

شبیه‌سازی اثر عملیات اصلاح و احیای مراتع بر هدررفت خاک با استفاده از مدل RUSLE

زینب جعفریان* - دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
وحید بستر - کارشناس ارشد مرتع‌داری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
عطاءاله کاویان - دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۲/۲۱ تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۰۸/۰۶

چکیده

فرسایش و هدررفت خاک امروزه به یکی از معضلات مهم زیست‌محیطی بشر تبدیل شده است. بنابراین، اجرای عملیات اصلاح و احیا برای کاهش آن ضروری است. هدف از این تحقیق برآورد میزان فرسایش خاک و سپس شبیه‌سازی اثر عملیات اصلاح و احیای مراتع بر میزان هدررفت خاک در منطقه لار استان مازندران است. نخست به مکان‌یابی طرح‌های اصلاح و احیای مناسب برای منطقه اقدام شد. سپس، با استفاده از معادله تجدیدنظرشده جهانی هدررفت خاک نقشه خطر فرسایش منطقه تهیه شد. سرانجام، با استفاده از این مدل، تغییرات فرسایش بعد از اجرای عملیات اصلاح و احیای فوق پیش‌بینی شد. میانگین بار رسوب سالیانه در منطقه مورد مطالعه ۵۲ تن در هکتار در سال محاسبه شد. همچنین، مساحت اراضی‌ای که بایست در آن‌ها عملیات اصلاح و احیا انجام شود به ترتیب شامل ۳۷۸ هکتار بذرکاری، ۲۴۶ هکتار میان‌کاری، و ۱۷۶ هکتار کپه‌کاری است. نتایج شبیه‌سازی پس از عملیات یادشده نشان داد که فاکتورهای P و C به ترتیب به ۰/۸ و ۰/۳۱ خواهد رسید. بنابراین، میزان متوسط فرسایش بعد از عملیات اصلاح و احیا نیز به ۳۴ تن در هکتار در سال کاهش خواهد یافت که معادل کاهش ۳۴ درصدی میزان فرسایش است.

کلیدواژه‌ها: احیای مرتع، درصد پوشش گیاهی، فرسایش خاک، مدل RUSLE.

مقدمه

بر اساس نقشه‌های تهیه‌شده از تصاویر ماهواره‌ای در سال ۱۳۸۵، که دفتر مهندسی سازمان جنگل‌ها، مراتع، و آبخیزداری کشور آن را تهیه کرده است، مساحت مراتع کشور حدود ۸۵ میلیون هکتار برآورد شد. مراتع دارای طرح مرتع‌داری - نسبت به سایر مراتع - وضعیت، گرایش، و تولید علوفه بهتری دارند. بخش‌های وسیعی از مراتع ایران نیازمند مناسب‌ترین و سریع‌ترین روش تهیه و تلفیق اطلاعات برای برنامه‌ریزی و طراحی برنامه‌های فعلی و آتی است و ارزیابی قابلیت و مدیریت مراتع کشور به روشی توانا، پویا، و کم‌هزینه نیاز دارد (آذرنبوند و همکاران، ۱۳۸۶).

مراتع کشور در بسیاری از نقاط، بر اثر بهره‌برداری‌های بی‌رویه و غیراصولی، تخریب شده و گونه‌های خوش‌خوراک

* E-mail: jafarian79@yahoo.com

مرتعی به مرور زمان نابود شده و جای خود را به گونه‌های پست و بی‌ارزش و گاه سمی داده‌اند. در بسیاری از نقاط همین گونه‌ها هم از بین رفته‌اند و خاک در معرض فرسایش آبی و بادی قرار گرفته است. برای اصلاح و احیای این مراتع باید از روش‌های مختلفی چون نهال‌کاری، بذرکاری توأم با عملیاتی نظیر فارو و پی‌تینگ استفاده کرد تا این مناطق به وضعیت پیشین خود بازگردند. از طرف دیگر، فرسایش و پیامدهای ناشی از آن با تشدید بهره‌برداری انسان از طبیعت از اوایل قرن بیستم اثرهای منفی خود را بر اکوسیستم حیاتی وارد ساخته است (لای و همکاران، ۱۹۹۸). فرسایش خاک بر محیط و اقتصاد (ضرررسانی به اقتصاد کشور)، محصولات کشاورزی، و ظرفیت مخازن سدها بسیار تأثیر می‌گذارد؛ این مسئله مستقیم و غیرمستقیم در کیفیت و آلودگی آب اثر می‌گذارد (پارک و همکاران، ۲۰۱۱). فرسایش خاک در سال‌های اخیر با افزایش جمعیت و دگرگونی فعالیت‌های انسان شدت یافته؛ به گونه‌ای که هر ساله نزدیک به ۷۵ میلیارد تن خاک کشاورزی و میلیارد تن خاک از دیگر اراضی فرسایش می‌یابد (لافن، ۱۹۹۸). نخستین گام در جلوگیری از فرسایش خاک و حفظ و احیای اراضی و توسعه منابع طبیعی تجدیدشونده شناسایی نقاط فرسایش‌پذیر و اولویت‌بندی آن‌ها برای اجرای برنامه‌ها و عملیات حفاظت خاک است. برای اقدامات اصلاحی و جلوگیری از تخریب بسیاری از حوزه‌های آبخیز، اطلاعات زمانی و توزیع مکانی گسترش نواحی فرسایشی اهمیت بسزایی دارد. این اطلاعات در میزان هزینه‌های طرح‌های حفاظتی خاک مؤثر است. در یک برنامه آبخیزداری نمی‌توان همه نواحی تخریب‌یافته را یک‌باره اصلاح کرد؛ این کار به سبب تغییرات مکانی در فرسایش خاک و محدودیت‌های مالی مقدور نیست. بنابراین، لازم است در برنامه‌های اصلاح روی نواحی اولویت‌دار حوضه، که نیازمند اقدامات فوری است، تمرکز شود (تری پاتی و همکاران، ۲۰۰۳).

از جمله راهکارهای بیولوژیکی مبارزه با روند فرسایش ناشی از شرایط روزافزون جمعیت بهره‌بردار، اجرای عملیات اصلاحی در عرصه‌های موجود دارای طرح‌های مرتع‌داری اجرایی است. جلوگیری از تخریب بیشتر این اکوسیستم‌های بارز و تلاش برای احیای مراتع تخریب‌یافته بخش مهمی از فعالیت‌های مدیران مرتع است. این کار با اجرای عملیات احیای پوشش گیاهی به صورت تلفیقی از روش‌های بیولوژیکی و مکانیکی انجام می‌شود. در پروژه‌های اصلاح و احیا هدف بهبود ترکیب و مقدار پوشش گیاهی مرغوب در منطقه برای حفظ آب، خاک، و کاهش فرسایش خاک و در نهایت افزایش تولید علوفه و بهبود وضعیت اقتصادی و اجتماعی بهره‌برداران است (انصاری، ۱۳۸۶؛ آذرنبوند و همکاران، ۱۳۸۶؛ دهقان، ۱۳۸۹). چنین عملیاتی در اکوسیستم‌های مرتعی می‌تواند اثرهایی بر اجزای مختلف اکوسیستم بگذارد. ارزیابی چنین اثرهایی در اجزای اکوسیستم در حال احیا می‌تواند میزان موفقیت یا اثرهای مثبت عملیات احیایی و در مقابل اشکالات عملیات انجام‌شده و کارایی تیمارهای استفاده‌شده را نشان دهد (جنگجو، ۱۳۸۸). در زمینه احیای پوشش گیاهی و مطالعه مستقیم اثر آن در کاهش فرسایش مطالعاتی انجام یافته است؛ زانکا و همکاران (۲۰۰۴) در مطالعه اثر احیای پوشش گیاهی بر فرسایش خاک و تلفات آب و مواد مغذی در جنوب شرقی چین نشان دادند که احیای جنگل باعث کاهش رواناب سطحی و فرسایش خاک می‌شود. شدت فرسایش بر روی زمین‌های لخت به شدت افزایش یافته، رواناب سالانه از ۳۰۳ تا ۱۰۵۶ میلی‌متر بوده و از دست رفتن سالانه خاک از ۵۳ تا ۲۵۶ تن در هکتار متفاوت بوده است. پس از احیای جنگل‌ها، فرسایش خاک به طور چشم‌گیری کاهش یافت و به ۲-۴۳ تن در هکتار رسید. لی (۲۰۰۶) در پژوهشی اثر تغییرات پوشش گیاهی بر فرسایش خاک را در منطقه‌ای در کشور چین با مقایسه میزان فرسایش قبل از احیای

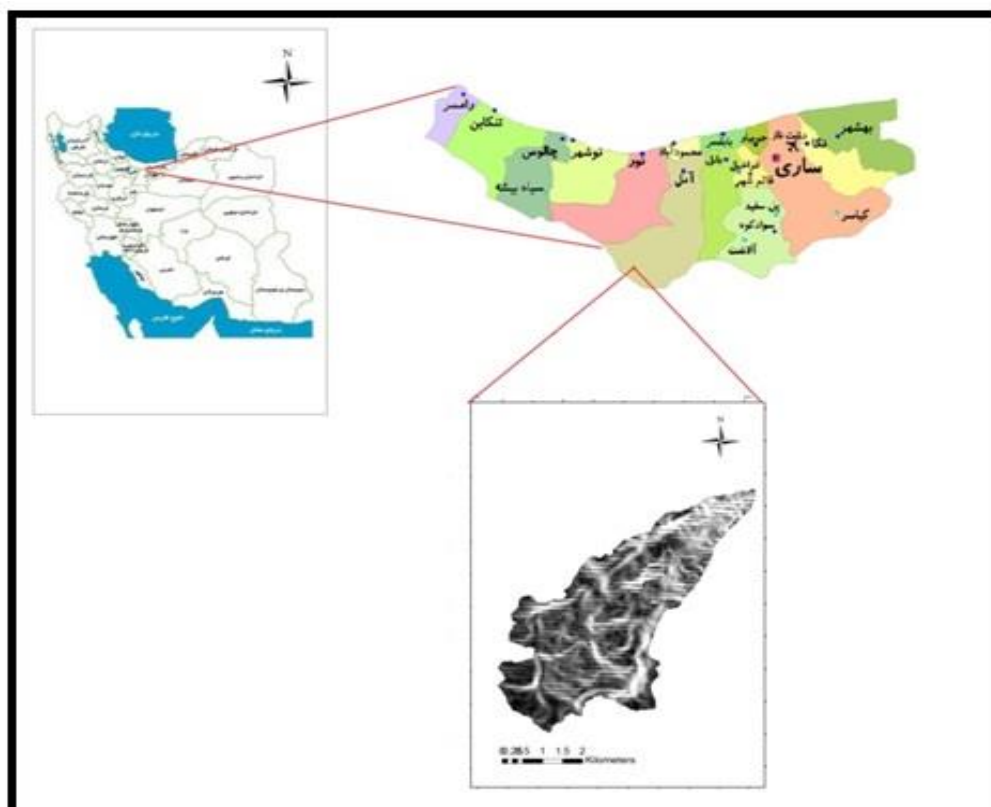
پوشش گیاهی و بعد از احیای آن بررسی کرد و نشان داد که پس از احیای پوشش گیاهی فرسایش خاک بسیار کم شده است. همچنین، برخی محققان (ژو و همکاران، ۲۰۰۸؛ عبدالکریم و همکاران، ۲۰۱۳) به اثر مستقیم پوشش بر کاهش فرسایش خاک اشاره کرده‌اند.

یکی از الزام‌های مدیریت حوزه‌های آبخیز درک فرایندهای فرسایش و تعیین میزان آن است. مدل‌سازی فرسایش خاک به سبب آنکه هدررفت خاک تحت تأثیر عوامل مختلف و اثرهای متقابل بین آن‌ها قرار دارد. موضوعی پیچیده است (ونگ و همکاران، ۲۰۰۱). تعیین عوامل مؤثر بر فرسایش و پیش‌بینی مقدار فرسایش خاک نخستین گام در ارائه راهکارهای حفاظت خاک است. روش‌های فعلی برآورد فرسایش و رسوب اغلب به صورت یک پارچه استفاده می‌شوند (فرو و پورتو، ۲۰۰۰). در این میان مدل‌های فرسایش ابزارهای ضروری برای پیش‌بینی تلفات بیش از اندازه خاک هستند و به اجرای استراتژی کنترل فرسایش کمک می‌کنند. مدل RUSLE یک مدل هیدرولوژیکی است که مجموعه‌ای از معادلات را برای محاسبه فرسایش به کار می‌برد (پورحسین ثابت، ۱۳۹۱). با استفاده از مدل^۱ RUSLE، فرسایش سطحی و شیاری به دست آمده از باران و رواناب در سطوح تحت رواناب سطحی پیش‌بینی می‌شود (جونز و همکاران، ۲۰۰۸). پراساناکار و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی خطر فرسایش خاک در یک زیرحوضه کوهستانی در هند را با استفاده از معادله جهانی فرسایش خاک (RUSLE) برآورد و پیشنهاد کردند که تهیه نقشه فرسایش مکانی خاک با استفاده از روش RUSLE و به کمک GIS می‌تواند در برنامه‌ریزی و مدیریت مناطق حساس کوهستانی مفید باشد. اسدی و همکاران (۱۳۸۹) خطر فرسایش خاک را با استفاده از معادله جهانی تلفات خاک اصلاح شده (RUSLE) در حوضه ناورد استان گیلان پهنه‌بندی کردند و نشان دادند که مقادیر خطر فرسایش در سطح حوضه از صفر تا بیش از ۸۰۰ تن در هکتار در سال متغیر است. این پژوهشگران با مقایسه نقشه پتانسیل خطر فرسایش و نقشه خطر فرسایش خاک نشان دادند که پوشش گیاهی نقش بسزایی در کاهش خطر فرسایش خاک حوزه مورد مطالعه دارد. با توجه به کاربرد وسیع مدل RUSLE در مناطق مختلف کشور و جهان (اسدی و همکاران، ۱۳۸۹؛ واعظی و همکاران، ۱۳۸۹؛ فیونا و همکاران، ۲۰۱۰؛ ناجیل و همکاران، ۲۰۱۰؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰) و تأیید شدن کارایی آن می‌توان برای تخمین فرسایش و رسوب در حوضه‌های آبریز کشور از این مدل بهره جست. از آنجا که در ایران و منطقه مورد نظر، مطالعه هم‌زمان پیشنهاد عملیات مناسب اصلاحی و احیایی و تأثیر مستقیم این عملیات پیشنهادی بر میزان فرسایش و هدررفت خاک صورت نگرفته، هدف از تحقیق حاضر پیش‌بینی اثر عملیات اصلاح و احیا بر کاهش فرسایش و هدررفت خاک به کمک مدل RUSLE است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه زیرحوضه‌ای مرتعی از حوضه آبخیز لار در دامنه‌های جنوبی دماوند در استان مازندران است. مساحت این زیرحوضه ۱۸۷۸٫۲۷ هکتار است و از لحاظ موقعیت جغرافیایی بین طول‌های شمالی $35^{\circ} 53' 5''$ تا $35^{\circ} 56' 30''$ و عرض‌های شرقی $52^{\circ} 1' 10''$ تا $52^{\circ} 5' 50''$ واقع شده است (شکل ۱). متوسط حداکثر دمای سالیانه $15/27$ درجه سانتی‌گراد و متوسط حداقل دمای سالیانه $-1/25$ درجه سانتی‌گراد است. گرم‌ترین ماه سال تیر و سردترین ماه سال دی است. میانگین بارندگی سالانه $546/28$ میلی‌متر در سال است که با افزایش ارتفاع بارندگی به برف تبدیل شده و بعضاً دارای یخچال طبیعی است. اقلیم منطقه با استفاده از روش دومارتن اصلاح‌شده نیمه‌مرطوب است. از مهم‌ترین گیاهان این منطقه می‌توان به *Onobrychis corunata* و *Thymus kotschyanus* و انواع گون‌ها (*Asteragalus*)، *Poa*، *Bromus Tomentellus bulbosa*، *Festuca ovina* و *Eremurus Spetabilis* اشاره کرد (آذرنیوند و همکاران، ۱۳۸۶).



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان و کشور

روش تحقیق

مکان‌یابی مناطق مناسب برای عملیات اصلاح و احیا

برای این منظور، از لایه‌های اطلاعاتی مانند خطوط هم‌باران، خاک‌شناسی، شیب، و وضعیت مراتع استفاده شد و با ادغام این لایه‌ها مدل نهایی مکان‌یابی پروژه‌های اصلاحی مرتع به‌دست آمد. با توجه به لایه اطلاعاتی بارندگی منطقه، پروژه‌هایی که قابل اجرا نبودند حذف شدند (جدول ۱). عملیات بوته‌کاری و پی‌تینگ در این مرحله حذف شدند.

جدول ۱. میزان بارندگی مورد نیاز، وضعیت خاک، و کلاس‌های شیب برای انواع طرح‌های اصلاحی و احیایی مراتع

کلاس‌های شیب به درصد	وضعیت خاک	میزان بارندگی مورد نیاز	پروژه‌های مرتع‌داری
-	عمیق با بافت متوسط	$300 < p$	کودپاشی
> 65	$300 < p$	جلوگیری از ورود دام
-	-	$200 > p$	بوته‌کاری
۲۵-۴۵	متوسط تا نیمه‌سنگین، عمیق تا نیمه‌عمیق	$250 < p$	میان‌کاری
۰-۲۵	عاری از سنگ و عمیق با بافت متوسط	$300 < p$	بذرکاری
-	متوسط و عمیق	$250 < p$	بذرپاشی
۴۵-۶۵	نیمه‌عمیق	۳۰۰	کپه‌کاری
-	رسی سنگین	$150 > p$	ریپینگ
-	-	$120 < p < 250$	پی‌تینگ
-	-	$150 < p$	فاروئینگ

در مرحله بعد با استفاده از لایه اطلاعاتی خاک‌شناسی عملیات اصلاحی و احیایی‌ای که مناسب منطقه نبودند حذف شدند (جدول ۱). در این مرحله پروژه‌های کودپاشی، بذرپاشی، و ریپینگ حذف شدند.

در مرحله بعد، با توجه به لایه اطلاعاتی شیب، مناطق مناسب برای عملیات باقی‌مانده تشخیص داده شدند و عملیات نامناسب برای منطقه حذف شدند (جدول ۱). در این مرحله جلوگیری از ورود دام به مرتع حذف شد.

سرانجام، با بررسی لایه‌های فوق به همراه لایه وضعیت مرتع عملیات بذرکاری، میان‌کاری، و کپه‌کاری مناسب برای منطقه مورد مطالعه تشخیص داده شدند.

در مدل RUSLE منظور از کارهای حفاظتی بیشتر عملیات کشت روی خطوط تراز، کشت نواری، و ترانس‌بندی است؛ جدول ۲ ارقام پذیرفته‌شده برای آن را نشان می‌دهد. با توجه به شرایط اجرای ترانس‌بندی و همچنین پُرهزینه‌بودن این روش اصلاحی، اجرای این روش در منطقه مورد نظر پیشنهاد نمی‌شود، بنابراین از روش‌های فوق حذف شد.

جدول ۲. مقادیر عددی عامل P در مورد کشت روی خطوط تراز، کشت نواری، و تراس بندی

مقدار P			
تراس بندی	کشت نواری	کشت روی خطوط تراز	درصد شیب زمین
۰/۶	۰/۳	۰/۶	۱/۱-۲
۰/۵	۰/۲۵	۰/۵	۱/۲-۷
۰/۶	۰/۳	۰/۶	۷/۱-۱۲
۰/۸	۰/۴	۰/۸	۱۲/۱-۱۸
۰/۹	۰/۴۵	۰/۹	۱۸/۱-۲۴

سرانجام، با روی هم گذاری لایه‌های فوق، نقشه مکان‌های مناسب برای عملیات اصلاح و احیای پیشنهادی تهیه شد.

ارزیابی فرسایش خاک با مدل RUSLE

میزان فرسایش خاک در منطقه با استفاده از مدل RUSLE برآورد شد. RUSLE یک مدل برآورد فرسایش آبی است که با شش فاکتور فرسایشی زیر رابطه دارد (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۸۷).

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

در این رابطه A میانگین فرسایش خاک در واحد سطح (تن در هکتار در سال)، فاکتور R فرسایشی باران (میلی ژول در هکتار در ساعت در سال)، فاکتور K فرسایش پذیری خاک (تن در هکتار در میلی ژول در میلی متر)، L طول شیب، S درجه شیب، C فاکتور مدیریت پوشش گیاهی، و P اقدامات حفاظتی است که مقادیر S، L، C، و P بدون واحدند.

فرسایشی باران: برای محاسبه این شاخص از رابطه رگرسیونی بین میانگین سالانه بارندگی و شاخص فرسایشی استفاده شد.

$$R = -8/12 + 0/562 r \quad (2)$$

r میانگین سالانه بارندگی بر حسب میلی متر است.

فرسایش پذیری خاک: در مجموع در شانزده نقطه مقادیر فرسایش پذیری خاک با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد.

$$K = 7/595 \{ 0/034 + 0/0405 \exp \left[\frac{1/29 \left(\frac{\log Dg + 1/659}{0/7101} \right)}{0/7101} \right] \}$$

$$D_g = \exp (0/01 \sum f_i \ln m_i) \quad (3)$$

در این رابطه Dg میانگین هندسی قطر ذرات خاک، m_i میانگین هندسی اندازه ذرات خاک، و F_i درصد شکستگی ذرات در کلاس i است.

طول و درجه شیب: برنامه ++C به صورت خودکار از مدل رقومی ارتفاع (DEM) به عنوان ورودی برای محاسبه فاکتور LS استفاده می‌کند. فایل اجرایی برنامه ++C طول شیب تجمعی را محاسبه می‌کند و مقادیر آن را جایگزین λ می‌نماید.

توان m در این رابطه در ارتباط با متغیر β است که نسبت فرسایش شیاری و بین شیاری است.

$$L = \left(\frac{\lambda}{22/13} \right)^m \quad m = \frac{\beta}{\beta + 1} \quad (4)$$

$$\beta = \frac{\sin \theta}{0.0896} \quad (5)$$

$$3 \times (\sin \theta)^{0.8 + 0.56}$$

مدیریت پوشش گیاهی: مقادیر c به نوع پوشش گیاهی، مرحله رشد، و درصد پوشش بستگی دارد و تغییرات آن بین ۰ تا ۱ است. نمونه‌برداری از کلاس‌های پوششی مختلف حوزه به منظور برآورد فاکتور c در شانزده نقطه به صورت تصادفی انجام گرفت و مختصات آن‌ها با GPS ثبت شد. مقادیر فاکتور c مشاهداتی با توجه به نوع پوشش منطقه برآورد شد. با فرض خطی بودن همبستگی بین NDVI و فاکتور c معادله همبستگی بین آن‌ها محاسبه و از آن به عنوان معادله تبدیل استفاده شد (کارابورون، ۲۰۱۰). برای استخراج NDVI از باند مادون قرمز نزدیک (NIR) و باند قرمز (R) سنجنده TM استفاده شد.

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (6)$$

عملیات حفاظتی: از آنجا که در منطقه مورد مطالعه هیچ‌گونه اقدام حفاظتی انجام نگرفته است، برای کل منطقه مورد مطالعه عدد ۱ در نظر گرفته شد.

پس از تعیین مقادیر فاکتورهای مدل، به کمک الحاقیه Spatial Analyst برنامه ArcGIS نقشه خطر فرسایش به دست آمد؛ به طوری که این نقشه مقادیر هدررفت سالانه خاک (تن در هکتار در سال) را بر اساس سلول به سلول می‌دهد. سپس، این نقشه به کلاس‌های مختلف خطر فرسایش پهنه‌بندی شد تا مناطق پرخطر شناسایی شود.

پیش‌بینی اثر عملیات اصلاح و احیای پیشنهادی بر میزان فرسایش خاک منطقه

پس از یافتن مکان‌های مناسب برای عملیات اصلاح و احیای پیشنهادی و با توجه به اینکه بعد از اجرای این عملیات مقادیر P تغییر خواهد کرد، با توجه به جدول ۲ مقادیر P جدید برآورد شد. به منظور پیش‌بینی اثرهای اصلاح و احیای مراتع بر هدررفت خاک از رابطه ۷ استفاده شد:

$$A = RKLSCP \quad (7)$$

از بین عوامل مدل مورد مطالعه، عوامل RKLS ثابت‌اند و فقط عوامل c و P تغییرپذیرند.

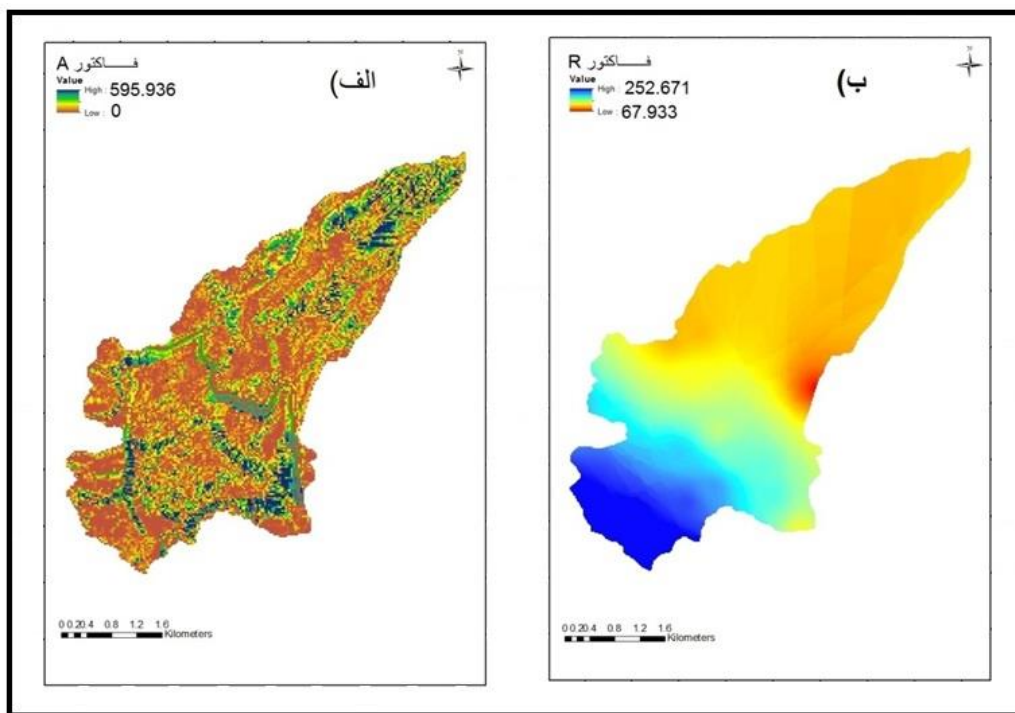
$$c = \frac{T}{RKLS P} \quad (8)$$

در این رابطه مقادیر T و RKLSP معلوم است. بنابراین، مقدار C تعیین می‌شود (رفاهی، ۱۳۷۹). پس از مشخص شدن مقادیر P و C، بعد از عملیات اصلاحی، دوباره فرسایش منطقه با استفاده از مدل RUSLE محاسبه شد و در محیط GIS نقشه پیش‌بینی خطر فرسایش تهیه شد.

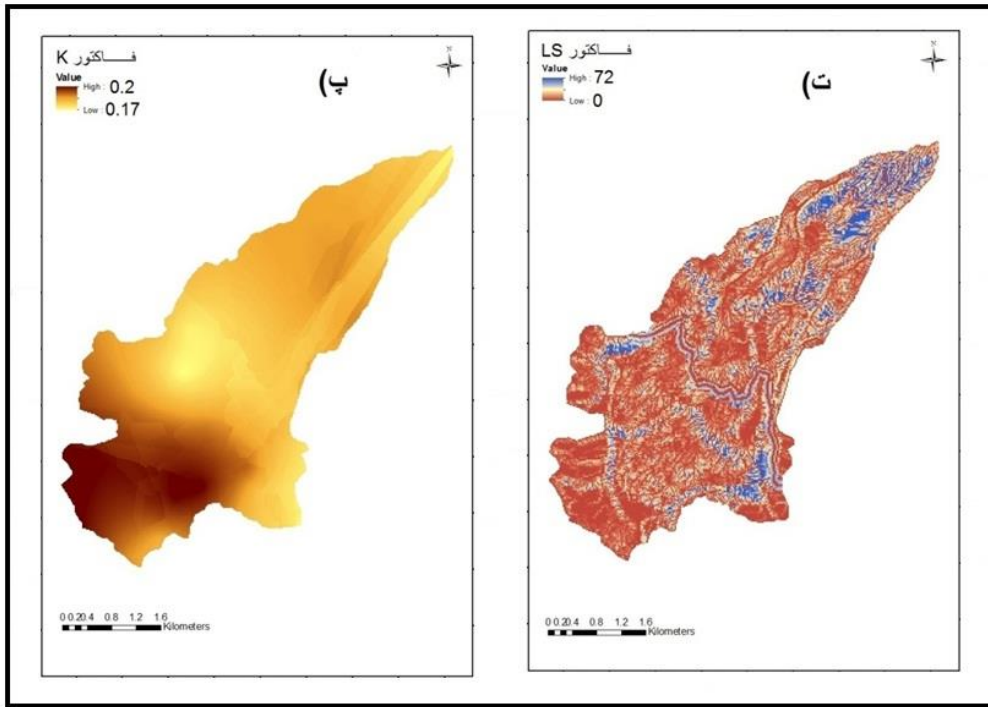
یافته‌های تحقیق

برآورد فرسایش خاک منطقه مورد مطالعه

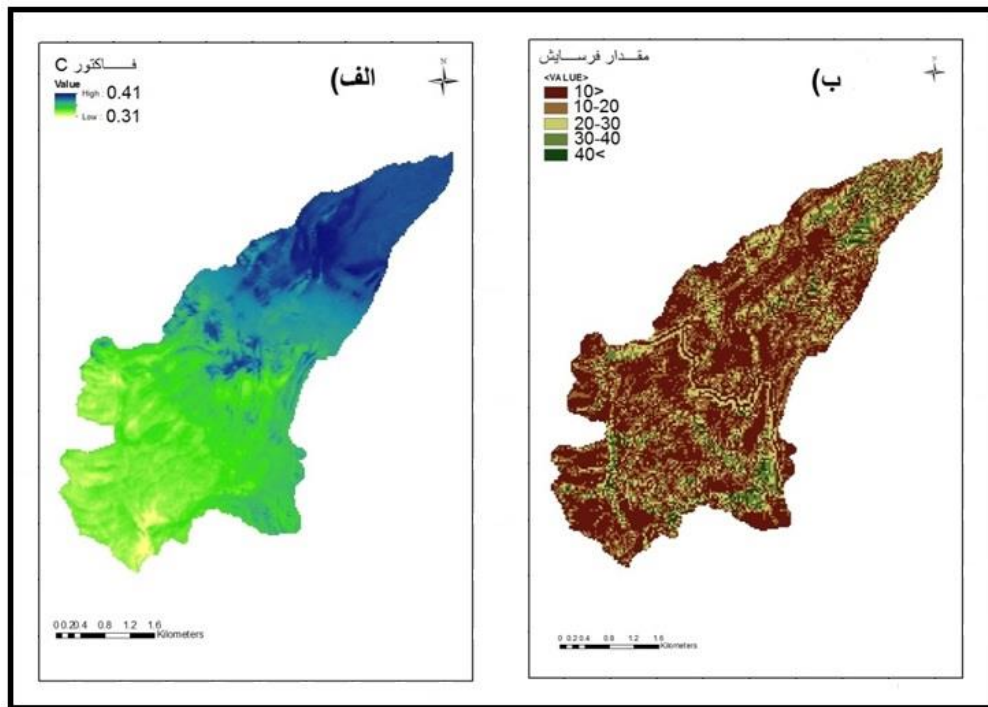
مقادیر فاکتور R از ۶۷ تا ۲۵۲ متغیر و میانگین آن ۱۴۳/۶۷ است. طبق نقشه فرسایش‌دگی باران از شمال حوزه به سمت جنوب حوزه مقدار R افزایش می‌یابد (شکل ۲). مقدار فرسایش‌پذیری خاک در منطقه مورد مطالعه از ۰/۱۷ تا ۰/۲ متغیر و مقدار متوسط آن ۰/۱۸ است. شکل ۳ توزیع مکانی فرسایش‌پذیری خاک را نشان می‌دهد. مقدار فاکتور LS در منطقه مورد مطالعه از صفر تا ۷۲ در سطح پیکسل متغیر است و مقدار متوسط آن ۵/۵۲ است. مقادیر LS در بعضی مناطق با شیب‌های تند، مانند امتداد رودخانه‌ها، بیشتر است (شکل ۳). نقشه فاکتور C نشان می‌دهد که مقدار C بین ۰/۳۱ تا ۰/۴۱ متغیر و متوسط آن ۰/۳۷ است. بیشترین مقدار این پارامتر در مناطق بدون پوشش گیاهی و کمترین مقدار آن در مناطقی با پوشش متراکم است و با رنگ روشن‌تر مشخص شده است (شکل ۴). برای محاسبه فاکتور P، چون در زیرحوزه مورد مطالعه هیچ‌گونه عملیات حفاظتی انجام نگرفته است، عدد یک در نظر گرفته شد. مقادیر متوسط فرسایش خاک در منطقه مورد مطالعه بین صفر تا ۵۱ تن در هکتار در سال است (شکل ۴). در مرحله بعد، نقشه فرسایش سالانه خاک به پنج کلاس خطر طبقه‌بندی شد (شکل ۴).



شکل ۲. الف) مقادیر فاکتور A؛ ب) مقادیر فاکتور R



شکل ۳. پ) مقادیر فاکتور K؛ ت) مقادیر فاکتور LS



شکل ۴. الف) مقادیر فاکتور C؛ ب) نقشه طبقه‌بندی فرسایش خاک

مکان‌یابی پروژه‌های اصلاح و احیای منطقه مورد مطالعه

مساحت‌هایی از منطقه مورد مطالعه که مناسب عملیات بذرکاری، میان‌کاری، و کپه‌کاری‌اند به‌ترتیب برابر ۳۸۷، ۲۴۶، و ۱۷۶ هکتارند. شکل ۵ نقشه مدیریتی منطقه را با مکان‌یابی پروژه‌های اصلاحی مناسب نشان می‌دهد. جدول ۳ مساحت مکان‌های مناسب برای کشت روی خطوط تراز و کشت نواری و مقادیر p در شیب‌های مختلف را نشان می‌دهد. بیشترین میزان عملیات قابل کشت روی خطوط تراز در شیب ۱۲-۷ و کمترین آن مربوط به شیب ۲-۱ است که هشت هکتار است. با توجه به میزان مساحت شیب‌های مختلف برای عملیات کشت روی خطوط تراز میانگین مقادیر p برای مناطق قابل کشت روی خطوط تراز همراه با بذرکاری ۰/۶۲ به‌دست آمد.

جدول ۳. مساحت برنامه اصلاحی کشت روی خطوط تراز و نواری در منطقه و مقادیر P

کشت نواری		کشت روی خطوط تراز		
مساحت (هکتار)	مقادیر p	مساحت (هکتار)	مقادیر p	درصد شیب
۴	۰/۳	۸	۰/۶	۱/۱-۲
۴۶	۰/۲۵	۸۹	۰/۵	۱/۲-۷
۹۴	۰/۳	۱۸۶	۰/۶	۷/۱-۱۲
۱۰۲	۰/۴	۱۰۳	۰/۸	۱۲/۱-۱۸

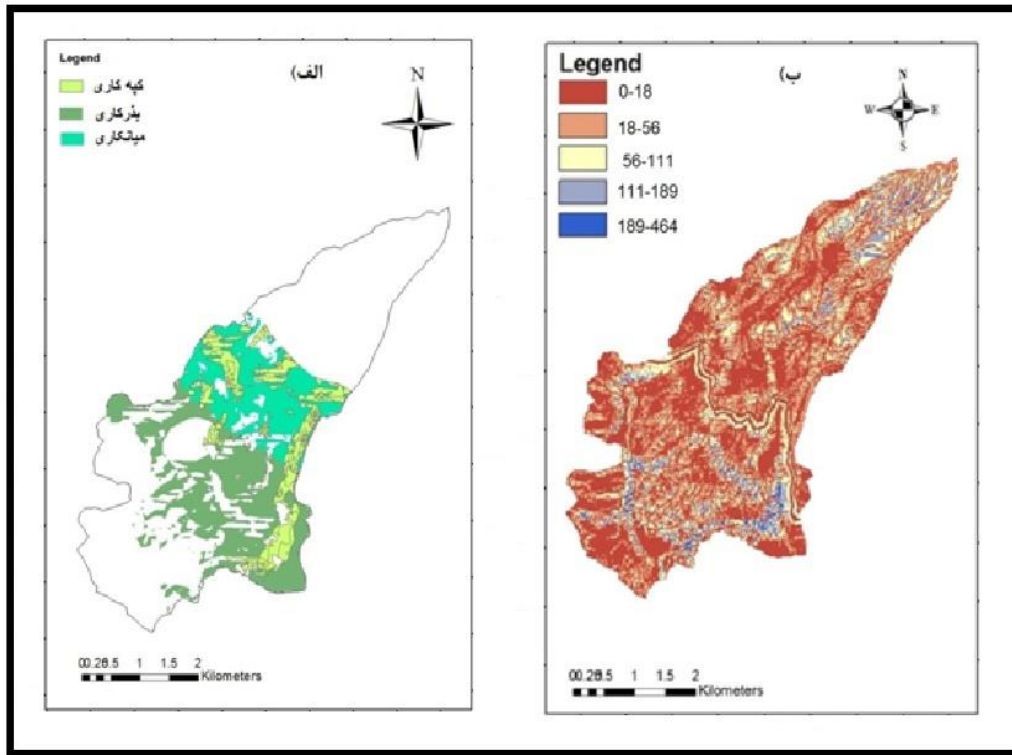
بیشترین میزان عملیات کشت نواری در شیب ۱۸-۱۲/۱ با مساحت ۱۰۲ هکتار قابل اجراست و کمترین آن مربوط به شیب ۲-۱ با مساحت چهار هکتار است. با توجه به میزان مساحت شیب‌های مختلف برای عملیات کشت نواری، میانگین مقادیر p برای مناطق قابل کشت نواری همراه با میان‌کاری ۰/۳۳ به‌دست آمد. میانگین مقادیر p برای عملیات کشت روی خطوط تراز و کشت نواری ۰/۵ به‌دست آمد که این مقدار p برای ۶۳۳ هکتار از منطقه مورد مطالعه ۵ در نظر گرفته شد و برای ۱۲۴۵ هکتار از منطقه که امکان عملیات حفاظتی در آن‌ها وجود نداشت. مقدار آن ۱ در نظر گرفته شد در نتیجه مقدار متوسط p برای کل حوزه ۰/۸۳ به‌دست آمد.

پیش‌بینی میزان هدررفت خاک بعد از اجرای عملیات اصلاح و احیای پیشنهادی

پس از شبیه‌سازی عملیات اصلاح و احیای منطقه مورد مطالعه و اثرهای آن بر فاکتورهای P و C، مشخص شد که متوسط هدررفت سالانه خاک بین صفر تا ۴۶۴ تن در هکتار در سال کاهش یافته (شکل ۵) و میانگین آن به ۳۴ تن در هکتار در سال می‌رسد و نشان‌دهنده کاهش ۳۴/۶۱ درصدی میزان فرسایش خاک است (جدول ۴).

جدول ۴. مقادیر فاکتورهای مختلف معادله جهانی فرسایش خاک در شرایط حاضر و پس از شبیه‌سازی عملیات اصلاح و احیا

فاکتور	شرایط حاضر	پس از شبیه‌سازی عملیات اصلاح و احیا
میانگین	میانگین	میانگین
A	۵۱	۳۴
R	۱۴۳٫۶۸	۱۴۳٫۶۸
K	۰٫۱۸	۰٫۱۸
LS	۵٫۵۲	۵٫۵۲
P	۱	۰٫۸۳
C	۰٫۳۷	۰٫۳۱



شکل ۵. الف) مکان‌های مناسب برای عملیات اصلاح و احیا؛ ب) نقشه متوسط سالانه فرسایش خاک پس از عملیات اصلاح و احیای پیشنهادی

بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه فرسایش خاک و بار رسوب به صورت شبکه‌ای (توزیعی) با استفاده از مدل معروف **RUSLE** در چهارچوب سیستم اطلاعات جغرافیایی ارزیابی کمی شد. با توجه به نقشه فرسایش باران، مقدار آن از شمال حوزه به سمت جنوب حوزه افزایش می‌یابد که با کاهش بارندگی و توزیع مکانی غیر یکنواخت بارندگی در حوزه مرتبط است. با ملاحظه نقشه

فرسایش‌پذیری خاک مشخص می‌شود که مقدار K در نواحی جنوب و جنوب غربی بیشتر از سایر نواحی مورد مطالعه است. نواحی شمالی زیرحوضه و بخش‌های کمی از جنوب غربی زیرحوضه بیشترین تغییرات ارتفاعی را داشت؛ در نتیجه، بیشترین مقادیر LS را به خود اختصاص داد. اکثریت منطقه مورد مطالعه دارای LS کمتر از ۱۰ است. برخی نواحی، به‌خصوص در شیب‌های تند، از قبیل امتداد رودخانه و آبراهه‌ها، LS بیشتر از ۲۰ را به خود اختصاص دادند. نقاط جنوبی حوضه، که دارای پوشش انبوه‌تری است، کمترین مقادیر فاکتور C را داشت و بیشترین مقادیر این فاکتور مربوط به شمال حوضه بود با اراضی بدون پوشش. مراتعی با پوشش ضعیف و اراضی بدون پوشش و سنگی در بخش‌های مرکزی و شمال منطقه مورد مطالعه موجب مقادیر بالای فاکتور C در این بخش‌ها شده‌اند. همان‌گونه که اشاره شد، برای تهیه درصد تاج پوشش گیاهی از شاخص NDVI استفاده شد. به‌کاربردن این شاخص، همراه با بازدیدهای زمینی، دقت بسیار زیادی را در تهیه نقشه درصد تاج پوشش گیاهی ایجاد می‌کند و به حذف خطاهای معمول در روش‌های سنتی کمک شایانی خواهد کرد و موجب افزایش دقت نهایی خواهد شد. با مقایسه تصویر NDVI و نقشه نهایی تولید رسوب، مشاهده شد که رابطه معکوسی بین عدد پیکسلی NDVI و میزان تولید رسوب در یک نقطه خاص وجود دارد. نتایج مدل RUSLE مشخص کرد که مناطقی با شیب کم دارای میزان تحویل رسوب کمتری نسبت به سایر نقاطند. منابع اصلی رسوبات در این منطقه مناطق شیب‌دارند. متوسط هدررفت خاک سالانه در منطقه مورد مطالعه بین صفر تا ۵۹۵ تن در هکتار در سال و میانگین آن ۵۲ تن در هکتار در سال است. با توجه به تغییرات مکانی فرسایش، در بخش‌های جنوب شرقی حوضه فرسایش خاک بیشتر از سایر نواحی دیده می‌شود. دست‌یابی به چنین مقادیری با استفاده از مدل یادشده در کارهای برخی محققان (اسدی و همکاران، ۱۳۸۹) گزارش شده است. ترکیب GIS با مدل‌های فرسایش و رسوب روشی مؤثر و کارآمد برای تعیین توزیع مکانی فرسایش و رسوب است. کاربرد این مدل، با توجه به اینکه آرای کارشناسی کمتر در آن دخالت دارد و به سبب دارابودن پایه فیزیکی ساده برای برآورد توزیعی میزان فرسایش و رسوب، نسبت به مدل‌های رایج دیگر در کشور، توصیه می‌شود. اجرای پروژه‌های مدیریتی و بیولوژیک در منطقه مطالعاتی، علاوه بر حفاظت از آب و خاک منطقه، به افزایش تولید علوفه در نتیجه افزایش تولیدات دامی و افزایش محصولات فرعی منجر شده و در نتیجه افزایش درآمد خانوارهای بهره‌بردار را به دنبال دارد. محل این پروژه‌ها باید درست و با دقت انتخاب شود تا اجرای آن‌ها رضایت‌بخش باشد. بنابراین، برای تعیین نوع عملیات، باید به شرایط اکولوژیک منطقه توجه کرد. استفاده از سیستم GIS و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی بر اساس شرایط لازم برای اجرای برنامه‌های اصلاحی می‌تواند در تعیین مکان مناسب این برنامه‌ها مفید باشد. نتایج شبیه‌سازی کشت روی خطوط تراز توأم به بذرکاری و کشت نواری توأم با میان‌کاری در منطقه مورد مطالعه نشان داد که مقدار P بر اساس عملیات‌های مورد نظر و شیب‌های مختلف تغییر می‌کند؛ به طوری که میزان آن از یک به ۰/۸۳ کاهش می‌یابد. همچنین، عملیات‌های مورد نظر باعث تغییر فاکتور C می‌شود و نقش بسزایی در کاهش فرسایش خاک منطقه مورد مطالعه دارد. نتایج نشان داد پس از شبیه‌سازی عملیات اصلاح و احیا مقدار فرسایش به میزان ۳۴ درصد کاهش می‌یابد و بین صفر تا ۴۶۴ تن در هکتار در سال با میانگین ۳۴ می‌رسد؛ این کاهش بیانگر اهمیت عملیات‌های قابل اجرای اصلاحی و احیایی در منطقه مورد مطالعه است. محققان دیگر نیز در تحقیقات مشابه به اثرگذاری این عملیات بر میزان فرسایش و رسوب تأکید کردند؛ از جمله لیدگی و مورگان (۱۹۹۵) گزارش کردند که

کشت گیاهان بر روی خطوط تراز به میزان ۵ تا ۱۰ درصد رسوبات و فرسایش را کاهش می‌دهد. ترانوا و همکاران (۲۰۰۹) در مالی گزارش کردند که پشته‌های خطوط تراز به طور تقریبی رواناب سالیانه را در شیب‌های ملایم ۱۰ درصد کاهش می‌دهد. استیون و همکاران (۲۰۰۹) در منطقه‌ای نیمه‌خشک در شمال اتیوپی گزارش کردند که کشت روی خطوط تراز به مقدار قابل ملاحظه‌ای رواناب و فرسایش را کاهش می‌دهد. فتحی و همکاران (۱۳۸۹) نشان دادند که با اجرای طرح‌های مرتعداری در مراتع حوضه آبخیز کویر میقان اراک تاج پوشش گیاهی از ۱۵ تا ۳۰ درصد افزایش یافته و میزان فرسایش و سیل‌خیزی حوضه نیز به میزان ۲۵ درصد کاهش یافته است. برخی محققان (جینلاو و همکاران، ۲۰۰۶؛ چانگ فا و همکاران، ۲۰۱۳) نیز کاهش فرسایش به دنبال افزایش درصد پوشش گیاهی را گزارش کرده‌اند. سرانجام باید گفت با مشخص شدن مقدار توزیعی میزان تحویل رسوب و فرسایش در مناطق مختلف، برنامه‌ریزی می‌تواند مناطق بحرانی را مشخص کند و، در صورت کاربرد عملیات حفاظتی، میزان کارایی آن‌ها را نیز پیش‌بینی کند. البته، ذکر این نکته لازم است که چون این‌گونه عملیات‌ها هزینه‌برند، برای پیشنهاد اجرای آن‌ها در عرصه‌های یادشده، باید ارزیابی اقتصادی انجام گیرد تا مناسب‌ترین عملیات، که توجیه اقتصادی نیز داشته باشد، تجویز شود.

منابع

- آذرینوند، ح.؛ نامجویان، ر.؛ ارزانی، ح.؛ جعفری، م. و زارع چاهوکی، م. (۱۳۸۶). مکان‌یابی برنامه‌های اصلاح و احیای مراتع با استفاده از GIS و مقایسه آن با پروژه‌های پیشنهادی در طرح‌های مرتعداری مراتع منطقه لار، مجله علمی - پژوهشی مرتع، ۲: ۱۵۹ - ۱۶۹.
- انصاری، ن. (۱۳۸۶). *روش‌های احیای آبخیز با پوشش گیاهی*، تهران: انتشارات مؤسسه آموزش عالی علمی - کاربردی جهاد کشاورزی.
- اسدی، ح.؛ وظیفه‌دوست، م.؛ موسوی، س.ع. و هنرمند، م. (۱۳۸۹). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر فرسایش خاک با استفاده از معادله جهانی تلفات خاک اصلاح‌شده، سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در حوضه آبخیز ناورود، ارائه دستاوردهای پژوهشی شرکت سهامی آب منطقه‌ای گیلان، رشت، شرکت سهامی آب منطقه‌ای.
- پورحسین ثابت، س. (۱۳۹۱). شبیه‌سازی اثرات تغییر کاربری اراضی بر هدررفت خاک با استفاده از مدل RUSLE (مطالعه موردی حوضه آبخیز دارابکلا)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی ساری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی.
- جنگجو، م. (۱۳۸۸). *اصلاح و توسعه مراتع*، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
- دهقان، ف. (۱۳۸۹). تأثیر عملیات احیایی بیولوژیک بر پوشش گیاهی و خصوصیات خاک (مطالعه موردی زیرحوضه رودخانه کبیر سوادکوه)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد مرتعداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
- رفاهی، ح. (۱۳۷۹). *فرسایش آبی و کنترل آن*، انتشارات دانشگاه تهران.
- فتحی، ق.ع.؛ محمدی، ع.؛ اکبری، ن. و عنایتی. (۱۳۸۹). تأثیر طرح‌های مرتعداری بر کنترل خاک حوضه آبخیز کویر میقان، چکیده اولین همایش مقابله با بیابانزایی، اراک.
- محمدی، م.؛ فلاح، م.؛ کاویان، ع.؛ غلامی، ل. و امیدوار، ا. (۱۳۹۵). کاربرد مدل RUSLE در تعیین توزیع مکانی خطر هدررفت خاک، اکوهیدرولوژی، ۳ (۴): ۶۴۵-۶۵۸.
- واعظی، ع.؛ بهرامی، ح.؛ صادقی، س.ح. و مهدیان، م.ح. (۱۳۸۹). بررسی عوامل مؤثر بر فرسایش‌پذیری خاک در خاک‌های آهکی، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱۴: ۵۵ - ۶۵.

- Ansari, N. (2007). *Watershed restoration techniques using vegetation*, Institute of Higher Education Science – Applied of Keshavarzi Jahad press, Tehran.
- Asadi, H.; Vazife doost, M.; Mosavi, S.A. and Honarmand, M. (2010). *Assessing and mapping the risk of soil erosion using RUSLE*, GIS and RS in Navrood watershed, Research report of Company of Regional Water, Rasht, Guilan.
- Azarnivand, H.; Namjoyan, R.; Arzani, H.; Jafari, M. and Zare Chahouki, M.A. (2007). Localization of range improvement plans using GIS and comparing with suggested projects of range management plans in Lar region, *Iranian J. Rangeland*, 2: 159-169.
- Chong-Fa, C.; Qing-Xue, X.; Tian-Wei, W.; Zhao-Xia, L.; Zhi-Hua, S. and Rong-Jie1, F. (2013). Responses of Runoff and Soil Erosion to Vegetation Removal and Tillage on Steep Lands, *Catena*, 23: 532-541.
- Dehghan, F. (2010). The impact of biological recovery operations on vegetation and soil properties (case study: Kabir sub watershed of Savadkoooh), Ms.c thesis in Range management, Sari Agricultural and Natural Recourses Sciences University.
- Fathi, Gh.; Mohammadi, A.; Akbari, A. and Enayati, N. (2010). Effect of projects range management of soil control in Kavir Mighan watershed, *Firth conference of Combat Desertification*, Arak.
- Ferro, V. and Porto, P. (2000). Sediment delivery distributed (SEDD) model, *Journal of Hydrology*, 5: 18-41.
- Fiona, P.M.; Saskia, M.V. and Storooisijder, L. (2010). A tool for rapid assessment of erosion risk to support decision-making and policy development at the Ngenge watershed in Uganla, *Geoderam*, 160: 165-174.
- Jangjoo, M. (2009). *Reform and development of rangelands*, Daneshgahi Jahad press of Mashhad.
- Jianlao, L.; Xinxiao, U.; Xuexia, Z.; Manliang, Z. and Yuanyuan, Z. (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: 1-8.
- Jones, D.S.; Kowalski, D.G. and Robert, B.S. (2008). Calculating Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) Estimates on Department of Defense Lands, *Catena*, 8: 480-523.
- Karaburun, A. (2010). Estimation of C factor for soil erosion modeling using NDVI in Buyukcekmece watershed, *Ozean Journal of Applied Sciences*, 3: 1123-1129.
- Lafen, J.M. and Roose, E.J. (1998). Method logistics for assessment of soil degradation truss to water erosion, In Law: Balum. W.E. and Valenentine, c. soil degrading, *CRC press, Bo Ca Raton*, 320.
- Lai, R.; Bium, W.H.; Valentie, C. and Stewart, B.A. (1998). *Methods for assessment of soil degradation*, Advances in Soil Sci, 558p.
- Li, Z.F. (2006). Effect of vegetation changes on soil erosion on the loess plateau, *Soil Science Society of China*, 16: 420-427.
- Ligdi E.E. and Morgan R.P. (1995). Contour grass strips: a laboratory simulation of their role in *soil erosion control*. 1221. *Soil Technol*, 2: 102-112.
- Nijel, R. and Rughooputh, S. (2010). Mapping of monthly soil erosion risk of Mainsnd Mauritius and its aggregation with delineated basins, *Geomorphology*, 114: 101-114.
- Park, S.; Jin, C.; Jeon, S. and Jung, H.C. (2011). Soil Erosion Risk in Korean Watersheds, Assessed Using the Universal Soil Loss Equation, *Journal of Hydrology*, 399: 263-273.
- Kavian, A.; Hoseinpoor Sabet, S.; Solaimani, K. and Jafari, B. (2017). Simulating the effects of land use changes on soil erosion using RUSLE model, *Geocarto International*, 32 (1): 97-111.
- Prasannakumar, V., Vijith, H., Abinod, S., Geetha, N. 2012. Estimation of soil erosion risk within a small mountainous sub-watershed in Kerala, India, using Revised Universal Soil Loss Equation
- Poor Hosein Sabet, S. (2012). Simulation of land use changes on soil loss using RUSLE model (case study: Darabkola watershed), Watershed management Ms.c thesis in Sari agricultural and natural recourses.
- Refahi, H. (2000). *Water erosion and control*, Tehran university press.
- Stevens C.J.; Quinton J.N.; Bailey A.P.; Deasy, C.; Silgram, M. and Jackson D.R. (2009). The effects of minimal tillage, contour cultivation and in-field vegetative barriers on soil erosion and phosphorus loss, *Soil and Tillage Research*, 106(1): 145-151.
- Terranova, O.; Antronice, R.; Coscarelli, R. and Iaquina, P. (2009). Soil erosion risk scenarios in the Mediterranean

- environment using RUSLE and GIS. An application model for Calabria (southern Italy), *Geomorphology*, 112: 228-245.
- Tripathi, M.P.; Panda, R.K. and Raghuwansi, N.S. (2003). Identification and prioritization of critical sub watersheds for soil conservation management using the SWAT model, *Biosystems Engineering*, 85(3): 365-379.
- Vaezi, A.; Bahrami, H.; Sadeghi, H.R. and Mahdian, M.H. (2010). Investigating factors affecting on the erosion of calcareous soils, *Iranian J. agricultural and natural resources sciences, Gorgan*, 14: 55-65.
- Wang, G.G.; Gartner, X.; Liu, H. and Anderson, A. (2001). Uncertainty assessment of soil erodibility factor for revised universal soil loss equation, *Catena*, 46: 1-14.
- Wischmeier, W.H.; Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Agriculture handbook 537. Washington (DC): US, Department of Agriculture; 58p
- Zangh, X.; Wu, B.; Ling, F.; Zeng, Y.; Yan, N. and Youan, C. (2010). Identification of priority areas for controlling soil erosion, *Catena*, 83: 76-86.
- Zhanga, B.; Yanga, Y. and 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: 77-90.
- Zhou, A.P.; Luukkanen, B.O.; Tokola, C.D.T. and Nieminen, J. (2008). Effect of vegetation cover on soil erosion in a mountainous watershed, *Catena*, 75: 319-325.