from the north of the basin to the west and southwest of the basin, which is related to the decrease in rainfall and uneven spatial distribution of rainfall in the basin. The index of soil erodibility (K) in the use of destroyed forest and agriculture was more than other uses. Areas with higher slopes were more eroded, which shows the role of LS factor in this matter. In other words, the agricultural lands that were placed in the medium to high section for the LS factor make this section more sensitive to soil erosion. According to the map of the vegetation factor on the amount of erosion, the most sensitive areas to the erosion of degraded forest lands and then agriculture are those that increase or decrease the amount of erosion by considering the increase or decrease of the slope. Therefore, the most important factor that can reduce the negative effect of slope on erosion in the basin is vegetation.

Conclusion:

The negative consequences of the erosion of the entire watershed of Mergav can be a gradual decrease in the fertility of the surface soil and arable agricultural lands and endanger people's livelihood and food security. In fact, considering the effective role of vegetation on soil erosion, the implementation and development of garden lands or the cultivation of medicinal plants according to the principles of strip cultivation in sloping lands in this basin is suggested. In fact, in line with conservation targeting, economic targeting can be considered in choosing the type of vegetation and choosing a plant species that can both prevent soil erosion and generate income from its cultivation. Therefore, according to the instructions for building a garden and cultivating rainfed medicinal plants in sloping lands in 2016 and considering the economic aspects, three scenarios were proposed for this basin, the best scenario is the conversion of agricultural lands to rainfed medicinal plants, which reduces erosion from 4 25.4 to 5.4 tons per hectare per year (scenario 3) because the cultivation of medicinal plants does not require tillage every year and compared to crops such as wheat, it can be cultivated according to the soil conservation model, which reduces soil erosion and cultivation costs. Therefore, the considering the social and economic issues based on sustainable development in the implementation of watershed operations can be an important factor in the better management of country watersheds.

Keywords: *Biological operation, Soil protection, RUSLE model, Economic-social issues, Margav watershed*

Acknowledgement

We would like to express our sincere gratitude to the University of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources 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

Reza Ahmadi Lemraski: Writing - Original draft preparation

Ataollah Kavian: Visualization, Supervision, Conceptualization, Methodology

Leila Gholami: Resources, Software, Manuscript editing, Formal analysis and investigation

Hamid Amirnrjad: Formal analysis and investigation