مجله محیط زیست و توسعه فرابخشی
Journal homepage: https://www.envjournal.ir

ارزیابی نقش کاربری اراضی در عرضه خدمت اکوسیستمی نگهداشت خاک (مطالعه موردی: استان سمنان)

اردوان زرندیان[1*]، فاطمه محمدیاری [2]، رویا موسی‌زاده[3]، مجید رمضانی مهریان[4]، جلیل بادام فیروز[5]

۱- دانشیار گروه ارزیابی و مخاطرات محیط‌زیستی، پژوهشکده محیط‌زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط‌زیست، تهران، ایران
۲- استادیار گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران
۳- استادیار گروه اقتصاد محیط‌زیست، پژوهشکده محیط‌زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط‌زیست، تهران، ایران
۴- استادیار گروه مطالعات محیطی، پژوهشکده تحقیق و توسعه علوم انسانی (سمت)، تهران، ایران
۵- دانشیار گروه اقتصاد محیط‌زیست، پژوهشکده محیط‌زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط‌زیست، تهران، ایران

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۲
پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۵

کلمات کلیدی:
خدمات اکوسیستم
نگهداشت خاک
کاربری اراضی
سمنان

چکیده

مقدمه: منابع خاک نقش مهمی در تأمین کالاهای مادی ضروری برای انسان و سایر موجودات دارد و خدمات اکوسیستمی متنوعی را به انسان ارائه می‌دهد. همچنین خاک برای مدت طولانی به عنوان یک زیرساخت سبز مهم برای حفظ کشاورزی و جنگلداری به عنوان پایه رشد گیاهان عمل کرده است. علاوه بر این، خاک می‌تواند خدمات مختلف اکوسیستمی مانند بی‌حرکت کردن آلاینده‌ها، کنترل آب باران، ترسیب کربن و تأمین زیستگاه را ارائه دهد که به صورت مستقیم برای انسان سودمند است. خدمات ارائه شده توسط اکوسیستم‌ها به انسان را خدمات اکوسیستمی می‌گویند. نگهداشت خاک به پتانسیل اکوسیستم‌ها در کنترل فرسایش خاک و حفظ خاک می‌گویند که در طبقه خدمات تنظیمی قرار دارد.

مواد و روش‌ها: کمی‌سازی نگهداشت و فرسایش خاک در نرم‌افزار InVEST با مدل InVEST Sediment Delivery Ratio (SDR) ارزیابی شد. ورودی‌های مورد نیاز برای اجرای این مدل شامل: نقشه کاربری اراضی، فاکتور K (فرسایش‌پذیری خاک)، فاکتور R (فرسایندگی باران)، فاکتور C (نوع کاربری اراضی و پوشش)، فاکتور P (اقدامات حفاظتی)، DEM (مدل رقومی ارتفاع) و جدول بیوفیزیکی است.

نتایج: بر اساس نتایج، پتانسیل اتلاف خاک و انتقال رسوب در محدوده مطالعاتی به ترتیب از صفر تا ۲۴۸/۱۸ تن در پیکسل و صفر تا ۵۷/۲۵ تن در پیکسل متغیر است. نگهداشت خاک نیز در طیفی از صفر تا ۱۲۴/۸۵ تن در پیکسل در محدوده مورد مطالعه برآورد شده است. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار اتلاف خاک در زیرحوضه ۱۴ با ۱۳۷۱۶۴۰۰ تن در سال و کمترین میزان اتلاف خاک در زیرحوضه ۴ با ۴۱۶۵۹۴ تن در سال رخ می‌دهد. همچنین بیشترین مقدار خدمت اکوسیستمی نگهداشت خاک در زیرحوضه ۱۳ با ۴۳۰۴۴۱۴ تن در سال و کمترین مقدار آن در زیرحوضه ۴ با ۵۶۴۵ تن در هکتار در سال تدارک می‌شود.

بحث: جنگل‌های متراکم استان سمنان در منتهی‌الیه شمالی استان، با بیش از ۳۶ تن در هکتار بیشترین

* پست الکترونیکی نویسنده مسؤول: azarandian@gmail.com

خدمت اکوسیستمی نگهداشت خاک و محدوده‌های کویری، دریاچه نمک و شوره‌زار کمترین میزان خدمت نگهداشت خاک را فراهم می‌نمایند. بر همین اساس، مجموعه جنگل‌های استان شامل جنگل‌های متراکم، نیمه متراکم، کم‌تراکم و تنک در مجموع ۴۲۶۹۱۶۶ تن در سال موجب نگهداشت خاک در استان می‌شوند. همچنین مراتع خوب، سالانه موجب نگهداشت بیش از ۱۸ تن در هکتار از خاک استان می‌شوند و مجموع کارکرد نگهداشت خاک توسط انواع مراتع استان شامل مراتع خوب، متوسط و فقیر به میزان ۹۳۹۵۱۶۰ تن در سال است که با توجه به مساحت حدود ۱۸ برابری مراتع نسبت به جنگل‌ها، می‌توان گفت بیشترین خدمت اکوسیستمی نگهداشت خاک به لحاظ توزیع جغرافیایی این خدمت در استان توسط مراتع تدارک می‌شود؛ هرچند که محدوده‌های جنگلی دارای توان بیشتری برای حفاظت از خاک هستند. کاربری‌های باغ و مزارع دیم بعد از پوشش‌های طبیعی جنگلی و مرتعی، به ترتیب با تدارک نگهداشت خاک به میزان ۷/۸۶ و ۲/۱۵ تن در هکتار در رتبه‌های بعدی قراردادند. اما سایر کاربری‌های انسان‌ساخت مانند محدوده‌های شهری چون معمولاً با حذف یا کاهش پوشش گیاهی همراه هستند، موجب زایل شدن این خدمت اکوسیستمی می‌شوند. با توجه به استقرار نواحی شهری در نیمه شمالی محدوده مورد مطالعه و اثر منفی آنها بر این خدمت اکوسیستمی، اهمیت حفاظت از پوشش‌های جنگلی و مرتعی استان برای حفظ استمرار تدارک خدمت نگهداشت خاک یک امر حیاتی محسوب می‌شود.

مقدمه

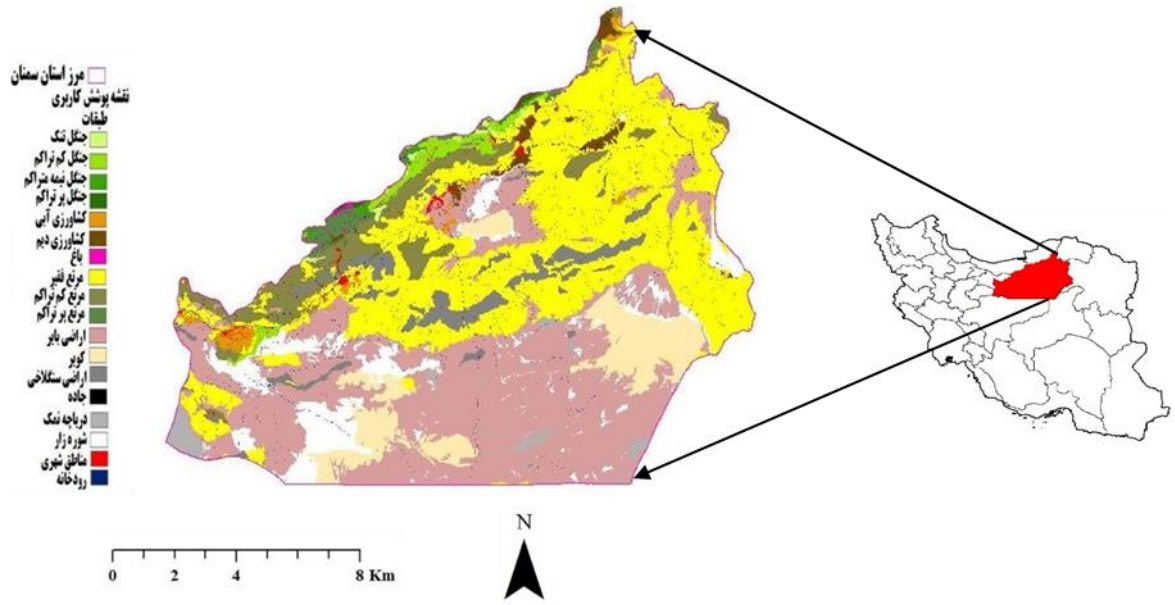
منابع خاک نقش مهمی در تأمین کالاهای مادی ضروری برای انسان و سایر موجودات دارد و خدمات اکوسیستمی متنوعی را به انسان ارائه می‌دهد (Mengist *et al*., 2023). خاک توانایی کاهش احتمال وقوع سیل، فراهم کردن زیستگاهی مطلوب برای میکروارگانیسم‌هایی مانند باکتری‌ها، قارچ‌ها و بی‌مهرگان و نقش اساسی در حفظ سلامت خاک و ارتقاء رشد ریشه گیاه، ساختار خاک و ظرفیت نگهداری آب در خاک دارد (Barrios *et al*., 2018). همچنین خاک برای مدت طولانی به عنوان یک زیرساخت سبز مهم برای حفظ کشاورزی و جنگلداری به عنوان پایه رشد گیاهان عمل کرده است. علاوه بر این، خاک می‌تواند خدمات مختلف اکوسیستمی مانند بی‌حرکت کردن آلاینده‌ها، کنترل آب باران، ترسیب کربن و تأمین زیستگاه را ارائه دهد که به صورت مستقیم برای انسان سودمند است (Hyun *et al*., 2022). اتخاذ چارچوب خدمات اکوسیستم در علم خاک نتیجه مستقیم انتشار گزارش ارزیابی اکوسیستم هزاره در سال ۲۰۰۵ بود، که خاک را نوعی سرمایه طبیعی و یک خدمت اکوسیستمی معرفی کرد (Adhikari & Hartemink, 2016). در حال حاضر به خوبی شناخته شده است که خاک‌ها به ارائه خدمات اکوسیستمی به جامعه کمک می‌کنند (Cadel *et al*., 2023). خدمات ارائه شده توسط اکوسیستم‌ها به انسان را خدمات اکوسیستمی می‌گویند (Bouma, 2023) که در چهار طبقه تأمینی، تنظیمی، فرهنگی و حمایتی قرار گرفته‌اند (MEA, 2005). به پتانسیل اکوسیستم‌ها در کنترل فرسایش خاک و حفظ خاک، نگهداشت خاک می‌گویند که در طبقه خدمات تنظیمی قرار دارد (Srichaichana *et al*., 2020). علی‌رغم اهمیت اکوسیستم‌های خاک در ارائه خدمات حیاتی، این اکوسیستم‌ها به طور فزاینده‌ای توسط تشدید و گسترش فعالیت‌های انسانی تحت فشار قرار می‌گیرند که منجر به پیامدهای بالقوه مضر برای ارائه خدمات اکوسیستم مربوط به آنها می‌شود (Li *et al*., 2023). فعالیت‌های انسانی که منابع زمین را با تغییر نوع کاربری، ساختارها و الگوها مختل می‌کنند، عوامل غالب تغییر در فرسایش خاک هستند (Li *et al*., 2022). فرسایش خاک و در نتیجه تخریب منابع خاک از مشکلات جدی اکولوژیکی و محیط‌زیستی پیش روی جهان است که امروزه توسعه پایدار جامعه بشری را محدود می‌کند (Qiao *et al*., 2023). کاربری زمین مجموعه‌ای از پدیده‌های طبیعی و فرآیندهای اکولوژیکی مانند نوع پوشش گیاهی سطحی، میکروتوپوگرافی، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک و میزان رواناب را تغییر می‌دهد که بر پویایی فرسایش خاک و سیستم مقاومت در برابر فرسایش تأثیر می‌گذارد و در نهایت باعث تغییر در حالت و شدت فرسایش خاک و

تأثیرات مهمی بر فرسایش خاک در مقیاس‌های مختلف دارد (Borrelli *et al*., 2017). مدل نسبت تحویل رسوب InVEST- SDR که بر اساس مدل RUSLE توسعه یافته است، به ابزاری مهم برای ارزیابی فرسایش خاک، صادرات رسوب و حفظ خاک در مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف تبدیل شده است و به طور گسترده در سطح بین‌المللی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Marques *et al*., 2021). از جمله مطالعات داخلی که از این مدل برای کمی‌سازی نگهداشت و فرسایش خاک استفاده شده است می‌توان به مطالعات Ahmadi Mirghaed و همکاران (۲۰۲۳) در حوضه رودخانه شور، Tavakoli و Mohammadyari (۲۰۲۳) در حوضه آبخیز سد ایلام و Salarvand و همکاران (۲۰۱۹) در استان لرستان اشاره کرد. همچنین ارزیابی فرسایش فعلی و آتی خاک تحت تغییر کاربری بر اساس مدل‌های InVEST- SDR و FLUSدر حوضه رودخانه Yihe در شمال چین (Qiao *et al*., 2023)، مدل‌سازی خدمت اکوسیستمی نگهداشت خاک در حوضه آبریز میچل در شمال استرالیا (McMahon *et al*., 2022) و پویایی مکانی- زمانی از دست دادن خاک و صادرات رسوب در حوضه آبریز رودخانه بیلات در دره ریفت مرکزی اتیوپی (Tamire *et al*., 2022) از نمونه مطالعات خارجی هستند. بررسی خدمات اکوسیستم مربوط به خاک و شناخت اثرات مکانی- زمانی استفاده از زمین و تغییرات پوشش زمین برای تدوین استراتژی‌های حفاظت ضروری است. بدین منظور مطالعه حاضر با هدف بررسی و نقشه‌برداری نوسانات مکانی در نگهداشت خاک و حفظ رسوب، فرسایش خاک و نقش انواع کاربری اراضی بر خدمت اکوسیستمی نگهداشت خاک با ترکیب مدل‌های InVEST- SDR و معادله جهانی تلفات خاک (RUSLE) در استان سمنان انجام شد. این مدل دارای مزایای منحصر به فردی برای بررسی اثرات فرسایش خاک بر کاربری زمین به دلیل ساختار مدل متمایز آن است (Zhou *et al*., 2019). تا به امروز، این مدل به طور کامل در مناطقی در سراسر جهان با اقلیم‌ها، توپوگرافی‌ها، انواع خاک و انواع کاربری زمین کالیبره و تأیید شده است (Aneseyee *et al*., 2020; Gashaw *et al*., 2021).

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان سمنان در موقعیت جغرافیایی ۴۵ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۶ دقیقه طول شرقی و ۱۰ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۱۱ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی با مساحت ۹۷۱۹۲۶۸/۵۵ هکتار در مرکز ایران واقع شده است. تنوع آب‌وهوایی استان سمنان به علت هم‌جواری با کویر مرکزی ایران و دامنه‌های جنوبی البرز خیلی زیاد است و با کاهش ارتفاع از شمال به جنوب استان، دما افزایش و بارش کاهش می‌یابد. حداکثر مطلق دمای استان ۴۸/۶ درجه سانتی‌گراد و حداقل دمای مطلق ۲۶- درجه سانتی‌گراد است. همچنین میانگین بارندگی و تبخیر و تعرق به ترتیب ۱۳۵ و ۴۷/۴ میلی‌متر است. خاک غالب منطقه از نوع شنی لومی، رسی و لومی است. اراضی بایر با مساحت ۳۲۶۵۳۳۰/۶۶ هکتار پوشش غالب استان را تشکیل می‌دهد. از طرف دیگر کاربری جنگل پرتراکم (۱۱۹۸۸/۸۹ هکتار) کمترین مساحت منطقه را به خود اختصاص داده است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی

کمی‌سازی نگهداشت و فرسایش خاک: کمی‌سازی نگهداشت و فرسایش خاک در نرم‌افزار InVEST انجام شد. این نرم‌افزار توسط پروژه سرمایه طبیعی، به طور مشترک با دانشگاه استنفورد، صندوق جهانی طبیعت و سازمان حفاظت از طبیعت برای ابداع تصمیمات آگاهانه در مورد مدیریت منابع طبیعی طراحی شده است (Zarandian *et al.*, 2023). کمی‌سازی نگهداشت و فرسایش خاک با مدل InVEST Sediment Delivery Ratio (SDR) ارزیابی شد. در این مدل، معادله جهانی تلفات خاک (RUSLE) (رابطه ۱) برای محاسبه مقدار تلفات خاک اعمال شد (Mohammadyari *et al.*, 2023).

$$RUSLE = R_i.K_i.LS_i.C_i.P_i \qquad (۱)$$

که R نشان‌دهنده فرسایش بارندگی (MJ mm ha–1 h–1 yr–1)، K فرسایش‌پذیری خاک (Mg ha hr ha-1 MJ-1 mm-1)، LS نشان‌دهنده گرادیان شیب، C شاخص مدیریت پوشش گیاهی و P عامل اقدامات حمایتی است. توضیحات بیشتر درباره داده‌های مورد نیاز برای اجرای این مدل و نحوه تهیه آن‌ها در ادامه تشریح شده است.

نقشه کاربری اراضی: در پژوهش حاضر به منظور تهیه نقشه کاربری اراضی، تصویر ماهواره سنتینل ۲ از سایت LAND VIEWER گرفته شد. با توجه اینکه منطقه مورد مطالعه به دلیل وسعت زیاد در ۴ فریم قرار گرفته بود، با دستور موزاییک فریم‌ها با هم ادغام شدند و یک تصویر واحد از منطقه برای پیش‌پردازش و پردازش آماده شد. پس از اعمال پیش پردازش‌های لازم، طبقه‌بندی تصویر با الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال در ۱۸ کلاس شامل: ۱: جنگل تنک؛ ۲: جنگل کم‌تراکم؛ ۳: جنگل نیمه متراکم؛ ۴: جنگل پرتراکم؛ ۵: کشاورزی آبی؛ ۶: کشاورزی دیم؛ ۷: باغ؛ ۸: مرتع فقیر؛ ۹: مرتع کم‌تراکم؛ ۱۰: مرتع پرتراکم؛ ۱۱: اراضی بایر؛ ۱۲: کویر؛ ۱۳: اراضی سنگلاخی؛ ۱۴: جاده؛ ۱۵: دریاچه نمک؛ ۱۶: شوره‌زار؛ ۱۷: مناطق شهری و ۱۸: رودخانه صورت گرفت. صحت نقشه کاربری اراضی با ضریب کاپا ارزیابی شد که مقدار این ضریب ۹۱ درصد به دست آمد که حاکی از قابل قبول بودن صحت نقشه تهیه شده است.

فاکتور K (فرسایش‌پذیری خاک): این فاکتور با توجه به میزان نفوذ، بافت خاک، درصد مواد آلی و ساختمان خاک بر اساس مدل MPSIAC (رابطه ۲) برای زیرحوضه‌های آبخیز منطقه تعیین شد.

$$Y = 16.67\ X \qquad (۲)$$

که در آن Y عامل فرسایش‌پذیری خاک و X: فاکتور فرسایش‌پذیری خاک به دست آمده از رابطه ۱ است. اطلاعات بافت و ماده آلی خاک منطقه با توجه به اطلاعات پایگاه جهانی داده خاک و جدول راهنمای مدل InVEST SDR (Sharp *et al.*, 2020) تعیین شد (جدول ۱).

جدول ۱- برآورد فاکتور K

نوع بافت خاک	میزان فاکتور K بر اساس درصد ماده آلی		
	۰/۲<	۰/۲ ≥	نبود اطلاعات
شنی	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۲
شنی- لومی	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۱۴
رسی- لومی	۰/۲۸	۰/۳۳	۰/۳
سیلتی	۰/۳۷	۰/۴۱	۰/۳۸
سیلتی- لومی	۰/۳۷	۰/۴۱	۰/۳۸
رسی	۰/۲۱	۰/۲۴	۰/۲۲
شنی-رسی	۰/۲	۰/۲	۰/۲
سیلتی-رسی	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۲۶
لومی	۰/۲۶	۰/۳۴	۰/۳
لومی- شنی	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۴
شنی-رسی-لومی	۰/۲	۰/۲	۰/۲
سیلتی- رسی- لومی	۰/۳	۰/۳۵	۰/۳۲

فاکتور R (فرسایندگی باران): این فاکتور با توجه به رابطه (۳) برآورد شد که در آن E به انرژی جنبشی باران و I30 به حداکثر شدت بارش ۳۰ دقیقه‌ای اشاره دارد (Tavakoli & Mohammadyari, 2023).

$$R=E.130=(210+\log_{10}130) * 130 \quad (۳)$$

با توجه به این‌که اطلاعات حداکثر شدت بارش ۳۰ دقیقه‌ای در منطقه در دسترس نبود، فاکتورR با استفاده از شاخص فورنیه (رابطه ۴) بر اساس بارش ماهانه و سالانه ایستگاه‌های هواشناسی محاسبه شد (رابطه‌های ۵ و ۶).

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{12} pi^2}{\sum_{i=1}^{12} pi} \quad (۴)$$

که p متوسط بارندگی سالیانه و P_i متوسط بارندگی هر دو بر حسب میلی‌متر در ماه i است.

$$R\text{-factor}=(0.07397*F^{1.847}) \quad F<55mm \quad (۵)$$

$$R\text{-factor}=(95.77- 6.081*F+0.447*F^2) \quad F>55mm \quad (۶)$$

فاکتور C (نوع کاربری اراضی و پوشش): با توجه به مرور منابع، این فاکتور با استفاده از شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی (NDVI)[1] برآورد شد (رابطه ۷).

$$C=(1-NDVI/2) \quad (۷)$$

فاکتور P (اقدامات حفاظتی): به منظور تعیین این فاکتور ابتدا نقشه پوشش زمین طبقه‌بندی مجدد شد (Getu *et al.*, 2022). سپس بر اساس مرور وسیع منابع (Asadolahi *et al.*, 2015; Getu *et al.*, 2022; Sadat *et al.*, 2023) مقادیر مربوط به هر کاربری اختصاص داده شد (جدول ۲). دامنه عددی این فاکتور هنگامی که اقدامات کنترل فرسایش به صورت مناسب اجرا شود، نزدیک به صفر است و برای خاک‌های بدون عملیات حفاظتی عدد ۱ لحاظ می‌شود (Mazigh *et al.*, 2022).

DEM (مدل رقومی ارتفاع): در پژوهش حاضر، لایه ارتفاع ۱۰ متری مورد استفاده قرار گرفت.

جدول بیوفیزیکی: این جدول شامل سه ستون ضریب اقدامات مدیریتی، ضریب مدیریت پوشش و کد کاربری زمین برای هر کدام از کلاس‌های نقشه کاربری اراضی است که با فرمت CVS تهیه می‌شود.

[1]. Normalized Difference Vegetation Index

نتایج

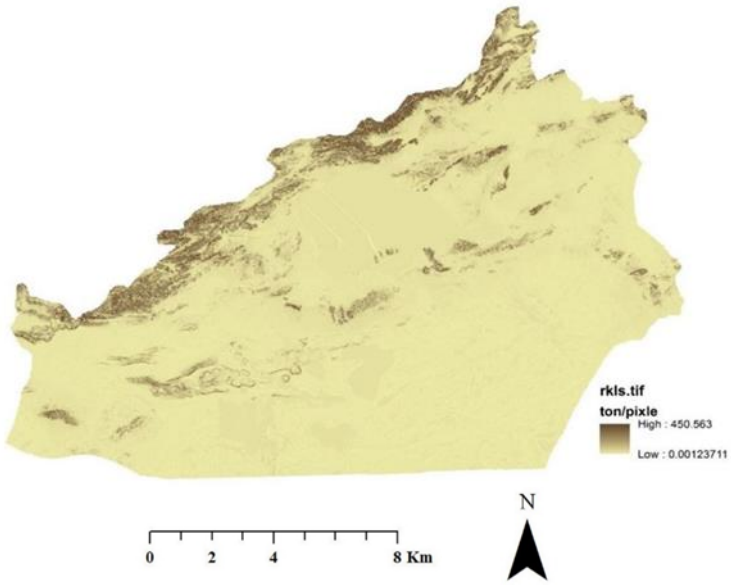
پس از اجرای مدل SDR در محدوده مورد مطالعه، خروجی‌های ذیل حاصل شد که ضمن شرح هر خروجی، نقشه آن در این قسمت نمایش داده شده است:

پتانسیل کل اتلاف خاک (rkls): پتانسیل کل اتلاف خاک در هر پیکسل در پوشش زمین اصلی بدون اعمال فاکتورهای C یا P از معادله RKLS، معادل اتلاف خاک برای خاک لخت بر حسب تن/ پیکسل به دست آمد (شکل ۲).

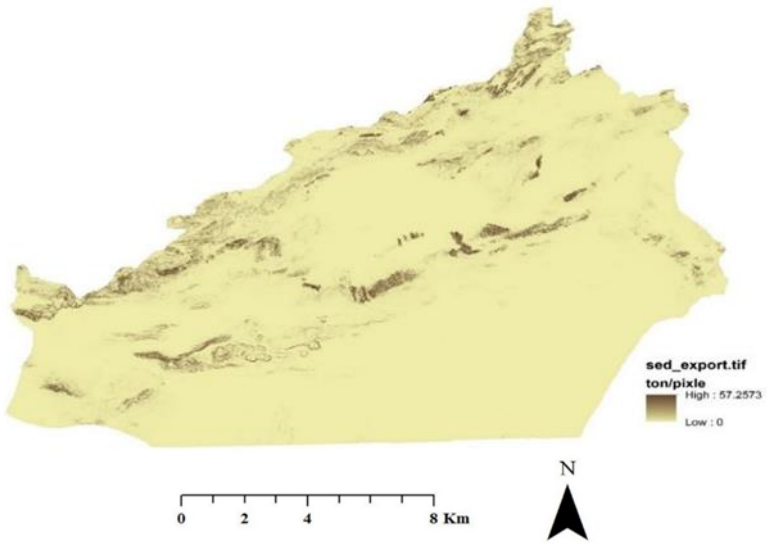
مقدار کل رسوب صادرشده (export): در شکل ۳ مقدار کل رسوب صادرشده از هر پیکسلی که به جریان می‌رسد بر حسب تن/ پیکسل نشان داده شده است.

کل پتانسیل اتلاف خاک (usle): کل پتانسیل اتلاف خاک در هر پیکسل در پوشش اصلی زمین که در معادله USLE بر حسب تن/ پیکسل محاسبه شده است (شکل ۴).

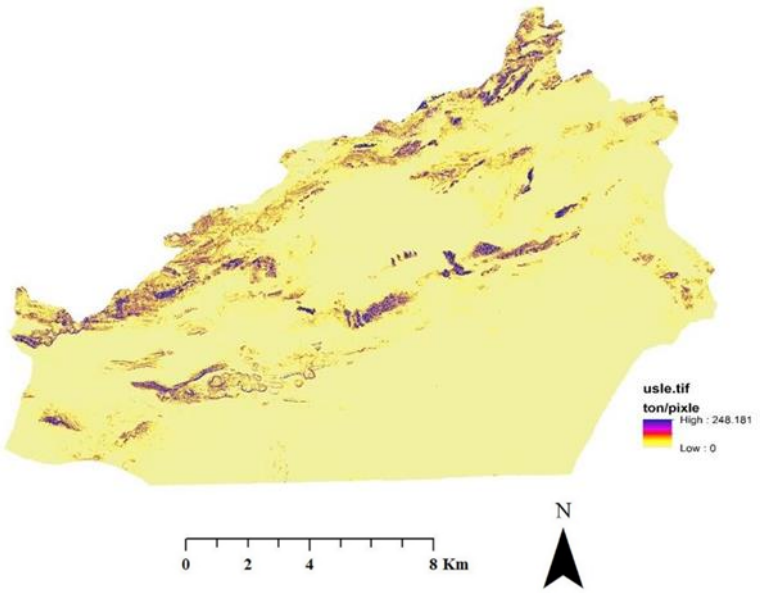
نگهداشت خاک (sed-retention): نگهداشت یا تثبیت خاک نیز که به‌عنوان یک خدمت اکوسیستمی قابل ارزش‌گذاری اقتصادی است، در شکل ۵ ارائه شده است.



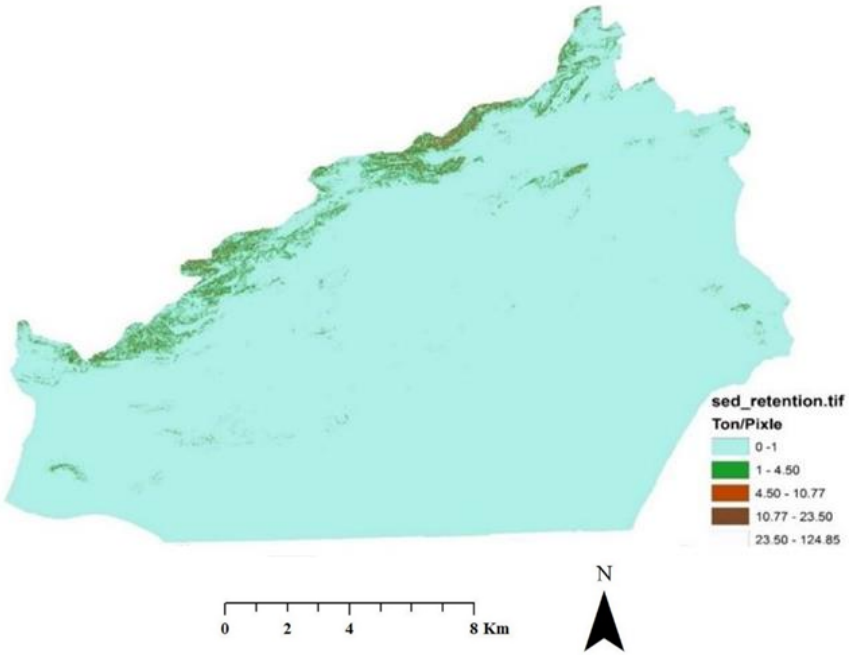
شکل ۲- پتانسیل کل اتلاف خاک در هر پیکسل بر حسب تن/ پیکسل



شکل ۳- مقدار کل رسوب صادرشده بر حسب تن/ پیکسل



شکل ۴- کل پتانسیل اتلاف خاک در هر پیکسل بر حسب تن/ پیکسل



شکل ۵- نگهداشت خاک برحسب تن در پیکسل

نتایج نهایی مدل SDR: نتایج اجرای مدل به همراه جدول بیوفیزیکی برای زیرحوضه‌های آبخیز شامل کل اتلاف سالانه خاک، صدور، تثبیت و انباشت رسوب بر حسب تن در جدول ۲ ارائه شده است.

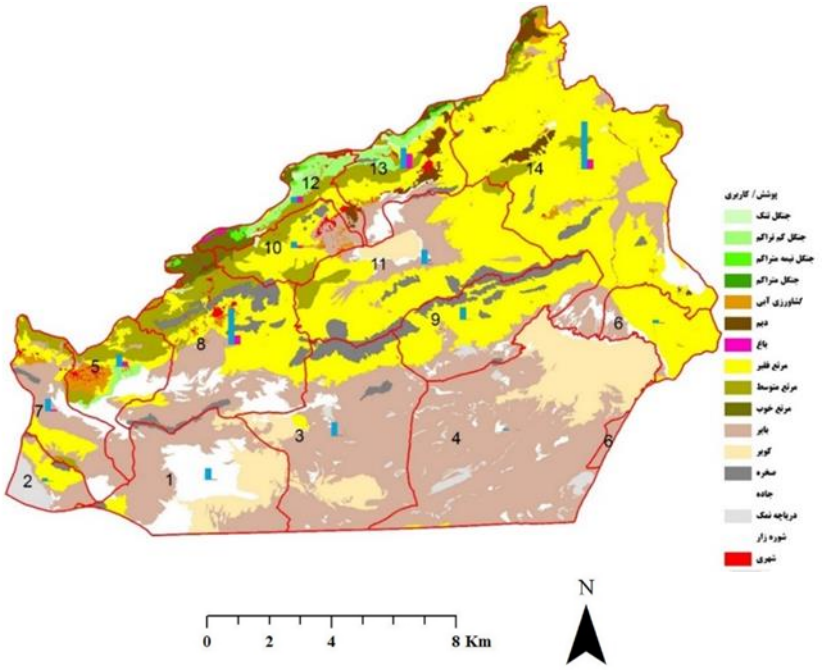
به‌منظور درک ملموس‌تر نقش کاربری اراضی در تدارک انواع کالاها و خدمات اکوسیستمی، خروجی‌های مدل با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS مورد پردازش قرار گرفت. جدول ۳ مقدار خدمت اکوسیستمی نگهداشت خاک بر اساس انواع کاربری زمین در محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد. همچنین نمایش اثر پوشش کاربری در زیرحوضه‌های آبخیز بر تدارک خدمت اکوسیستمی نگهداشت خاک در شکل ۶ ارائه شده است.

جدول۲- نتایج مدلInVEST SDR

زیرحوضه	مساحت زیرحوضه (هکتار)	پتانسیل کل اتلاف خاک (تن)	انتقال رسوب (تن)	رسوب‌گذاری (تن)	نگهداشت خاک (تن در زیرحوضه)	نگهداشت خاک (تن/ هکتار)
۱	۷۵۶۰۱۵/۸	۳۲۷۹۶۳۵/۴	۲۶۵۷۶۵/۵	۲۹۶۰۰۱۳/۹	۱۵۱۰۱۴/۶	۱/۹۹
۲	۱۷۳۴۴۴/۹	۹۵۸۶۷۵/۱	۸۴۱۱۱/۹	۸۴۳۱۵۶/۷	۶۲۱۳۳/۷	۳/۵۸
۳	۱۰۱۷۶۶۱/۳	۳۸۸۳۰۵۸/۷	۳۵۴۵۵/۱	۳۵۰۴۶۸۸/۱	۷۵۸۷۲/۲	۷/۴۵
۴	۱۵۷۸۷۹۴/۴	۴۱۶۵۹۴	۹۸۴۵/۶	۳۸۱۵۴۰/۸	۵۶۴۵	۳/۵۷
۵	۳۷۹۶۱۰	۳۵۹۴۰۸۸/۲	۲۹۳۰۴۳/۱	۳۰۷۱۱۴۲/۹	۱۴۲۰۲۷۸/۸	۳/۷۴
۶	۳۰۳۱۱۲/۹	۹۰۴۸۵۵/۵	۵۷۵۸۷	۸۳۱۹۰۳/۶	۱۲۷۴۰۲/۵	۴/۲
۷	۳۸۱۸۲۰/۳	۳۶۸۱۶۱۶/۳	۲۸۷۳۷۹/۱	۳۲۰۵۸۸۸/۹	۵۵۸۴۳۳/۸	۱/۴۶
۸	۹۴۴۲۸۲/۷	۱۰۲۵۵۵۹۲/۳	۸۷۰۱۳۷/۱	۹۱۴۰۶۰۸/۶	۲۵۳۰۱۳۹/۲	۲/۶۷
۹	۵۷۳۸۷۰/۶	۳۵۱۵۷۰۸/۲	۳۴۹۰۶۰	۳۱۵۵۶۸۵/۵	۶۵۳۴۲	۱/۱۳
۱۰	۲۹۵۲۵۰/۲	۱۷۷۰۹۵۱/۱	۱۱۵۶۴۶	۱۶۴۹۰۲۵/۷	۷۱۳۵۷۹/۴	۲/۴۱
۱۱	۹۵۳۱۴۷/۷	۴۰۹۸۵۵۷/۳	۳۹۰۱۰۰/۵	۳۶۸۴۱۶۴/۲	۱۷۸۵۹۸/۷	۱/۸۷
۱۲	۲۲۰۹۰۱/۴	۱۵۴۶۰۸۰	۹۷۷۲۴/۲	۱۳۵۰۹۵۲/۷	۱۷۱۲۹۶۳	۷/۷۵
۱۳	۴۰۶۸۷۲/۳	۶۰۳۴۹۱۶/۸	۴۴۳۵۹۷/۹	۵۱۶۵۶۸۱/۱	۴۳۰۴۴۱۴/۶	۱/۰۵
۱۴	۱۷۶۴۲۹۸/۵	۱۳۷۱۶۴۰۰	۱۰۱۳۵۷۵	۱۱۹۷۳۷۵۵/۹	۲۷۰۱۴۴۵	۱/۵۳

جدول ۳- مقدار خدمت اکوسیستمی نگهداشت خاک بر اساس انواع کاربری زمین

نام کاربری	مساحت (هکتار)	خدمت نگهداشت خاک (تن در سال)	خدمت نگه داشت خاک (تن بر هکتار)
جنگل متراکم	۱۱۹۸۸/۸۹	۴۴۰۶۳۷/۸۱	۳۶/۷۵
جنگل نیمه‌متراکم	۲۴۹۴۸/۵	۶۸۳۶۷۸/۶۲	۲۷/۴
جنگل کم‌تراکم	۱۴۷۶۲۴/۴۳	۲۴۷۱۴۹۹/۲۵	۱۶/۷۴
جنگل تنک	۲۸۴۳۰/۸۳	۶۷۳۳۵۰/۵	۲۳/۶۸
کشاورزی آبی	۱۲۰۵۴۲/۶۷	۴۶۵۶۹/۵۳	۰/۳۹
کشاورزی دیم	۱۰۰۵۵۸/۲۹	۲۱۶۲۱۵/۳۱	۲/۱۵
باغ	۱۲۷۹۷/۴۸	۱۰۰۶۳۶/۴۲	۷/۸۶
شهری	۴۲۸۳۷/۲۸	۷۸۹۶/۷۶	۰/۱۸
مرتع خوب	۱۰۱۹۰۲/۸۲	۱۸۶۳۵۷۴/۳۷	۱۸/۲۹
مرتع متوسط	۵۶۱۴۶۵/۶	۵۰۲۷۱۹۲	۸/۹۵
مرتع فقیر	۳۲۵۴۴۶۹/۴۹	۲۵۰۴۳۹۴	۰/۷۷
بایر	۳۲۶۵۳۳۰/۶۶	۴۴۶۱۶۲/۵۹	۰/۱۴
کویر	۷۵۳۱۷۱/۷۸	۱۵۷۸/۰۲	۰
صخره	۴۱۱۸۳۰/۴۶	۵۹۷۲۳/۹	۰/۱۵
دریاچه نمک	۱۲۲۲۰۸/۳	۹/۹۸	۰
شوره‌زار	۶۸۲۲۹۳/۰۳	۶۶۳/۹۷	۰
شبکه جاده	۲۸۹۲۵/۴۳	۲۸۱۱۶/۸۱	۰/۹۷
رودخانه	۴۷۹۶۴/۰۴	۳۵۲۶۴/۴۷	۰/۷۴



شکل ۶- اثر پوشش کاربری در زیرحوضه‌های آبخیز بر تدارک خدمت اکوسیستمی نگهداشت خاک

بحث

با اجرای مدل SDR در محدوده مورد مطالعه، چهار خروجی مهم شامل پتانسیل اتلاف خاک (بر اساس معادله جهانی USLE[۲])، انتقال رسوب[۳]، رسوب‌گذاری (انباشت رسوب)[۴] و نگهداشت (تثبیت)[۵]رسوب حاصل شد. پتانسیل اتلاف خاک در محدوده مطالعاتی از صفر تا ۲۴۸/۱۸ تن در پیکسل متغیر است (شکل ۴). همچنین انتقال رسوب از صفر تا ۵۷/۲۵ تن در پیکسل (شکل ۳) متغیر است. نگهداشت خاک نیز نشان‌دهنده کمیت فرسایش اجتناب شده و جلوگیری از فرسایش خاک به دلیل نقش و کارکرد اکولوژیکی انواع پوشش/ کاربری طبیعی به‌ویژه محدوده‌های جنگلی و مرتعی است، که بر اساس خروجی مدل (شکل ۵) در طیفی از صفر تا ۱۲۴/۸۵ تن در پیکسل در محدوده مورد مطالعه برآورد شده است. بر اساس اطلاعات مندرج در جدول ۱، بیشترین مقدار اتلاف خاک در زیرحوضه ۱۴ با ۱۳۷۱۶۴۰۰ تن در سال و کمترین میزان اتلاف خاک در زیرحوضه ۴ با ۴۱۶۵۹۴ تن در سال رخ می‌دهد. همچنین بیشترین مقدار خدمت اکوسیستمی نگهداشت خاک در زیرحوضه ۱۳ با ۴۳۰۴۴۱۴ تن در سال و کمترین مقدار آن در زیرحوضه ۴ با ۵۶۴۵ تن در هکتار در سال تدارک می‌شود. همچنین خدمت نگهداشت خاک در محدوده مطالعاتی در طیفی از ۱ تا حدود ۸ تن در هکتار و به طور میانگین ۲/۲۵ تن در هکتار برآورد شده است. بر اساس اطلاعات جدول ۳ جنگل‌های متراکم استان سمنان در منتهی‌الیه شمالی استان، با بیش از ۳۶ تن در هکتار بیشترین خدمت اکوسیستمی نگهداشت خاک و محدوده‌های کویری، دریاچه نمک و شوره‌زار کمترین میزان خدمت نگهداشت خاک را فراهم می‌نمایند. بر همین اساس، مجموعه جنگل‌های استان شامل جنگل‌های متراکم، نیمه متراکم، کم‌تراکم و تنک در مجموع۴۲۶۹۱۶۶ تن در سال موجب نگهداشت خاک در استان می‌شوند. همچنین مراتع خوب استان سالانه موجب نگهداشت بیش از ۱۸ تن در هکتار از خاک استان می‌شوند و مجموع کارکرد نگهداشت خاک توسط انواع مراتع استان شامل مراتع خوب، متوسط و فقیر به میزان ۹۳۹۵۱۶۰ تن در سال است که با توجه به مساحت حدود ۱۸ برابری مراتع نسبت به جنگل‌ها، می‌توان گفت بیشترین خدمت اکوسیستمی نگهداشت خاک به لحاظ توزیع جغرافیایی این خدمت در استان توسط مراتع تدارک می‌شود؛ هرچند که محدوده‌های جنگلی دارای توان بیشتری برای حفاظت از خاک هستند. کاربری‌های

[2]. Universal Soil Loss Equation
[3]. Sediment Export
[4]. Sediment Deposition
[5]. Sediment Retention

باغ و مزارع دیم بعد از پوشش‌های طبیعی جنگلی و مرتعی، به ترتیب با تدارک نگهداشت خاک به میزان ۷/۸۶ و ۲/۱۵ تن در هکتار در رتبه‌های بعدی قراردادند. اما سایر کاربری‌های انسان‌ساخت مانند محدوده‌های شهری چون معمولاً با حذف یا کاهش پوشش گیاهی همراه هستند، موجب زایل شدن این خدمت اکوسیستمی می‌شوند. چنانچه در شکل ۳ مشاهده می‌شود، زیرحوضه شماره ۱۲ به دلیل برخورداری از بیشترین سطح پوشش‌های طبیعی جنگلی و مرتعی دارای بیشترین توان نگهداشت خاک در مقایسه با اتلاف خاک آن است. به‌طورکلی توان نگهداشت خاک در زیرحوضه‌های شمالی استان از جمله زیرحوضه‌های شماره ۵، ۸، ۱۰، ۱۳و ۱۴ به دلیل همین ویژگی به‌مراتب بارزتر از زیرحوضه‌های جنوبی مانند زیرحوضه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ است که سطح آن‌ها با اراضی کویری و بایر فاقد پوشش گیاهی پوشیده شده است. در مجموع نتایج نشان داد که پوشش گیاهی و الگوهای کاربری اراضی نقش مهم در حفظ نگهداشت خاک دارند که با یافته‌های مطالعات قبلی (Kretz *et al.*, 2021; Sun *et al.*, 2022; Tavakoli & Mohammadyari, 2022; Yang *et al.*, 2023; Mohammadyari *et al.*, 2023) مطابقت دارد. مجموع ۳۵۲ هزار هکتار پوشش جنگلی محدود استان که شامل جنگل‌های انبوه، نیمه انبوه، تنک و دست‌کاشت است در نیمه شمالی استان قرار گرفته که دارای همپوشانی با محدوده‌های توسعه انواع زیرساخت‌های انسانی مانند جاده، سکونتگاه شهری و روستایی نیز هست. این محدوده‌های جنگلی به دلیل واقع‌شدن در ارتفاعات و طول زیاد دوره یخبندان از دوره رویش سالانه کوتاهی برخوردارند و ازاین‌رو به‌شدت در مقابل فشارهای انسانی ناشی از تغییر کاربری، حساس و تخریب‌پذیرند. اگرچه جنگل‌های استان به دلیل حفاظتی بودن قابلیت بهره‌برداری ندارند، اما تعارضاتی چون بهره‌برداری غیرقانونی (قطع غیرمجاز درختان توسط قاچاقچیان چوب)، تخریب رویشگاه‌های جنگلی برای استخراج معدن، آتش‌سوزی و جاده‌سازی برای توسعه شبکه ارتباطی به‌ویژه برای ایجاد دسترسی برای جوامع شهری و روستایی ساکن در این محدوده‌ها وجود دارد که این عوامل باعث کاهش تدارک خدمات اکوسیستمی آن‌ها به‌ویژه نگهداشت خاک در منطقه می‌شود. در این راستا، با توجه به استقرار نواحی شهری در نیمه شمالی محدوده موردمطالعه و اثر منفی آن‌ها بر این خدمت اکوسیستمی، اهمیت حفاظت از پوشش‌های جنگلی و مرتعی استان برای حفظ استمرار تدارک خدمت نگهداشت خاک یک امر حیاتی محسوب می‌شود.

منابع

1. **Adhikari, K. and Hartemink, A.E., 2016.** Linking soils to ecosystem services—A global review. Geoderma, 262, pp.101-111.
2. **Ahmadi Mirghaed, F.A. and Souri, B., 2023.** Contribution of land use, soil properties and topographic features for providing of ecosystem services. Ecological Engineering, 189, p.106898.
3. **Aneseyee, A.B., Elias, E., Soromessa, T. and Feyisa, G.L., 2020.** Land use/land cover change effect on soil erosion and sediment delivery in the Winike watershed, Omo Gibe Basin, Ethiopia. Science of the Total Environment, 728, p.138776.
4. **Asadolahi, Z., Salmanmahiny, A. and Mirkarimi, H., 2015.** Modeling the supply of sediment retention ecosystem service (case study: eastern part of Gorgan-rud watershed). Environmental Erosion Research Journal, 5(3), pp.61-75. [In Persian]
5. **Barrios, E., Valencia, V., Jonsson, M., Brauman, A., Hairiah, K., Mortimer, P.E. and Okubo, S., 2018.** Contribution of trees to the conservation of biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes. International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management, 14(1), pp.1-16.
6. **Borrelli, P., Robinson, D.A., Fleischer, L.R., Lugato, E., Ballabio, C., Alewell, C., Meusburger, K., Modugno, S., Schütt, B., Ferro, V. and Bagarello, V., 2017.** An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. Nature communications, 8(1), p.2013.
7. **Bouma, J., 2023.** The 5C's of soil security guiding realization of ecosystem services in line with the UN-SDGs. Soil Security, 12, p.100099.
8. **Cadel, M., Cousin, I. and Therond, O., 2023.** Relationships between soil ecosystem services in temperate annual field crops: A systematic review. Science of The Total Environment, p.165930.
9. **Gashaw, T., Bantider, A., Zeleke, G., Alamirew, T., Jemberu, W., Worqlul, A.W., Dile, Y.T., Bewket, W., Meshesha, D.T., Adem, A.A. and Addisu, S., 2021.** Evaluating InVEST model for estimating soil loss and sediment export in data scarce regions of the Abbay (Upper Blue Nile) Basin: Implications for land managers.

Environmental Challenges, 5, p.100381.
10. **Getu, L.A., Nagy, A. and Addis, H.K., 2022.** Soil loss estimation and severity mapping using the RUSLE model and GIS in Megech watershed, Ethiopia. Environmental Challenges, 8, p.100560.
11. **Hyun, J., Kim, Y.J., Kim, A., Plante, A.F. and Yoo, G., 2022.** Ecosystem services-based soil quality index tailored to the metropolitan environment for soil assessment and management. Science of the Total Environment, 820, p.153301.
12. **Kretz, L., Koll, K., Seele-Dilbat, C., van der Plas, F., Weigelt, A. and Wirth, C., 2021.** Plant structural diversity alters sediment retention on and underneath herbaceous vegetation in a flume experiment. PLoS One, 16(3), p. e0248320.
13. **Li, N., Zhang, Y., Wang, T., Li, J., Yang, J. and Luo, M., 2022.** Have anthropogenic factors mitigated or intensified soil erosion over the past three decades in South China?.Journal of Environmental Management, 302, p.114093.
14. **Li, T., Cui, L., Xu, Z., Liu, H., Cui, X. and Fantke, P., 2023.** Micro-and nanoplastics in soil: Linking sources to damage on soil ecosystem services in life cycle assessment. Science of the Total Environment, p.166925.
15. **Marques, S.M., Campos, F.S., David, J. and Cabral, P., 2021.** Modelling sediment retention services and soil erosion changes in Portugal: a spatio-temporal approach. ISPRS International Journal of Geo-Information, 10(4), p.262.
16. **Mazigh, N., Taleb, A., El Bilali, A. and Ballah, A., 2022.** The effect of erosion control practices on the vulnerability of soil degradation in Oued EL Malleh catchment using the USLE model integrated into GIS, Morocco. Trends in Sciences, 19(2), pp.2059-2059.
17. **MEA, M.E.A., 2005.** Ecosystems and Human Well-Being: wetlands and water synthesis.
18. **McMahon, J.M., Hasan, S., Brooks, A., Curwen, G., Dyke, J., Saint Ange, C. and Smart, J.C., 2022.** Challenges in modelling the sediment retention ecosystem service to inform an ecosystem account–Examples from the Mitchell catchment in northern Australia. Journal of Environmental Management, 314, p.115102.
19. **Mohammadyari, F., Tavakoli, M., Zarandian, A. and Abdollahi, S., 2023.** Optimization land use based on multi-scenario simulation of ecosystem service for sustainable landscape planning in a mixed urban-Forest watershed. Ecological Modelling, 483, p.110440.
20. **Qiao, X., Li, Z., Lin, J., Wang, H., Zheng, S. and Yang, S., 2023.** Assessing current and future soil erosion under changing land use based on InVEST and FLUS models in the Yihe River basin, North China. International Soil and Water Conservation Research.
21. **Sadat, M., Salehi, E. and Amiri, J., 2023.** Quantitative Modeling of Spatiotemporal Changes in Soil Erosion and Retention Potential and Sediment Production (Case Study: Lahijan-Chabaksar and Astana-Kochsefhan Watersheds). [In Persian]
22. **Salarvand, J., Ghasemi Aghbash, F. and Asadolahi, Z., 2019.** Considering the Role of Forest Cover in Soil Retention as an Ecosystem Services (Case Study: Lorestan Province). Geographic Space, 19(67), pp.61-78. [In Persian]
23. **Sharp, R., Douglass, J., Wolny, S., Arkema, K., Bernhardt, J., Bierbower, W., Chaumont, N., Denu, D., Fisher, D., Glowinski, K. and Griffin, R., 2020.** InVEST 3.8. 7. User's Guide. The Natural Capital Project, Standford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund: Standford, CA, USA.
24. **Srichaichana, J., Trisurat, Y. and Ongsomwang, S., 2019.** Land use and land cover scenarios for optimum water yield and sediment retention ecosystem services in Klong U-Tapao Watershed, Songkhla, Thailand. Sustainability, 11(10), p.2895.
25. **Sun, Y., Liu, D. and Wang, P., 2022.** Urban simulation incorporating coordination relationships of multiple ecosystem services. Sustainable Cities and Society, 76, p.103432.
26. **Tamire, C., Elias, E. and Argaw, M., 2022.** Spatiotemporal dynamics of soil loss and sediment export in Upper Bilate River Catchment (UBRC), Central Rift Valley of Ethiopia. Heliyon, 8(11).
27. **Tavakoli, M. and Mohammadyari, F., 2023.** Modeling the spatial distribution of multiple ecosystem services in Ilam dam watershed, Western Iran: Identification of areas for spatial planning. Urban Ecosystems, 26(2), pp.459-478.
28. **Yang, J., Zhai, D.L., Fang, Z., Alatalo, J.M., Yao, Z., Yang, W., Su, Y., Bai, Y., Zhao, G. and Xu, J., 2023.** Changes in and driving forces of ecosystem services in tropical southwestern China. Ecological Indicators, 149, p.110180.
29. **Zarandian, A., Mohammadyari, F., Mirsanjari, M.M. and Visockiene, J.S., 2023.** Scenario modeling to predict changes in land use/cover using Land Change Modeler and InVEST model: a case study of Karaj Metropolis, Iran. Environmental monitoring and assessment, 195(2), p.273.

2023, The Author(s). Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD). This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

Environment & Interdisciplinary Development
Journal homepage: https://www.envjournal.ir

Evaluating the Role of Land Use in the Provision of Soil Retention Ecosystem Service (Case Study: Semnan Province)

Ardavan Zarandian[1*], Fatemeh Mohammadyari[2], Roya Mousazadeh[3], Majid Ramezani Mehrian[4], Jalil Badamfirooz[5]

1*. Associate Professor, Research Group of Environmental Assessment and Risk, Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD), Department of Environment, Tehran, I.R. Iran.
2. Assistant Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran
3. Assistant Professor, Research Group of Environmental Economics, Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD), Department of Environment, Tehran, I.R. Iran.
4. Assistant Professor, Department of Environmental Studies, The Institute for Research and Development in the Humanities (SAMT), Tehran, I.R. Iran.
5. Associate Professor, Research Group of Environmental Economics, Research Center for Environment and Sustainable Development (RCESD), Department of Environment, Tehran, I.R. Iran.

Original Article

Received: 2023.12.23

Accepted: 2024.01.15

Keywords:
Ecosystem Services
Soil Retention
Land Use
Semnan

Introduction: Soil resources play an important role in providing the necessary material goods for humans and other organisms and also deliver multiple ecosystem services that are essential for life on earth. They have also served for a long time as an important green infrastructure in protecting agricultural and forest landscapes by providing plants a foothold for their roots and holding the necessary nutrients for their growth. In addition, soils can provide various ecosystem services such as contaminant immobilization, rainwater control, carbon sequestration, and habitat provision that are directly beneficial for humans. Services provided by ecosystems for humans are called ecosystem services. Soil retention, which refers to the potential of ecosystems for controlling soil erosion and conserving soil, is classified in the class of regulating services.

Materials and Methods: The InVEST Sediment Delivery Ratio (SDR) model was used in InVEST Software to quantify soil retention and erosion. The required inputs for implementing this model include land use maps, K-factor (soil erodibility), R-factor (rain erosivity), C-factor (land use and land cover or LU/LC), P-factor (support practices), DEM (digital elevation model), and the biophysical table.

Results: Based on the results, the potential of soil loss and sediment transport in the study area ranged from zero to 248.18 t/pixel and from zero to 57.25 tons per pixel, respectively. Soil retention is also estimated in a range from zero to 124.85 tons per pixel in the studied area. The largest amount of soil loss happened in sub-basin number 14 with 13716400 t/year and the smallest

* Corresponding Author's email: azarandian@gmail.com

in sub-basin number 4 with 416594 t/year. Most of the ecosystem service of soil retention belonged to sub-basin number 13 with 4304414 t/ha/ year and the least to sub-basin number 4 with 5645 tons/ha/year.

Discussion: The dense forests in the northernmost part of Semnan Province provide the most part of the ecosystem service of soil retention with more than 36 t/ha and the desert areas, the salt lake, and the salt marsh the least. Based on this, the province's forests, including dense, semi-dense, sparse and thin forests, contribute to the maintenance of soil in the province by a total of 4269166 tons per year. Also, good pastures maintain more than 18 tons per hectare of the province's soil every year, and the total function of soil maintenance by all types of pastures in the province, including good, medium and poor pastures, is 9395160 tons per year. Since the area covered by the pastures is 18 times more than that by the forests, we can say that most of the ecosystem service of soil retention is provided by the pastures due to the geographical distribution of this service in the province, despite the fact that forests are more capable in soil conservation than pastures. The orchards and rainfed agricultural land rank third and fourth, respectively, in soil retention with 7.86 and 2.15 tons of soil/ha, respectively. However, man-made land uses such as urban areas decrease this ecosystem service because they are usually accompanied by removing or reducing the vegetation. The urban areas are located in the northern part of the study area, and they have negative impacts on this ecosystem service. Therefore, protection of the forest and rangeland covers in the province is vitally important for the continued conservation of the ecosystem service of soil retention.