مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات مرتع و بیابان ایران | شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijrdr.2022.126019
جلد ۲۹ شماره ۱، صفحه ۱۴۴-۱۳۳، (۱۴۰۱) | شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.17350875.1401.29.1.10.1

ارزیابی خدمات زیست‌بوم‌های مرتعی از منظر قابلیت نگه‌داشت رسوب با استفاده از بسته نرم‌افزاری InVEST
(مطالعه موردی حوزه آبخیز اترک - استان گلستان)

مسعود برزعلی[۱]، مژگان‌سادات عظیمی[۲*]، محمد عبدالحسینی [۳] و محمدرحیم لطفی [٤]

۱-دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مرتع‌داری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲*- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مدیریت مرتع، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان،

پست الکترونیک: mojgansadatazimi@gmail.com

۳- استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۴- کارشناس ارشد اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان

چکیده

خدمات متنوعی که به‌طور مستقیم و غیرمستقیم از محیط طبیعی به‌دست می‌آید، به‌عنوان خدمات زیست‌بوم مطرح می‌شوند. منظور از این خدمات، برقراری ارتباط با رفاه انسانی در چهار طبقه خدمات فراهم‌سازی، حمایتی، تنظیمی و فرهنگی است. این مطالعه با هدف بررسی نقش اکوسیستم مرتعی حوزه آبخیز اترک از منظر قابلیت نگه‌داشت رسوب براساس کارکرد کاهش میزان ازدست‌رفتن اراضی و حفظ حاصلخیزی خاک با استفاده از بسته نرم‌افزاری نگهداری رسوب در مدل InVEST انجام شد. این مدل برای محاسبه کنترل فرسایش، از معادله جهانی ویراست‌شده هدررفت خاک (RUSLE) استفاده می‌کند و میزان نگهداری رسوب بر اساس نسبت توان حمل رسوب تخمین زده می‌شود. بر این اساس، اطلاعات ورودی مورد نیاز مدل شامل جدول زیست فیزیکی و نقشه‌های مدل رقومی ارتفاع، فرسایندگی باران، فرسایش‌پذیری خاک، پوشش گیاهی و کاربری اراضی با نرم‌افزار ArcGIS 10.4 تهیه و در قالب نقشه‌های رستری به مدل وارد شد. نتایج این پژوهش نشان داد که در بین کاربری‌های مورد مطالعه، جنگل با ۱۴۱۸ تن بر کیلومترمربع و مراتع خوب با میزان ۱۲۱۷ تن بر کیلومترمربع بیشترین میزان قابلیت نگه‌داشت رسوب را داشتند و کمترین مقدار مربوط به زمین‌های بایر، مناطق مسکونی و مراتع فقیر با میزان ۵۲ تا ۱۱۹ تن بر کیلومترمربع بود. از نظر صحت‌سنجی مکان‌یابی، نتایج این مدل با نقاط کنترل در حوزه آبخیز اترک مقایسه شد که نشان داد بیشترین میزان حفظ نگه‌داشت رسوب در شرق و جنوب‌شرقی بوده است. همچنین در مرکز و غرب حوزه، عواملی مانند کاهش پوشش گیاهی و نوع خاک در تشدید فرسایش این حوضه نقش داشته‌اند. نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند در برنامه‌های آمایش سرزمین و تصمیم‌گیری مناسب برای مدیریت مراتع مفید باشد.

واژه‌های کلیدی: پوشش گیاهی، کاربری اراضی، قابلیت نگه‌داشت رسوب، شبیه‌سازی.

مقدمه

خاک به‌عنوان منبع طبیعی با ارزش که تمام فعالیت‌های اکوسیستم در آن انجام می‌شود، به‌طور مستقیم و غیرمستقیم نیازهای مختلف انسان را برآورده می‌کند (Swinton *et al.*, 2007). ازاین‌رو، کارکرد حفظ خاک در مقابل فرایندهای فرسایشی یکی از کارکردهای تنظیمی مهم اکوسیستم‌ها به‌شمار می‌رود و از سوی دیگر، گستردگی معضل تخریب و فرسایش خاک و دامنه آثار آن توجه محققان و

سیاست‌گذران محلی، منطقه‌ای و جهانی را به خود جلب کرده است (Yeghaneh, 2016). طبق مطالعات، شدت فرسایش در استان گلستان از غرب به شرق به دلیل لسی شدن خاک و کاهش پوشش گیاهی، افزایش یافته و توازن بین خاک‌سایی و فرسایش خاک بهم خورده است (NRWMO, 2015). پروژه سرمایه طبیعی (Natural Capital) که توسط دانشگاه استنفرد (Standford) توسعه یافته (Sharp *et al*., 2014)، مدل‌هایی مانند InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) و RIOS (Resource InVESTment Optimization System) را توسعه داده تا ارزش خدمات اکوسیستم را ارزیابی و کمی‌سازی کنند. این مدل‌ها نیاز به داده‌های ورودی نسبتاً کمی دارند و می‌توانند مناطقی را که سرمایه‌گذاری در آن موجب افزایش رفاه انسان و حفظ طبیعت می‌شود شناسایی کنند. استفاده از مجموعه مدل‌های این چنین مناسب‌ترین شیوه برای تجزیه‌وتحلیل خدمات متعدد و اهداف چندگانه است. InVEST (ارزیابی یکپارچه خدمات اکوسیستم و مبادلات) مجموعه‌ای نرم‌افزاری از مدل‌ها با منبع باز است که برای کمی‌سازی و ارزش گذاشتن به خدمات ارائه شده توسط اکوسیستم زمین به‌کار می‌رود. این ابزار از داده‌های زیست محیطی استفاده می‌کند تا چگونگی تغییرات را در اکوسیستم‌ها و تأثیر آنها بر مزایایی که مردم به آن دست پیدا می‌کنند، برآورد کند (Sharp *et al*., 2014). مطابق با نظر Van Loon و Van Lanen (۲۰۱۲)، موضوع کمبود آب و فرسایش خاک بیشتر در اثر مدیریت نامناسب و ناپایداری است که در بلندمدت اتفاق افتاده است. آب و خاک دو نعمت ارزشمند هستند که حفظ آنها باعث رونق کشاورزی و دامداری می‌شود.

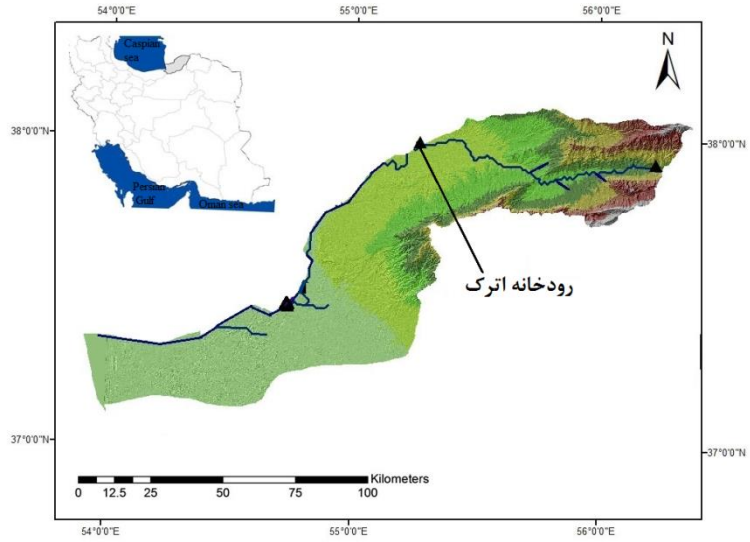
متأسفانه در سال‌های اخیر، به‌دلیل نیاز به تولید بیشتر، ناآگاهی و سودجویی، روش‌های نادرست بهره‌برداری از آب و خاک رواج یافته است(Azimi et al., 2020). تغییر کاربری اراضی، تخریب اراضی، فقدان مدیریت فعالیت‌های انسانی و بهره‌برداری غیرمسئولانه از جنگل‌ها و مراتع از مهمترین علل ایجاد فرسایش است (Zarrinabadi & Vaezi, 2016). Khosravi Mashizi و همکاران (۲۰۱۹)، با استفاده از کمی‌سازی خدمات اکوسیستم، خدمات فراهم‌سازی (تولید علوفه و آب)، خدمات تنظیمی (تنظیم اقلیم و فرسایش) و خدمات حمایتی (تشکیل خاک و تنوع زیستی) بوته‌زارها را در حوزه آبخیز باغبزم شهرستان بردسیر مطالعه کردند و بر این اساس با استفاده از بسته نرم‌افزاری InVEST3.0.0 مقدار نگه‌داشت رسوب را در این حوزه صفر تا ۶۶۸/۵ تن در هکتار برآورد کرده‌اند. Asadolahi و همکاران (۲۰۱۶)، در تحقیق خود در بخش شرقی حوزه آبخیز گرگانرود با استفاده از مدل InVEST3.0.0 با هدف بررسی اثر تغییرکاربری اراضی بر میزان نگه‌داشت رسوب، کاربری غالب از نظر مساحت را در هر زیرحوضه مشخص کردند و تغییر میزان مجموع نگه‌داشت خاک سالانه به تفکیک زیرحوضه را مورد توجه قرار داده‌اند. آنان در نتایج تحقیق خود میزان نگه‌داشت رسوب را ۰/۵ تا ۳۹۱۶ تن در هکتار بیان کرده‌اند. Jokar (۲۰۱۷) به ارزیابی خدمت نگه‌داشت رسوب در زیست‌بوم‌های مرتعی در حوزه آبخیز دلیچای–حبله‌رود در استان تهران با مدل InVEST پرداخت. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که بیشترین شدت فرسایش در دامنه غربی و شمالی اتفاق افتاده و عواملی مانند فرسایندگی زیاد باران و شیب زیاد در تشدید فرسایش این منطقه نقش داشته است. در بین کاربری‌ها نیز بیشترین میزان فرسایش خاک مربوط به مناطق بایر و مراتع ضعیف بوده است. بر این اساس یکی از مباحث اساسی در مورد مراتع، کارکرد حفظ خاک است و تعیین قابلیت نگه‌داشت رسوب توسط بخش‌های مختلف سرزمین به‌ویژه مراتع، یک اولویت مهم برای مدیران منابع طبیعی است (Balvanera *et al*., 2011). با توجه به مطالب ارائه شده، هدف از این تحقیق بررسی عرضه خدمت قابلیت نگه‌داشت رسوب و مقایسه میزان آن در کاربری‌های مختلف حوزه آبخیز اترک در استان گلستان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در قسمتی از حوزه آبخیز اترک در استان گلستان انجام شده است (شکل ۱). این حوزه در شمال‌شرقی

ایران و جنوب کشور ترکمنستان واقع شده و در محدوده جغرافیایی ° ۵۴ ′ ۱۸ تا ° ۵۶ ′ ۳۸ طول شرقی و ° ۳۷ ′ ۸ تا ° ۳۸ ′ ۶ عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). حدود ۷۰ درصد از حوزه آبخیز اترک داخلی استان گلستان را مراتع ولی تنها حدود ۲۰ درصد آن را مراتع با وضعیت خوب تشکیل می‌دهند. این منطقه دارای تیپ‌های مرتعی متفاوتی است و گونه غالب در این مراتع درمنه است و به‌همراه گونه‌های دیگری مانند گون، فرفیون، جو، علف شور، استیپا، یونجه، چمن ایرانی، بره تاغ و غیره عناصر اصلی مراتع این منطقه هستند (NRWMO, 2015).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (حوزه آبخیز اترک- استان گلستان)

Fig 1. Study area: The Atrak river basin in Golestan province, North-East of Iran

محاسبه نگه‌داشت رسوب

در این مطالعه از بسته نرم‌افزاری InVEST 3.3.2 استفاده شد. با استفاده از مدل USLE، میزان هدررفت خاک اراضی fv بر اساس معادلات ۱ و ۲ برآورد شد. مطابق مطالعه Pan و همکاران (۲۰۱۳) توانایی اکوسیستم در نگه‌داشت رسوب با استفاده از رابطه ۳ به‌دست آمد.

$SL_{max}= R * K * LS$ رابطه (۱)

SL_{max}= حداکثر فرسایش یا هدررفت خاک در زمین فاقد پوشش گیاهی

R= عامل فرسایندگی باران

K= عامل فرسایش‌پذیری خاک

LS= عامل طول و درجه شیب

$SL_{j}= P*C * LS * K *R$ رابطه (۲)

SL_j= میزان فرسایش در مکان j

C= عامل پوشش گیاهی

P= عامل حفاظت خاک

SR= توانایی اکوسیستم در نگه‌داشت خاک

$SR(Soil\ Retention) = SL_{max}-SL_j$ رابطه (۳)

بر این اساس، نقشه‌های پایه مورد نیاز برای اجرای مدل، شامل مدل رقومی ارتفاع (DEM)، فرسایندگی باران، فرسایش‌پذیری خاک، پوشش گیاهی و کاربری اراضی هستند که در قالب رستری تهیه و به مدل ارائه شد. برای تهیه هر یک از داده‌های مورد نیاز به‌شرح زیر عمل گردید.

مدل رقومی ارتفاع (Digital Elevation Model): برای به‌دست آوردن لایه رستری DEM منطقه، از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و مرز منطقه استفاده شد.

برای محاسبه پارامتر LS، مدل نیازمند نقشه‌های تجمع جریان و شیب است که هر دو از DEM ۳۰ متری منطقه و با توجه به رابطه (۴) ارائه شده توسط Morgan (۱۹۸۶) به کمک تابع Spatial Analyst و اکستنشن Hydrotools در نرم‌افزار Arc GIS استخراج شد.

رابطه ۴

$$LS = \left(\text{Flow Accumulation grid} * \frac{\text{Cell Size}}{22.13}\right)^{0.4} \left(\frac{\text{Sin(slope grid)} * 0.01745}{0.0896}\right)^{1.3}$$

که در آن Flow Acuumulation تجمع جریان به سمت بالای شیب برای هر سلول، cell size اندازه سلول‌های شبکه (در این مطالعه ۳۰ متر) و slope (شیب) محاسبه شده از نقشه شیب است.

فاکتور فرسایندگی باران (R): فرسایندگی باران به صورت قدرت تراکمی باران در بروز فرسایش تعریف می‌شود. از آنجایی که نمودار بارندگی و داده‌های تفصیلی رگبار (شدت بارندگی) به ندرت در ایستگاه‌های هواشناسی وجود دارد، اغلب از مقادیر متوسط بارندگی ماهیانه و سالیانه، برای برآورد فاکتور R در مدل‌های USLE و RUSLE استفاده می‌شود (Renard *et al.*, 2011). از رابطه (۵) شاخص اصلاح شده فورنیه (MFI) برای تمامی ایستگاه‌ها محاسبه گردید، سپس با جایگذاری این شاخص در رابطه (۶) که توسط Renard و Freimund (۱۹۹۴) برای مناطق فاقد داده‌های تفصیلی رگبار (شدت بارندگی) پیشنهاد شده است، مقدار فاکتور (R) برای ایستگاه‌های شاخص برآورد شد (Renard *et al.*, 2011).

رابطه ۵

$$MFI = \frac{\sum_{i=1}^{n12} P_i^2}{P}$$

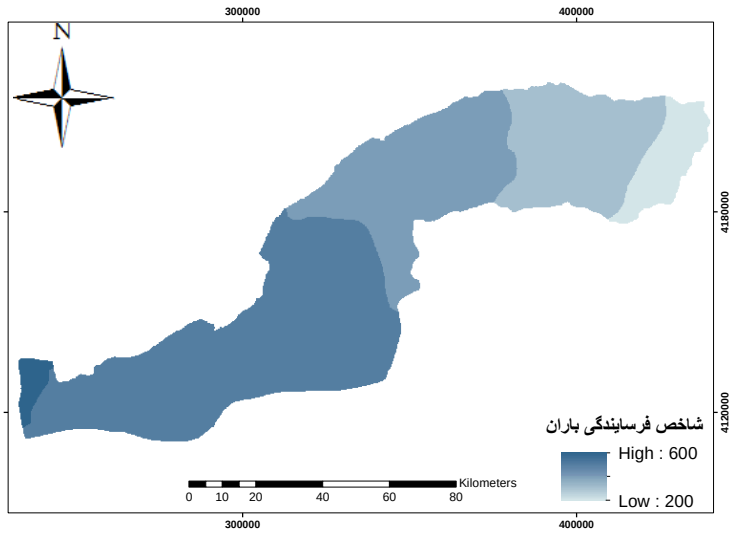
در این رابطه، Pi متوسط بارندگی (mm) در ماه iام و P متوسط بارندگی سالانه (mm) است. در این روش مجذور بارندگی هر ماه در هر سال محاسبه شده و با تقسیم مجموع آنها به بارندگی همان سال، مقدار شاخص اصلاح شده فورنیه سال یادشده به‌دست آمده است. برای به‌دست آوردن شاخص متوسط ایستگاه، از مقادیر شاخص یادشده در طول دوره آماری میانگین‌گیری شده است.

رابطه ۶

$$R = (۰/۰۷۳۹۷ \times MFI^{۱/۸۴۷}) \quad MFI < ۵۵$$

$$R = (۹۵/۷۷ - ۶/۰۸۱ \times MFI + ۰/۴۷۷ \times MFI^{۲}) \quad MFI \geq ۵۵$$

که در این تحقیق برای تهیه نقشه فرسایندگی باران (شکل ۲) از نتایج مطالعه (Mahdian & Nikkami, 2015) استفاده شد.



شکل ۲- شاخص فرسایندگی باران (R)(MJmmha-1h-1y-1)

Fig 2. Rainfall erosivity index(R) (MJmmha-1h-1y-1)

فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K): در این تحقیق ۴۵ نمونه خاک به صورت تصادفی- سیستماتیک از داخل حوضه برداشت شد و بعد ویژگی‌های بافت، نفوذپذیری، ساختمان و مقدار ماده آلی خاک استخراج گردید. ازاین‌رو، پس از به‌دست آوردن ویژگی‌های خاک از طریق رابطه (۷) مقدار فرسایش‌پذیری خاک بر حسب تن در هکتار بر مگاژول بر میلی‌متر به‌دست آمد. در این رابطه، M با استفاده از فرمول زیر برآورد می‌شود.

رابطه ۷ M= (درصد رس + درصد سیلت) × (۱۰۰ − درصد شن)

OM: درصد ماده آلی خاک،

S کلاس ساختمان خاکدانه‌ها،

Pکلاس نفوذپذیری خاکدانه‌ها هستند (Zabihi *et al*., 2015)

رابطه ۸

$$K = \frac{2.1\times10^{-4}(12-OM)\,M^{1.14}+3.25(S-2)+(2.5)(P-3))}{7.59\times100}$$

مقدار محاسبه شده فاکتور فرسایش‌پذیری خاک پس از مقایسه با جدول ۱ برگرفته از راهنمای مدل InVEST (Tallis *et al*; 2011) و در نظر گرفتن نقشه بافت خاک (NRWMO, 2015) و میزان مواد آلی موجود در خاک منطقه (در مناطقی که داده وجود داشت) بین ۰/۰۱ تا ۰/۸۷ برآورد گردید و به‌عنوان ورودی مدل استفاده شد.

جدول ۱- شاخص فرسایش‌پذیری خاک (k) (Tallis et al., 2011; Roose ,1996)

Table 1- Soil erodibility index (K)

طبقه بافت خاک Soil Texture	عدم وجود اطلاعات No data	متوسط شاخص فرسایش‌پذیری خاک (براساس درصد ماده آلی) Avarage of soil erodibility index (K)	
		<۲٪	>۲٪
Clay (رس)	0.22	0.24	0.21
Sandy clay(شنی رسی)	0.2	0.2	0.2
Silty clay (سیلتی رسی)	0.26	0.27	0.26
Sandy (شنی)	0.02	0.03	0.01
Sandy loam (شنی لومی)	0.13	0.14	0.12
Clay loam (رسی لومی)	0.3	0.33	0.28
Loam (لومی)	0.3	0.34	0.26
Sandy clay loam شنی رسی لومی	0.2	0.2	0.2
Silty clay loam سیلتی رسی لومی	0.32	0.35	0.3
Silty (سیلتی)	0.38	0.41	0.37
Silty loam (سیلتی لومی)	0.38	0.41	0.37

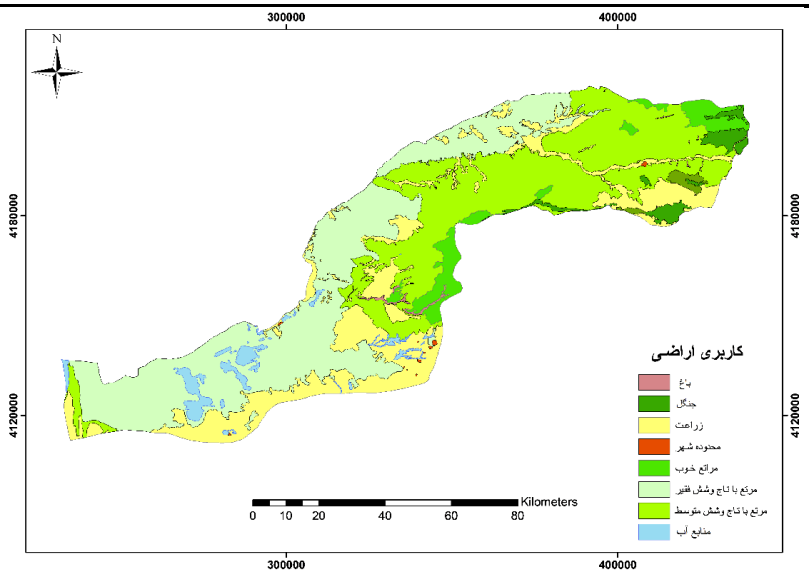
عامل عملیات حفاظتی (P): عبارت است از نسبت مقدار خاک از بین رفته در واحد سطح یک زمین حفاظت‌شده، به زمینی که لخت باشد و در جهت تندترین شیب شخم زده شود (Khosravi Mashizi *et al.*, 2019). منظور از کارهای حفاظتی، کشت روی خطوط تراز، هلالی آبگیر و تراس‌بندی، بندهای خاکی، گابیون و کپه‌کاری است که در منطقه مورد مطالعه این موارد برای حفاظت آب و خاک انجام شده است (NRWMO, 2015) که در بازدیدهای صحرایی مشاهده شد. ازاین‌رو، هر چه مقدار این عامل در یک منطقه کمتر باشد، کارهای حفاظتی مؤثرتر و هدررفت خاک کمتر است (Sharp *et al.*, 2014) و مقادیر آن با استفاده از جدول ۲ برآورد شد.

کاربری اراضی (Land use): نقشه کاربری اراضی و پوشش گیاهی منطقه پس از بازدیدهای صحرایی و با توجه به اطلاعات اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان گلستان (NRWMO, 2015) تهیه شد (شکل ۳).

جدول ۲- ارزش عملیات حفاظتی (*P*) برای کاربری‌های مختلف (Deore, 2005)

Table 2- Support practice factor for different land uses

طبقه کاربری اراضی	ارزش عددی عملیات حفاظتی
اراضی بایر (Bare land)	1
نیشکر(Sugar can)	0.12
گندم (Wheat)	0.1
جنگل تنک (low density Forest)	0.8
اراضی آیش	1
جنگل با تراکم متوسط(Medium density Forest)	0.8
جنگل باز (Forest)	0.8
بستر رودخانه(River bed)	1



شکل ۳- کاربری اراضی و پوشش گیاهی

Fig 3. Land use/land cover (LULC)

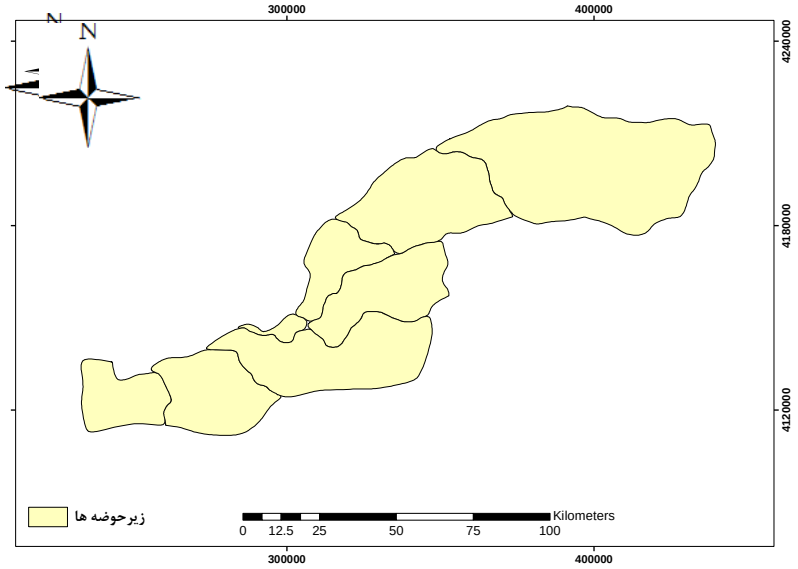
فاکتور پوشش گیاهی (C): پرکاربردترین معیار رویش گیاه، شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) است که با استفاده از فناوری سیستم اطلاعات جغرافیایی محاسبه و برآورد می‌گردد. برای تعیین این عامل از باندهای قرمز و مادون قرمز تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجنده OLI/TIRS استفاده شد. بدین صورت که ابتدا در محیط GIS مقدار NDVI محاسبه می‌شود، سپس با توجه به لایه NDVI ایجاد شده و با استفاده از رابطه (۹) نقشه عامل C که مقادیر آن بین صفر تا یک تغییر می‌کند، تهیه شد. در این رابطه RED مقدار بازتاب در محدوده باند قرمز و NIR مقدار بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک است. مقدار این شاخص بین ۱- و ۱+ تغییر می‌کند. مقدار این شاخص برای پوشش‌گیاهی متراکم به سمت ۱+ میل می‌کند و برای آب، ابرها و برف مقدار آن منفی است (Lin, 1997).

$$C = \frac{(1 - NDVI)}{2}$$ رابطه ۹

جدول زیست فیزیکی (Biophysical Tablel): علاوه بر نقشه‌های ذکرشده، برای اجرای مدل، جدولی با فرمت csv مورد نیاز است که دارای ستون‌های LCODE عدد صحیحی باشد که به‌عنوان کد به هریک از کاربری‌های موجود در نقشه کاربری اراضی و پوشش گیاهی داده می‌شود و همان کد برای هر کاربری در جدول نیز وارد می‌گردد.

نتایج

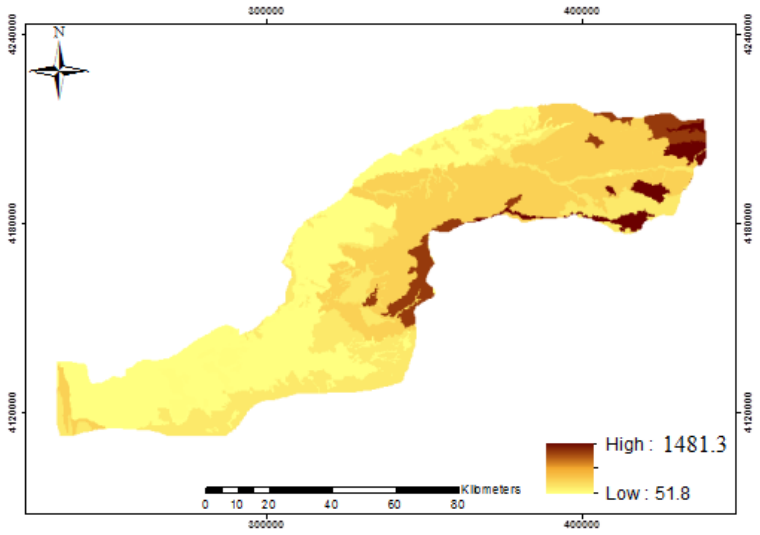
برای ارزیابی و مقایسه نگه‌داشت قابلیت رسوب در قسمت‌های مختلف حوزه آبخیز اترک، با توجه به مدل رقومی ارتفاع (DEM) و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) زیرحوزه‌ها تعیین شدند که طبق آن این دارای ۸ زیرحوزه اصلی است (شکل ۳).



شکل ۴- مرز حوضه و زیرحوضه‌ها

Fig 4. Basin line and sub-basins

نتایج این تحقیق نشان داد در حوزه آبخیز اترک داخلی استان گلستان، مقدار عامل فرسایندگی باران بین ۹۸/۸ تا ۱۲۷/۶ (MJ mm ha^{-1} h^{-1} y^{-1}) متغیر است. همچنین با توجه به نتایج تجزیه ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی، خاک‌های مورد مطالعه در این حوزه در ۷ طبقه قرار می‌گیرند که شامل بافت‌های Loam، Clay Loam، Clay، Silty Clay،Sandy Clay Loam ،Silty Loam و Silty Clay Loamمی‌باشند. پس از تهیه تمام لایه‌های اطلاعاتی به‌عنوان ورودی‌های مدل، تلفیق لایه‌ها در نرم‌افزار InVEST انجام شد و در نهایت نقشه قابلیت نگه‌داشت رسوب بر حسب تن بر کیلومترمربع به شرح شکل ۵ تهیه گردید.



شکل ۵- نقشه نگه‌داشت رسوب (تن/کیلومترمربع در سال) حوزه آبخیز اترک – استان گلستان

Fig5- Map of sediment retention (km^2/yr)- Atrak watershed-Golestan province

بر این اساس، نتایج مدل نشان داد که کاربری‌های اراضی مختلف از نظر میزان قابلیت نگه‌داشت رسوب با هم تفاوت دارند. به‌طوری‌که بیشترین میزان قابلیت نگه‌داشت رسوب در کاربری‌ها با مقدار ۱۴۸۱/۰۳ تن در کیلومترمربع مربوط به کاربری جنگل بوده و پس از آن مرتع با مقدار ۱۲۱۷/۳۸۹ تن در کیلومترمربع بیشترین میزان قابلیت نگه‌داشت خاک را داشتند. همچنین کمترین میزان قابلیت نگه‌داشت رسوب مربوط به مراتع ضعیف با میزان ۱۱۹/۵ و بعد مناطق مسکونی و زمین‌های بایر با مقدار ۵۱/۸۰۳ تن در کیلومترمربع برآورد شد. نتایج هریک از کاربری‌ها به‌طور مجزا در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- مساحت و نگه‌داشت رسوب در هر کاربری اراضی

Table 3- Area and sediment retention in land use

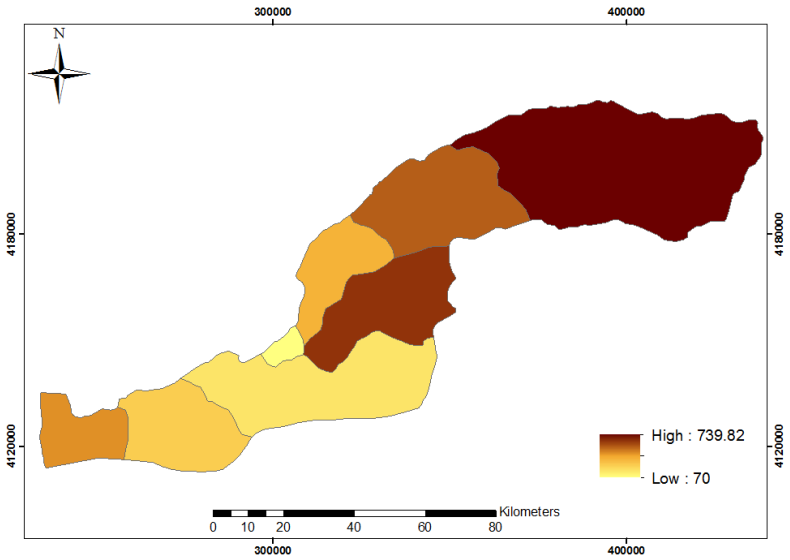
کد Code	کاربری اراضی Land use	مساحت (Area) (کیلومتر مربع)(Km^2)	نگه‌داشت رسوب(sediment retention) (تن بر کیلومترمربع)
1	باغ (Garden)	2462.2	450.25
2	کشت و زرع (Cultivation)	150112.8	275.42
3	جنگل(Forest)	17213.6	1481.03
4	منابع آب (Water resources)	19642.7	–
5	زمین بایر(Bare land)	798	51.8
6	مراتع خوب(Good Rangeland)	41408.2	1217.39
7	مراتع متوسط((Good Rangeland)	251679.8	534.34
8	مراتع فقیر(Poor Rangeland)	24444.04	119.52

همچنین میزان قابلیت نگه‌داشت رسوب در سطح زیرحوضه‌ها در شکل ۶ قابل مشاهده است. نتایج نشان‌دهنده این است که زیرحوضه ۱ با مقدار ۷۳۹/۸۱ تن بر کیلومترمربع بیشترین میزان قابلیت نگه‌داشت رسوب و زیرحوضه ۵ با مقدار ۷۰/۰۳ تن بر کیلومترمربع کمترین میزان را دارد. نتایج مربوط به هریک از زیرحوضه‌ها در جدول ۴ بیان شده است.

جدول ۴- میزان قابلیت نگه‌داشت خاک در هر زیرحوضه

Table 4- The amount of soil retention in each sub-basin

Sub-basin	مساحت (کیلومتر مربع)	قابلیت نگه‌داشت رسوب (تن/کیلومتر مربع)
1	2287.53	739.81
2	957.32	254.92
3	469.46	144.59
4	805.04	730.69
5	75.93	70.03
6	1223.96	117.31
7	673.88	130.03
8	382.94	160.84



شکل ۶- نقشه میزان قابلیت نگه‌داشت رسوب به تفکیک زیرحوضه‌ها (تن/کیلومترمربع در سال)

Fig6- Map of sediment retention in each sub-basin (ton/km^2/yr)

بحث

نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که به‌طورکلی میزان قابلیت نگه‌داشت رسوب در شرق و جنوب‌شرقی و بالادست حوزه بیشترین میزان را دارد. علت این موضوع، وضعیت و کیفیت مراتع در این منطقه نسبت به سایر مناطق حوزه است. وجود تاج پوشش گیاهان و ریشه‌های عمیق آنها موجب افزایش مواد آلی خاک و همچنین بهبود خصوصیات فیزیکی خاک شده است که باعث کاهش فرسایش و رواناب می‌شود (Khosravi *et al.*, 2019; Mashizi). البته، با توجه به اینکه بیشتر مناطق در حوزه آبخیز اترک به زمین‌های زراعی اختصاص داده شده (NRWMO, 2015) این تغییر کاربری موجب افزایش

رواناب در این مناطق شده است. افزایش رواناب نشان‌دهنده تخریب بیشتر خاک، هرزرفتن آب قابل دسترس گیاه و خطر ایجاد سیل در منطقه است (Azimi *et al*., 2020). نتایج این تحقیق نشان داد که کاربری اراضی نقش بسزایی در نگه‌داشت قابلیت رسوب دارد که با نتایج مطالعات Bartley و همکاران (۲۰۰۶) و همچنین Bautista و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت دارد. آنان بیان کردند که تغییرات رواناب و هدررفت خاک به‌طور معناداری تحت تأثیر تغییر کاربری و میزان پوشش گیاهی قرار گرفته است. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که وضعیت مراتع نیز نقش مؤثری بر قابلیت نگه‌داشت رسوب دارد، به‌طوری‌که این میزان در مراتع خوب نسبت به مراتع متوسط حدود دو برابر است اما در مراتع فقیر به علت کاهش پوشش گیاهی و فضای خالی زیادی که بین گیاهان است میزان فرسایش بسیار زیاد و از زراعت نیز بیشتر است. از سویی، برخی از مراتع فقیر در واقع اراضی کشاورزی رها شده هستند که به‌علت بهره‌برداری‌های مداوم، حاصل‌خیزی خود را از دست داده و به‌عنوان اراضی مرتعی مورد چرای دام قرار گرفته‌اند. همچنین فشار چرای دام مانع از احیای دوباره ویژگی‌های خاک و پایداری خاکدانه‌ها شده و در واقع تغییر کاربری اراضی عاملی اثرگذار بر کاهش نگه‌داشت رسوب است که با نتایج Jokar (۲۰۱۷) مطابقت دارد. در بین کاربری‌ها، زمین‌های بایر و مناطق مسکونی کمترین نقش را در نگه‌داشت قابلیت رسوب دارند و بیشترین میزان فرسایش در آنها دیده می‌شود که با نتایج به‌دست آمده توسط Zarrinabadi و Vaezi (۲۰۱۶) و همچنین Jokar (۲۰۱۷) مطابقت دارد. متوسط میزان سالانه فرسایش خاک در ایران ۳۳ تن در هکتار گزارش شده است و متوسط فرسایش در این حوزه حدود ۲۴ تن در هکتار است (NRWMO, 2015)، هر چند از میانگین کشور کمتر است ولی بسیار قابل توجه می‌باشد. از مهمترین علل تخریب مراتع در این حوزه، می‌توان به وجود تعداد دام مازاد بر ظرفیت مراتع، تبدیل مراتع به اراضی دیم، عدم یکنواختی تعلیف گله‌ها به علت محدود بودن مراکز آب‌شرب و تجمع دام‌ها در یک منطقه و عدم وجود ایستگاه‌های بررسی و کنترل و اصلاح مراتع اشاره کرد. این در حالی است که در صورتی که توجه کافی و مدیریت مناسب در منطقه اعمال شود، شرایط برای بهبود کیفیت مراتع این منطقه مهیاست (NRWMO, 2015). با توجه به نیاز روزافزون به کسب اطلاعات کامل‌تر و دقیق‌تر از موقعیت مکانی خدمت اکوسیستمی قابلیت نگه‌داشت رسوب در سطح حوزه و با هدف مدیریت آن، نیاز است تا از مدل‌های مناسب در این زمینه استفاده شود. بر این اساس، برای توسعه برنامه‌های مدیریت خدمات اکوسیستم در حوزه آبخیز، مدل‌سازی خدمت اکوسیستمی نگه‌داشت رسوب عامل مهمی برای مدیران سرزمین محسوب می‌شود. برای کاهش بار رسوب در سطح حوزه آبخیز، این اطلاعات آنها را قادر می‌سازد تا به شکل مکانی، نواحی دارای ارزش حفاظتی به علت عرضه زیاد نگه‌داشت رسوب را شناسایی کنند و در برنامه‌ریزی مکانی کاربری اراضی مورد توجه قراردهند. یکی از نرم‌افزارهای نقشه‌سازی خدمات اکوسیستم، نرم‌افزار ارزیابی یکپارچه مبادلات و خدمات محیط‌زیستی (InVEST) است. این نرم‌افزار شامل مجموعه‌ای از مدل‌های مجزا است که هریک از مدل‌ها به بررسی الگوی مکانی خدمات اکوسیستم و تغییرات آنها با توجه به تغییر کاربری اراضی می‌پردازد و برای طیف وسیعی از کاربران علاقه‌مند به مباحث مدیریت منابع طبیعی و محیط‌زیست قابل استفاده می‌باشد. از مزایای InVEST می‌توان به قابل استفاده بودن برای کل دنیا، داشتن مقیاس انعطاف‌پذیر، رایگان بودن، داشتن خروجی اکولوژیک و اقتصادی، توان ارزیابی خدمات متعدد و مستقل بودن آن اشاره کرد. همچنین محدودیت تخمین همه خدمات اکوسیستم در مقیاس حوزه آبخیز، محدودیت به داده‌های ورودی، محدودیت در واسنجی و اعتبارسنجی (نسبت به دیگر مدل‌ها) ازجمله معایب این مدل هستند. بر این اساس، برای نتیجه‌گیری بهتر از مدل‌ها، پایش اطلاعات پوشش گیاهی و خاک و همچنین داده‌های هواشناسی، رسوب‌سنجی، تهیه نقشه‌های خاک و پوشش گیاهی برای این گونه مطالعات ضروری به نظر می‌رسد.

منابع مورد استفاده

– Asadolahi, M., Salmanmahiny, A., Mirkarimi, H. and Azimi, M., 2016. Modeling sediment retention ecosystem service using InVEST software. Case study: Eastern part of Gorgan-Rud watershed. Journal of Environmental Erosion Research, 5: 3(19) 61-75 (In Persian).
– Azimi, M., Barzali, M., Abdolhosseini, M., & Lotfi, A.R. (2020). Examining the impact of rangeland condition on water conservation by using an integrated modeling approach. Land Degradation and Development, 1-9.
– Balvanera, P., Castillo, A. and MartÍnez-Harms, M.J., 2011. Ecosystem services in seasonally dry tropical forests. In Seasonally Dry Tropical Forests Island Press/Center for Resource Economics: 259-277.
– Bartley, R., Roth, C.H., Ludwig, J., McJannet, D., Liedloff, A., Corfield, J., Hawdon, A. and Abbott, B., 2006. Runoff and erosion from Australia's tropical semiarid rangelands: Influence of ground cover for differing space and time scales. Hydrological Processes, 20(15): 3317-3333.
– Bautista, S., Mayor, A.G., Bourakhouadar, J. and Bellot, J., 2007. Plant spatial pattern predicts hill slope runoff and erosion in a semiarid Mediterranean landscape. Journal of Ecosystems, 10: 987-998.
– Deore, M.S.J., 2005. Prioritization of micro-watersheds of upper Bhama Basin on the basis of soil erosion risk using remote sensing and GIS technology (Doctoral dissertation, University of punepune).
– Khosravi Mashizi, A., Heshmati, G.H.A., Salman Mahini, A.R. and Escobedo, F.J., 2019. Exploring management objectives and ecosystem service trade-offs in a semi-arid rangeland basin in southeast Iran. Journal of Ecological Indicators, 98: 794-803.
– Jokar, H., 2017. Assessment sediment retention ecosystem service Using InVEST Software (Case Study: Dalichai basin in the north Hablehrood Basin. A thesis submitted for the degree of M. SC in Rangeland Management. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 87p (In Persian).
– Lin, C.Y., 1997. A study on the width and placement of vegetated buffer strips in a mudstonedistributed watershed. Journal of China Soil Water Conservation, 3: 250-266.
– Morgan, R., 1986. Soil Erosion and Conservation. Longman scientific and technical and press. UK.
– Nikkami, D. and Mahdian, M.H., 2015. Rainfall erosivity mapping in Iran. Iranian journal of Management and Engineering Watershed, 6(4): 364-376 (In Persian).
– NRWMO (Natural Resources and Watershed Management Organization of Golestan province). 2015. Reports of Atrak river basin Project. Ministry of Jihade-Agriculture. Iran, 332 P (In Persian).
– Pan, Y., Xu, Z. and Wu, J., 2013. Spatial differences of the supply of multiple ecosystem services and the environmental and land use factors affecting them. Journal of Ecosystem Services, 5: 4–10.
– Renard, K.G. and Freimund, J.R., 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. Journal of Hydrology, (157): 287-306.
– Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., and Yoder, D.C., 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) (Vol. 703). Washington, DC: United States Department of Agriculture.
– Roose, 1996. Land husbandry - Components and strategy. Soils bulletin 70. Rome, Italy.
– Sharp, R., Chaplin-Kramer, R., Wood, S., Guerry, A., Tallis, H. and Taylor, R., 2014. InVEST User's Guide: Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs (Stanford, CA: The Natural Capital Project), p 321.
– Swinton, S.M., Lupi, F., Robertson, G.P. and Hamilton, S.K., 2007. Ecosystem services and agriculture: cultivating agricultural ecosystems for diverse benefits. Journal of Ecological Economics, 37(3): 245-252.
– Tallis, H., Ricketts, T., Guerry, A.D., Wood, S.A., Sharp, R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K., Pennington, D., Mendoza, G., Aukema, J., Foster, J., Forrest, J., Cameron, D., Arkema, K., Lonsdorf, E., Kennedy, C., Verutes, G., Kim, C.K., Guannel, G., Papenfus, M., Toft, J., Marsik, M. and Bernhardt, J., 2011. InVEST 2.2.2 User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford.
– Van Loon, A.F. and Van Lanen, H.A.J., 2012. A process-based typology of hydrological drought. Journal of Hydrology and Earth System Sciences, 16(7): 1915.
– Yeghaneh, H., Azarnivan, H., Saleh, I., Arzani, H. and Amirnejad, H., 2016. Economic value estimation of soil conservation function (Case study: Taham area-Zanjan province). Iranian Journal of Range and Desert Research, 23(1): 161-176 (In Persian).
– Zabihi, M., Sadeghi, S.H.R. and Vafakhah, M., 2015. Spatial analysis of rainfall erosivity index patterns at different time scales in Iran. Journal of Watershed Engineering and Management, 7(4): 442-457 (In Persian).
– Zarrinabadi, E. and Vaezi, A.R., 2016. Runoff and soil loss as affected by land use change and plough direction in poor vegetation cover pastures. Iranian journal of Water and Soil Conservation, 47(1): 87-98 (In Persian).

Evaluation of rangeland ecosystem services in terms of sediment retention potential using InVEST software package (Atrak Watershed, Golestan Province)

M. Barzali[1], M.Azimi[2]*, M. Abdolhosseini[3] and A. Lotfi[4]

1- M.Sc. Graduate of Rangeland Management, Faculty of Rangeland and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
2*- Corresponding author, Associate Professor, Faculty of Rangeland and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Iran, Email: mojgansadatazimi@gmail.com
3- Assistant Professor, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
4- M.Sc., Natural Resources and Watershed Management Organization of Golestan Province, Gorgan, Iran

Abstract

A variety of services obtained directly and indirectly from the natural environment is considered ecosystem services. The purpose of these services is to communicate with human welfare in four categories of services: provision, support, regulation, and culture. This study aimed to investigate the role of the rangeland ecosystem in the Atrak watershed from the perspective of sediment retention potential based on the function of reducing land loss and maintaining soil fertility using the sediment retention software package in InVEST model. This model uses the Modified Soil Erosion Equation (RUSLE) to calculate erosion control, and the sediment retention rate is estimated based on the sediment carrying capacity ratio. Therefore, the required input information of the model including the biophysical table and maps of the digital elevation model, rain erosion, soil erodibility, vegetation, and land use were prepared with the help of ArcGIS 10.4 software and entered into the model in the form of raster maps. The results of this study showed that among the studied uses, forests with 1418 tons per square kilometer and good rangelands with 1217 tons per square kilometer had the highest sediment retention potential and the lowest amount related to barren lands, residential areas, and poor rangelands with 52 to 119 tons per square kilometer. In terms of location validation, the results of this model were compared with control points in the Atrak watershed, which showed that the highest level of sediment retention was in the east and southeast. Also in the center and west of the basin, factors such as reduced vegetation and soil type have contributed to the intensification of erosion in this basin. The results of this research can be useful in land management programs and appropriate decision-making for rangeland management.

Keywords: Vegetation, land use, sediment retention, simulation.