



پژوهش‌های فرسایش محیطی

journal homepage: <http://magazine.hormozgan.ac.ir>



مدل‌سازی خدمت اکوسیستمی نگهداشت خاک با نرم‌افزار InVEST

(مطالعه موردی: بخش شرقی حوضه آبخیز گرگانرود)

زهره اسدالهی^{۱*}، عبدالرسول سلمان‌ماهینی^۱، سیدحامد میرکریمی^۱، مژگان السادات عظیمی^۲

^۱گروه محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

^۲گروه مرتع‌داری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

چکیده

تاریخچه مقاله:

دریافت:

۹۴/۰۷/۰۸

اصلاح:

۹۴/۱۲/۰۸

پذیرش:

۹۴/۱۲/۱۱

منافعی که افراد به شکل مستقیم یا غیر مستقیم از اکوسیستم به دست می‌آورند خدمات اکوسیستم نامیده می‌شود. نگهداشت خاک به عنوان یک خدمت اکوسیستمی به توان اکوسیستم‌ها در حفظ خاک و کنترل فرسایش اشاره دارد. در پژوهش حاضر با هدف مدل‌سازی خدمت نگهداشت خاک در بخش شرقی حوضه آبخیز گرگانرود از بسته نرم‌افزاری InVEST 3.0.0 استفاده شد. پتانسیل هدررفت خاک بر اساس معادله جهانی هدررفت خاک (USLE) تخمین زده شد و میزان نگهداشت خاک از رابطه $RKLS - USLE$ به دست آمد. نتایج نشان داد که مقادیر هدررفت خاک سالانه از ۰ تا ۷۵ تن در سطح پیکسل متغیر است. مناطق با پتانسیل فرسایش زیاد عمدتاً در مسیر آبراهه‌ها و در بخش شرقی و شمال شرقی منطقه مورد مطالعه در مناطق جنگلی مرتفع با شیب بالا قرار دارند. مجموع نگهداشت سالانه خاک از ۰/۵ تا ۳۹۱۶ تن در هکتار در هر زیرحوضه متغیر است. زیرحوضه‌های با پوشش غالب جنگل بیشترین میزان نگهداشت خاک کل حوضه معادل ۸۶/۲ درصد را به خود اختصاص داده‌اند و کمترین میزان نگهداشت خاک به اراضی کشاورزی پایین دست حوضه اختصاص دارد و این علیرغم شیب کم این محدوده‌ها است. در خصوص نرم‌افزار InVEST این نتیجه حاصل شد که در مقایسه با مدل‌های دیگر در زمینه فرسایش و رسوب، این نرم‌افزار قادر است با وارد سازی اطلاعات حداقل، خروجی‌های نسبتاً مفیدی در زمینه این خدمت اکوسیستمی در اختیار کاربر قرار دهد.

واژگان کلیدی:

اکوسیستم

کنترل فرسایش

هدررفت خاک

نرم‌افزار InVEST

مقدمه

منافع متعددی که اکوسیستم‌ها برای افراد فراهم می‌سازند خدمات اکوسیستم نامیده می‌شود که از بین آنها می‌توان به تولید غذا، آب شیرین، خاک حاصلخیز و ارزش‌های زیبایی شناختی طبیعت اشاره نمود. همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، خدمات اکوسیستم در چهار طبقه فراهم‌سازی^۱، حمایتی^۲، تنظیمی^۳ و فرهنگی^۴ قابل شناسایی هستند (MEA, 2005).

جدول ۱: طبقات خدمات اکوسیستم

خدمات فرهنگی	خدمات تنظیمی	خدمات فراهم‌سازی
منافع غیرمادی و معنوی حاصل از اکوسیستم‌ها	منافع حاصل از تنظیم فرایندهای اکوسیستم	محصولاتی که مستقیماً از اکوسیستم به دست می‌آیند.
- روحی و مذهبی - تفریح و اکوتوریسم - الهامی - آموزشی - میراث فرهنگی	- تنظیم اقلیم - کنترل فرسایش - تصفیه آب - گرده افشانی	- غذا - آب شیرین - سوخت - فیبر
خدمات حمایتی خدمات ضروری به منظور تولید سایر خدمات اکوسیستم		
• تشکیل خاک	• چرخه مواد غذایی	• تولید اولیه

نگهداشت خاک^۵ به عنوان یک خدمت اکوسیستمی به توان اکوسیستم‌ها در حفظ خاک و کنترل فرسایش اشاره دارد که در کل تابعی از پوشش گیاهی، توپوگرافی و حساسیت به فرسایش خاک است (Sharp et al., 2014). به طور کلی، فرسایش فرایندی است که طی آن ذرات خاک از بستر اصلی خود جدا شده و به کمک یک عامل انتقال دهنده به مکانی دیگر حمل می‌شود و در صورتی که عامل جداکننده ذرات از بستر و انتقال آنها آب باشد به آن فرسایش آبی گفته می‌شود (رفاهی، ۱۳۸۲). فرسایش و رسوب‌زایی حوضه‌های آبخیز منجر به کاهش نیروی برقابی تولیدی، خسارت‌های ساختاری به سدها، ایجاد سیلاب و کاهش کیفیت آب می‌شود. لذا، تعیین میزان نگهداشت خاک توسط بخش‌های مختلف سیمای سرزمین یک اولویت مهم برای مدیران است. امروزه فرسایش خاک یکی از جدی‌ترین مشکلات کشورهای در حال توسعه و بسیاری از کشورهای توسعه یافته می‌باشد. بار رسوب سالیانه جهانی ورودی به داخل اقیانوس‌ها نیز در حال افزایش است و این مشکلات نگرانی‌های زیست محیطی اصلی امروزه می‌باشند (فیض‌نیا، ۱۳۸۷). بررسی آمار موجود نشان می‌دهد که سالانه ۷۵ میلیارد تن خاک در سطح جهان فرسایش می‌یابد که ارزش آن معادل ۴۰۰ میلیارد دلار با سرانه ۷۰ دلار می‌باشد (Eswaran et al., 2001). میزان فرسایش

¹Providing²Supporting³Regulating⁴Cultural⁵Soil Retention

خاک در ایران براساس مطالعات نیک کامی و همکاران^۱ (۲۰۰۹) حدود دو میلیارد تن برآورد شده است که ۲۰ تا ۳۰ برابر حد قابل قبول است. براساس مطالعات جلالیان و همکاران^۲ (۱۹۹۶)، خسارت ناشی از فرسایش خاک و از دست رفتن عناصر غذایی در ایران بالغ بر ۷/۲ میلیارد دلار در سال است. روش‌های نادرست بهره‌برداری از زمین، قطع بی‌رویه درختان، چرای بیش از حد، توسعه بی‌رویه اراضی دیم، شخم در جهت شیب وعدم رعایت اصول بهره‌برداری به تشدید فرسایش کمک می‌کند (رفاهی، ۱۳۸۲). نوع بهره‌برداری از اراضی عامل بسیار مهمی در فرسایش و تولید رسوب حوضه‌های آبخیز به شمار می‌رود (Kassas, 1984). در کشور ایران به دلیل عدم توجه به مسئله قابلیت و تناسب کاربری اراضی، بیشتر اراضی به صورت نامعقول استفاده می‌شوند که این استفاده نادرست به شدت بر عرضه خدمت نگهداشت خاک تاثیر می‌گذارد. با بررسی نقش تغییرات کاربری اراضی در میزان فرسایش و رسوب در چهار حوضه در چین مشخص شد در مناطق جنگلی مقدار فرسایش و رسوب بین ۱۰ تا ۱۰۰ درصد کاهش داشت (Zhang et al., 2010). با هدف دستیابی به توسعه پایدار نیاز است مشخص شود که چه خدماتی و در کجا (در مقیاس‌های مکانی مختلف) تولید می‌شوند تا بدین وسیله سطح عرضه خدمات را بتوان مدیریت و پایش نمود. نقشه‌های خدمات اکوسیستم ابزار مهمی برای تصمیم‌گیران هستند و آنها را قادر می‌سازد تا به شکل مکانی، نواحی دارای ارزش حفاظتی (به علت عرضه زیاد خدمات) را شناسایی کنند. یکی از نرم‌افزارهای نقشه‌سازی خدمات اکوسیستم، نرم‌افزار یکپارچه ارزیابی خدمات اکوسیستم و همکنشی میان خدمات InVEST^۳ است که توسط پروژه سرمایه طبیعی^۴ توسعه یافته است و شامل مجموعه‌ای از مدل‌های مجزا است. هدف اصلی از توسعه نرم‌افزار InVEST و بویژه مدل نگهداشت خاک دستیابی به الگوی کلی از توزیع مکانی خدمات اکوسیستم در مقیاس منطقه‌ای و بررسی روند تغییرات آنها با توجه به تغییر کاربری و پوشش اراضی است (Sharp et al., 2014). توسعه دهندگان نرم‌افزار سعی نموده‌اند که با استفاده از مدل‌های ساده در مناطق با حداقل اطلاعات موجود، با نقشه‌سازی خدمات اکوسیستم، الگویی کلی از توزیع مکانی خدمات ارائه دهند. مطالعات زیادی با هدف مدل‌سازی خدمات اکوسیستم با نرم‌افزار InVEST انجام شده است که از آن جمله می‌توان به مطالعه هایر و چانگ^۵ (۲۰۱۴) اشاره نمود که اثر توسعه شهری و تغییر اقلیم بر خدمات هیدرولوژیک اکوسیستم از جمله میزان نگهداشت خاک را بررسی نمودند. تاکنون مطالعه‌ای در ایران به طور مستقیم با عنوان مدل‌سازی نگهداشت خاک به عنوان خدمت اکوسیستمی انجام نشده است. در مطالعات داخلی با هدف برآورد فرسایش خاک و بار رسوب از روش‌های مختلفی نظیر RUSLE (آرخی و نیازی، ۱۳۸۹)، SWAT و WetSpa (اکبری مجدر و بهره‌مند، ۱۳۹۱) استفاده شده است. مرور منابع نشان می‌دهد که مطالعات صورت گرفته با اجرای مدل‌های مختلف تنها به کمی‌سازی میزان هدر رفت خاک پرداخته‌اند که اغلب ماهیت مکانی ندارند. این مسئله لزوم معرفی نرم‌افزارهای نوین مدل‌سازی خدمات اکوسیستم را نشان می‌دهد. هدف از این مطالعه، مدل‌سازی خدمات اکوسیستم با نرم‌افزار InVEST برای نخستین بار در ایران است که خدمت اکوسیستمی نگهداشت خاک برای بررسی نقاط قوت و ضعف و کارایی این نرم‌افزار انتخاب شده است.

¹Nikkami et al

²Jalalian et al

³Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoff

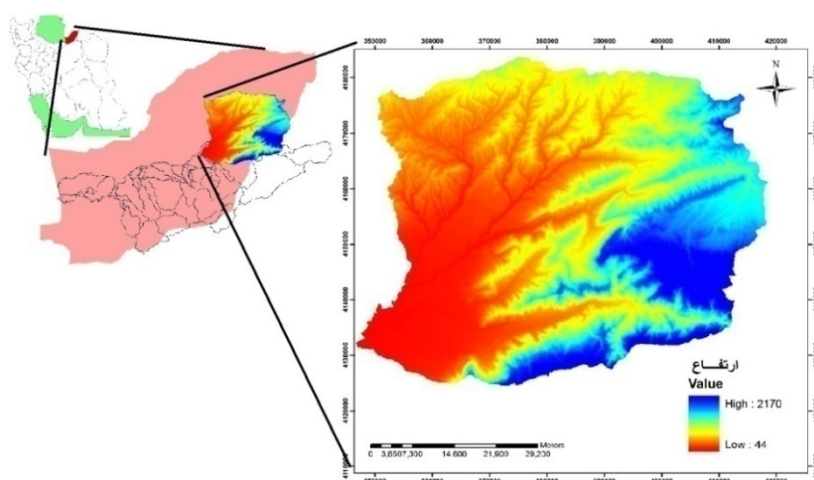
⁴ /http://www.naturalcapitalproject.org/InVEST.html

⁵Hoyer & Chang

مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، بخش شرقی حوضه آبخیز گرگانرود است که با مساحت ۳۱۷۸ کیلومتر مربع و میانگین ارتفاع ۶۳۴ متر در بخش جنوب شرقی دریای خزر در چین خوردگی‌های شمالی البرز قرار دارد. این حوضه با مختصات ۵۵ درجه و ۱۶ دقیقه و ۵۶ درجه و ۴ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۱۹ دقیقه و ۴۹ درجه و ۳۷ دقیقه عرض شمالی شامل شهرستان‌های مراوه تپه، کلالة و گالیکش است. کاربری‌های عمده محدوده مورد مطالعه اراضی کشاورزی آبی و دیم، جنگل و مرتع است. خروجی حوضه در محل سد گلستان به عنوان پست ترین نقطه محدوده مورد مطالعه در طبقه ارتفاعی ۴۴ تا ۷۹ متر از سطح دریا قرار دارد. شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

روش

در این پژوهش از بسته نرم‌افزاری InVEST 3.0.0 استفاده می‌شود. مدل نگهداشت خاک در نرم‌افزار InVEST، ظرفیت اکوسیستم در حفظ خاک^۱ (SR) را با در نظر گرفتن حداکثر هدررفت خاک طبق رابطه (۱) محاسبه می‌کند (Sharp et al., 2014).

$$SR = SL_{max} - SL_j \quad (1)$$

که در این رابطه SL_{max} حداکثر هدررفت خاک بدون در نظر گرفتن فاکتور پوشش گیاهی است که از رابطه (۲) به دست می‌آید و SL_j هدر رفت واقعی خاک است که طبق رابطه (۳) از معادله جهانی هدر رفت خاک (USLE)^۲ (Wischmeier & Smith, 1978) قابل تخمین است.

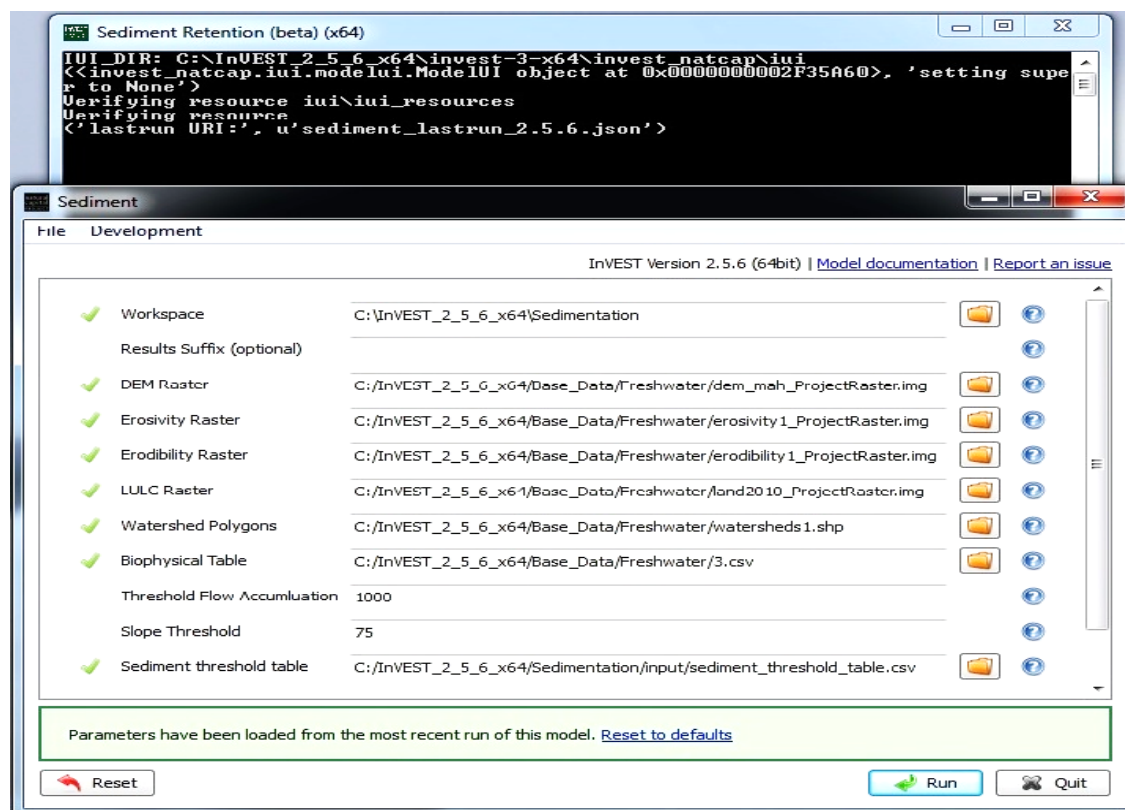
$$SL_{max} = R \times K \times LS \quad (2)$$

$$SL_j = R \times K \times LS \times C \times P \quad (3)$$

¹Soil Retention

² Universal Soil Erosion Equation

که در آن R: عامل فرساینده گی باران ، K: عامل فرسایش پذیری خاک، LS: عامل گرادیان طول شیب، C: عامل نوع پوشش و کاربری اراضی و P عامل اقدامات مدیریتی است. شکل ۲ نمایی از مدل نگهداشت خاک را نشان می دهد.



شکل ۲: نمایی از مدل نگهداشت خاک از نرم افزار InVEST

نقشه های پایه مورد نیاز جهت اجرای مدل شامل مدل رقومی ارتفاع (DEM)، کاربری اراضی، فرساینده گی باران، فرسایش پذیری خاک و پوشش گیاهی و کاربری اراضی می باشند که باید در قالب رستری به مدل ارائه شوند. نقشه محدوده حوضه آبخیز و زیرحوضه ها در قالب وکتور وارد مدل می شود. برای تهیه هر یک از داده های مورد نیاز به شیوه زیر عمل شد:

مدل رقومی ارتفاع (DEM)

در این مطالعه از لایه DEM ۹۰ متری استان استفاده شد که طی آن خود مدل پارامتر LS را از این لایه استخراج می کند.

نقشه کاربری اراضی

برای این لایه، از نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۰ استان گلستان (استخراج شده از تصویر سنجنده ETM ماهواره لندست ۷ (۲۰۱۰/۷) (ماهینی، ۱۳۹۲) استفاده شد.

شاخص فرساینده گی باران (R)

فرساینده گی باران به صورت قدرت تراکمی باران در بروز فرسایش تعریف می شود (Lal, 1990). معمول ترین شاخص فرساینده گی باران، عامل R مربوط به مدل های USLE (Yu & Rosewell, 1996) و (Renard & Freimund, 1994) RUSLE می باشد. عامل R، از حاصل ضرب انرژی جنبشی باران (E) در حداکثر شدت بارش ۳۰ دقیقه ای (I30) طبق رابطه (۴) بدست می آید:

$$R = E.I30 = (210 + \log_{10} I30) * I30 \quad (4)$$

از آنجا که نمودار بارندگی و داده‌های تفصیلی رگبار (شدت بارندگی) به ندرت در ایستگاه‌های هواشناسی موجود می‌باشند، غالباً از مقادیر متوسط بارندگی سالیانه (Renard & Freimund, 1994) و ماهیانه (Ferro et al., 1991) جهت برآورد عامل R استفاده می‌شود. برای محاسبه عامل R، بعد از تعیین ایستگاه‌های شاخص در منطقه مورد مطالعه، بارندگی ماهیانه و سالیانه در این ایستگاه‌ها در بازه زمانی ۲۵ ساله بازسازی شد. در مرحله بعد، با استفاده از معادله ذیل، شاخص فورنیه (F) و عامل R برای تمام ایستگاه‌ها بدست آمد. رابطه شاخص F، بصورت ذیل است (Renard & Freimund, 1994).

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{\sum_{i=1}^{12} p} \quad (5)$$

که در آن p_i : متوسط بارندگی (میلی‌متر) در ماه i و p متوسط بارندگی سالیانه (میلی‌متر) است. در این مطالعه، با استفاده از روابط (۶) و (۷)، شاخص F برای تمامی ایستگاه‌ها محاسبه شد و سپس با جایگذاری آن در روابط زیر که برای مناطق فاقد داده‌های تفصیلی رگبار (شدت بارندگی) پیشنهاد شده است، مقدار عامل R برای ایستگاه‌های شاخص برآورد شد (Renard & Freimund, 1994).

$$R - \text{factor} = (0.07397 * F^{1.847}) \quad F < 55\text{mm} \quad (6)$$

$$R - \text{factor} = (95.77 - 6.081 * F + 0.477 * F^2) \quad F \geq 55\text{mm} \quad (7)$$

شاخص فرسایش‌پذیری خاک (K)

این شاخص میزان آمادگی یا قابلیت ذرات خاک برای تفکیک یا انتقال توسط باران و رواناب را نشان می‌دهد که به شکل لایه‌ای رستری با ارزش فرسایش‌پذیری خاک برای هر سلول نشان داده می‌شود. در این مطالعه این عامل بر اساس اطلاعات بافت و ماده آلی خاک تعیین شد (جدول ۲).

جدول ۲: تخمین عامل K بر اساس بافت و میزان ماده آلی خاک (Roose, 1996)

طبقه بافت	ترکیب خاک			متوسط فاکتور k (براساس درصد ماده آلی)		
	شن	سیلت	رس	عدم وجود اطلاعات	< ۲٪	≥ ۲٪
رس	۰ - ۴۵	۰ - ۴۰	۴۰ - ۱۰۰	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۲۱
شنی رسی	۴۵ - ۶۵	۰ - ۲۰	۳۵ - ۵۵	۰/۲	۰/۲	۰/۲
سیلتی رسی	۰ - ۲۰	۴۰ - ۶۰	۴۰ - ۶۰	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۲۶
شنی	۸۶ - ۱۰۰	۰ - ۱۴	۰ - ۱۰	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۱
شنی لومی	۵۰ - ۷۰	۰ - ۵۰	۰ - ۲۰	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۱۲
رسی لومی	۲۰ - ۴۵	۱۵ - ۵۲	۲۷ - ۴۰	۰/۳	۰/۳۳	۰/۲۸
لومی	۲۳ - ۵۲	۲۸ - ۵۰	۷ - ۲۷	۰/۳	۰/۳۴	۰/۲۶
لومی شنی	۷۰ - ۸۶	۰ - ۳۰	۰ - ۱۵	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۴
شنی رسی لومی	۴۵ - ۸۰	۰ - ۲۸	۲۰ - ۳۵	۰/۲	۰/۲	۰/۲
سیلتی رسی لومی	۰ - ۲۰	۴۰ - ۷۳	۲۷ - ۴۰	۰/۳۲	۰/۳۵	۰/۳
سیلتی	۰ - ۲۰	۸۸ - ۱۰۰	۰ - ۱۲	۰/۳۸	۰/۴۱	۰/۳۷
سیلتی لومی	۲۰ - ۵۰	۷۴ - ۸۸	۰ - ۲۷	۰/۳۸	۰/۴۱	۰/۳۷

عامل پوشش گیاهی و کاربری اراضی (C)

این عامل نشان دهنده تأثیر فعالیت های کاشتی در مدیریت کشاورزی و اثر پوشش درختی، درختچه ای، علفی و زمینی بر کاهش فرسایش خاک است. در مدل RUSLE، عامل مدیریت پوشش گیاهی (C) معمولاً براساس معادلات تجربی تعیین می-گردد (Wischmeier & Smith, 1978). با این حال، پرکاربردترین معیار رویش پوشش گیاهی، شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) است. مطالعات نشان می دهد که NDVI همبستگی بالایی با زیست توده سطح زمین دارد (Lin, 1997). بعد از انجام تبدیل خطی معکوس از نمونه های تعلیمی، رابطه بین C و NDVI می تواند به صورت زیر ایجاد گردد:

$$C = (1 - NDVI) / 2 \quad (8)$$

در این مطالعه، نقشه عامل C براساس نقشه NDVI (ماهینی، ۱۳۹۲) تهیه شد. در حقیقت این عامل به طور کامل، رابطه معکوس با NDVI دارد (آرخی و نیازی، ۱۳۸۹).

عامل عملیات حفاظتی (P)

عامل عملیات حفاظتی (P)، نسبت خاک فرسایش یافته در شرایط انجام عملیات حفاظتی به فرسایش ایجاد شده در شرایط استاندارد یعنی شخم در جهت شیب است (Renard et al., 1997). در این مطالعه، مقادیر عامل P از طریق طبقه بندی مجدد انواع پوشش زمین و بر اساس مقادیر پیشنهادی در جدول ۳ تعیین شد.

جدول ۳: ارزش P برای کاربری و پوشش اراضی مختلف (Deore, 2005)

ارزش عددی P	طبقه کاربری اراضی
۱	اراضی بایر
۰/۱۲	نیشکر
۰/۱	گندم
۰/۸	جنگل تنک
۱	اراضی آیش
۰/۸	جنگل با تراکم متوسط
۰/۸	جنگل باز
۱	بستر رودخانه

یافته ها (نتایج)

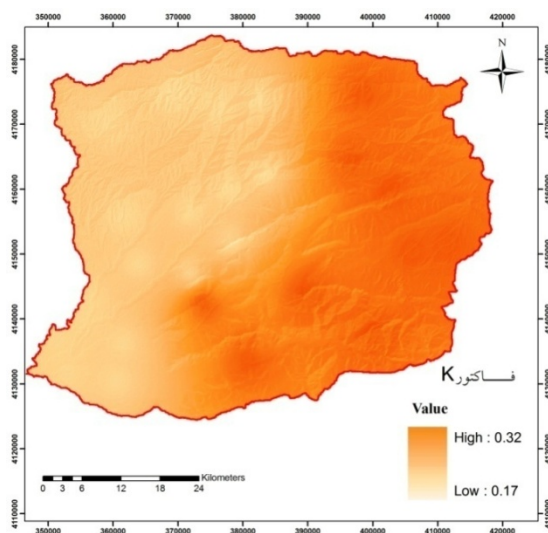
همانطور که در جدول ۴ مشاهده می شود، شاخص فورنی و مقادیر فرساینده گی باران برای ۱۲ ایستگاه طی دوره آماری ۲۵ ساله محاسبه شد که براساس آن نقشه فرساینده گی باران مطابق شکل ۳ در محیط Arc GIS9.3 به دست آمد. با توجه به درصد ماده آلی و بافت خاک منطقه مورد مطالعه (ماهینی، ۱۳۹۲)، مقادیر متوسط شاخص فرسایش پذیری خاک با توجه به جدول ۲ محاسبه شد که از ۰/۱۷ تا ۰/۳۲ در منطقه متغیر است. شکل ۴ توزیع مکانی فرسایش پذیری خاک در منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد.

¹Normalized Difference Vegetation Index

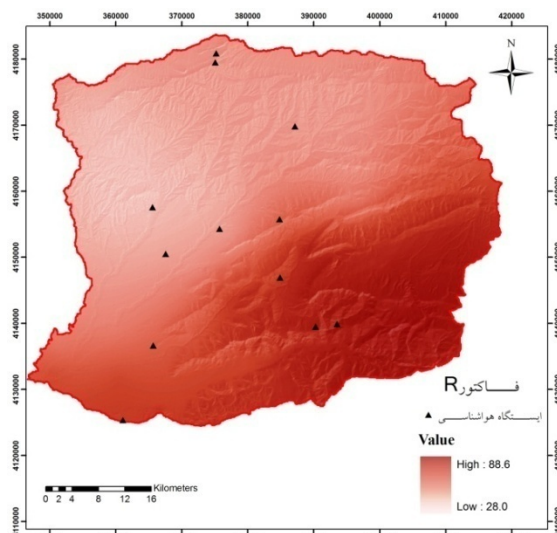
همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، نقشه عامل C براساس NDVI تهیه شد. مقدار عامل C بین ۰/۰۱- و ۰/۶ متغیر است. بیشترین مقدار این پارامتر در مناطق بدون پوشش گیاهی است و کمترین مقدار آن در مناطقی است که پوشش متراکم دارد. اطلاعات فاکتور P از طریق طبقه‌بندی هر تیپ کاربری اراضی با توجه به جدول ۳ محاسبه شد به این ترتیب به کاربری‌های توسعه شهری و روستایی، جنگل، مرتع، کشاورزی و منابع آب به ترتیب مقادیر ۱، ۰/۸، ۰/۶، ۰/۱ و ۱ اختصاص یافت.

جدول ۴: محاسبه و برآورد شاخص فورنیه و مقادیر فرساینده‌ی باران (R)

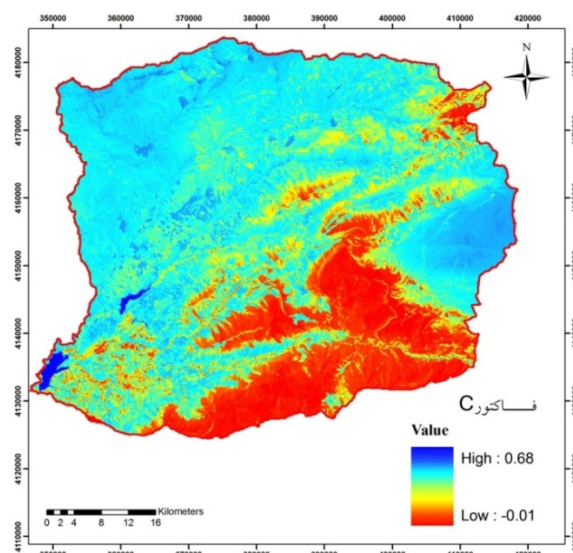
ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع ایستگاه (متر)	بارندگی (میلی‌متر)	F factor	R (MJmmha-1h-1y-1)
۱	تمر	۳۶۷۵۸۴	۴۱۵۰۵۰۴	۱۳۲	۵۲۹/۴۰	۲۸/۹۸	۳۷/۱۰
۲	تنگراه	۳۹۰۲۸۸	۴۱۳۹۴۷۱	۳۳۰	۷۶۲/۱۰	۳۸/۶۷	۶۳/۲۰
۳	گالیکش	۳۶۱۰۸۶	۴۱۲۵۳۴۶	۲۵۰	۸۴۳/۵۱	۴۱/۹۸	۷۳/۵۵
۴	عزیزآباد	۳۸۴۸۳۵	۴۱۵۵۷۳۲	۳۱۹	۵۵۸/۶۲	۲۹/۴۰	۳۸/۱۱
۵	کریم ایشان	۳۸۷۱۶۲	۴۱۶۹۸۸	۵۸۹	۵۵۸/۶۲	۲۹/۴۰	۳۸/۱۱
۶	قره آقاچ	۳۷۵۰۸۱	۴۱۷۹۴۸۶	۴۶۳	۵۲۹/۴۰	۳۰/۱۲	۳۹/۸۴
۷	پیش کمر	۳۷۵۷۳۱	۴۱۵۴۲۹۱	۲۵۶	۵۱۸/۸۳	۲۶/۵۱	۳۱/۴۷
۸	سوارپاین	۳۸۴۹۰۹	۴۱۴۶۹۱۴	۵۰۰	۸۷۱/۲۹	۴۶/۱۲	۸۷/۵۰
۹	بلی بلاق	۳۶۵۵۹۵	۴۱۵۷۵۶۲	۲۰۷	۴۴۱/۳۷	۲۴/۲۶	۲۶/۷۲
۱۰	کلالة	۳۶۵۷۰۰	۴۱۳۶۶۲۸	۱۲۹	۸۷۱/۲۹	۳۸/۶۷	۶۳/۲۰
۱۱	پارک ملی گلستان	۳۹۳۵۶۸	۴۱۳۹۹۰۳	۴۶۰	۹۴۳/۱۱	۴۶/۵۶	۸۹/۰۶
۱۲	قویجیق	۳۷۵۲۲۴	۴۱۸۰۸۷۱	۵۰۰	۵۲۹/۴۰	۳۰/۱۲	۳۹/۸۴



شکل ۴: نقشه فاکتور K حوزه شرقی گرگانرود

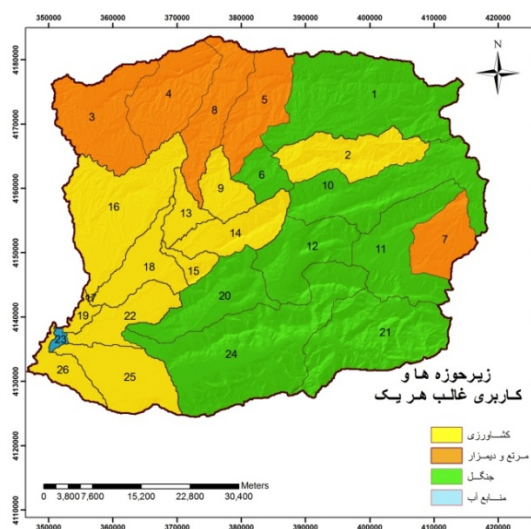


شکل ۳: نقشه فاکتور R حوزه شرقی گرگانرود

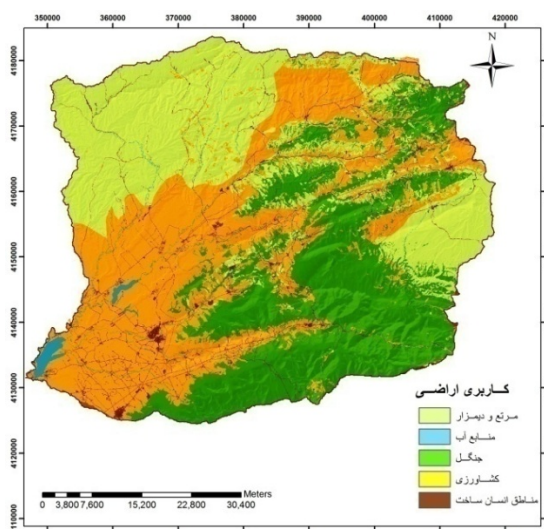


شکل ۵: نقشه فاکتور C حوزه شرقی گرگانرود

شکل ۶ کاربری اراضی موجود در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همانطور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، بیش از ۶۰ درصد منطقه مورد مطالعه به مراتع و اراضی کشاورزی، ۳۰/۷ درصد شامل پوشش جنگلی و ۲/۹ درصد به مناطق انسان ساخت و منابع آب اختصاص دارد. همانطور که در جدول ۶ مشخص است، با تفکیک منطقه مورد مطالعه به ۲۶ زیرحوضه و تعیین کاربری غالب از نظر مساحت در هر زیرحوضه مشخص شد که معادل ۴۹/۸ درصد مساحت حوزه مورد مطالعه را زیرحوضه-های با پوشش غالب جنگلی، ۱۰ زیرحوضه کاربری غالب کشاورزی، ۷ زیرحوضه معادل ۲۰/۰ درصد کل حوزه مورد مطالعه کاربری غالب مرتع و دیمزار دارد، درحالی که در زیرحوضه ۲۳ کاربری غالب را آب تشکیل می‌دهد.



شکل ۷: زیرحوضه‌ها و کاربری غالب هر یک



شکل ۶: نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

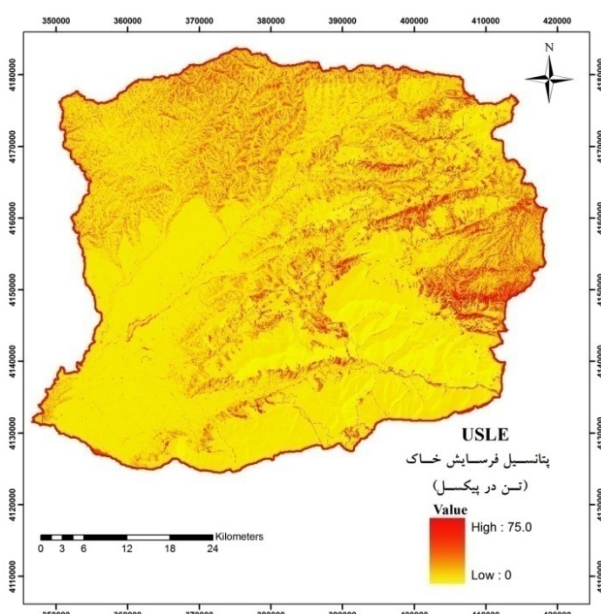
جدول ۵: مساحت و درصد اختصاص یافته به هر طبقه کاربری اراضی

سال	کاربری	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
۲۰۱۰	مناطق انسان ساخت (شهر و روستا، جاده)	۸۶۶۷/۴	۲/۷
	جنگل	۹۷۲۶۶/۱	۳۰/۷
	مراعات و دیمزار	۹۶۱۴۵/۳	۳۰/۲
	کشاورزی	۱۱۱۹۶۷/۶	۳۵/۲
	منابع آب (سد و رودخانه)	۳۷۸۴/۷	۱/۲
	مجموع	۳۱۷۸۳۱/۱	۱۰۰

جدول ۶: کاربری غالب در هر زیرحوزه

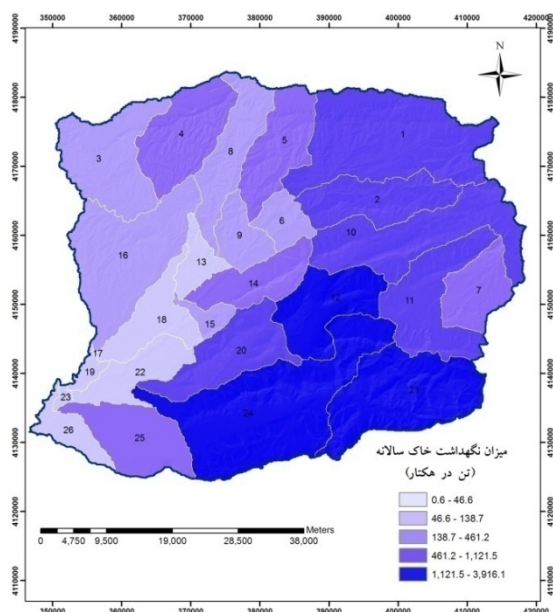
کاربری غالب	زیرحوزه	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (درصد)
جنگل	۱-۷-۱۰-۱۱-۱۲-۲۰-۲۱-۲۴	۱۵۸۴/۰	۴۹/۸
کشاورزی	۲-۱۴-۱۵-۱۶-۱۷-۱۸-۱۹-۲۲-۲۵-۲۶	۹۴۹/۴	۲۹/۲
مرتع و دیمزار	۳-۴-۵-۶-۸-۹-۱۳	۶۳۸/۴	۲۰/۱
منابع آب	۲۳	۶/۳۰	۰/۹

هدر رفت سالانه خاک: همانطور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، با اجرای مدل نقشه پتانسیل هدررفت خاک سالانه تهیه شد که مقادیر آن از ۰ تا ۷۵ تن در هکتار در سال در سطح پیکسل متغیر می‌باشد. مناطق با پتانسیل فرسایش زیاد عمدتاً در مسیر آبراهه‌ها و در بخش شرقی و شمال شرقی منطقه مورد مطالعه در مناطق جنگلی مرتفع با شیب بالا قرار دارند. می‌توان به اثر فرساینده‌گی باران در افزایش فرسایش مناطق شرقی حوضه که مقادیر فرسایش زیاد دارند، اشاره نمود.

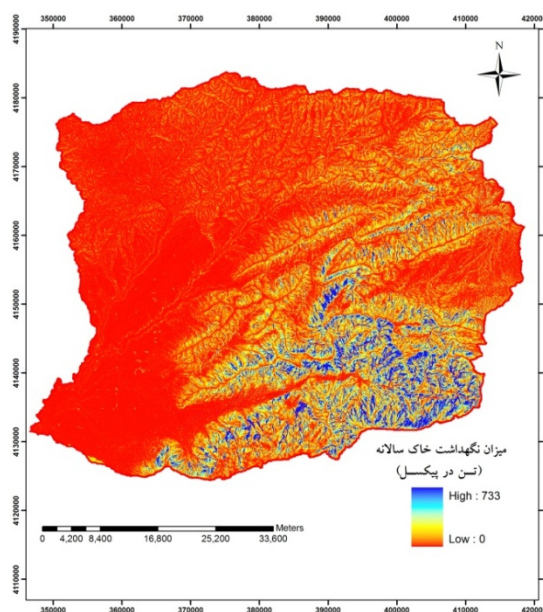


شکل ۸: نقشه پتانسیل هدررفت خاک سالانه

نگهداشت سالانه خاک: میزان نگهداشت سالانه خاک در منطقه مورد مطالعه با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد که میزان سالانه آن از ۰ تا ۷۳۳ تن در سطح پیکسل متغیر است (شکل ۹). مجموع نگهداشت سالانه خاک در هر زیرحوضه در شکل ۱۰ قابل مشاهده است که از ۰/۵ تا ۳۹۱۶ تن در هکتار در هر زیرحوضه متغیر است. همانطور که در جدول ۷ مشاهده می شود، زیرحوضه های با پوشش غالب جنگل بیشترین میزان نگهداشت خاک کل حوضه معادل ۸۶/۲ درصد را به خود اختصاص داده اند و کمترین میزان نگهداشت خاک به اراضی کشاورزی پایین دست حوضه اختصاص دارد.



شکل ۱۰: میزان نگهداشت خاک به عنوان خدمت اکوسیستمی



شکل ۹: میزان نگهداشت خاک به عنوان خدمت اکوسیستمی

جدول ۷: سهم نواح کاربری اراضی در نگهداشت خاک سالانه

میزان نگهداشت خاک سالانه (درصد)	زیرحوضه	کاربری اراضی غالب
۸۶/۲	۱-۶-۱۰-۱۱-۱۲-۲۰-۲۱-۲۴	جنگل
۸/۴	۳-۴-۵-۷-۸	مرتع و دیمزار
۵/۴	۲-۹-۱۳-۱۴-۱۵-۱۶-۱۷-۱۸-۱۹-۲۲-۲۵-۲۶	کشاورزی
۰/۰	۲۳	منابع آب

بحث و نتیجه گیری

این مطالعه نشان داد که زیرحوضه های با پوشش غالب جنگل بیشترین نقش را در نگهداشت خاک و عرضه این خدمت اکوسیستمی ایفا می کنند. شناسایی اهمیت پوشش جنگلی به عنوان منبع مهم عرضه خدمات اکوسیستم از جمله نگهداشت خاک در مناطق دیگر نیز قابل مشاهده است. مارتینز و همکاران^۱ (۲۰۰۹) نشان دادند که مناطق جنگلی در مکزیکو به عنوان بزرگترین منبع عرضه خدمات اکوسیستم محسوب می شوند. تاج پوشش درختان جنگلی و چگونگی توزیع مکانی آنها اثر مهمی بر

¹Martinez et al

هیدرولوژی و فرسایش خاک دارد. پوشش گیاهی، خاک را در مقابل فرسایش آبی از راه کاهش تولید رواناب و افزایش نفوذ آب در خاک حفظ می‌کند (Wainwright et al., 2002) و نیز خاک را با ریشه‌هایش تثبیت می‌کند (Gyssels et al., 2005). پوشش گیاهی همچنین انرژی قطرات باران را به وسیله اندام هوایی به خصوص تاج پوشش کاهش می‌دهد. بنابراین، پوشش گیاهی می‌تواند به عنوان مانع فیزیکی در رخداد فرسایش عمل کند و جریان رسوبات را در سطح زمین تغییر دهد (Negi et al., 1998). امروزه اهمیت خدمات اکوسیستم بویژه نگهداشت خاک بر کسی پوشیده نیست و با توجه به نیاز روزافزون به کسب اطلاعات کامل‌تر و جزئی‌تر از موقعیت مکانی خدمات با هدف مدیریت آنها نیاز است که از مدل‌های مناسب در این زمینه بهره گرفته شود. نقشه‌سازی توزیع مکانی خدمات اکوسیستمی نگهداشت خاک، ابزاری مفید برای شناسایی مناطق دارای ارزش نگهداشت خاک است. باید توجه داشت که روش USLE روشی استاندارد برای محاسبه پتانسیل هدررفت خاک است، اما محدودیت‌هایی دارد. از جمله، این روش فرسایش را از آبشست سطحی پیش بینی می‌کند (فرسایش از دشت‌های با شیب ملایم) (FAO, 2002) و فرایندهای فرسایش و رسوبگذاری شیاری، خندقی و کنار رودخانه‌ای در این مدل وارد نمی‌شود. باید توجه داشت که صحت پاسخ حاصله به میزان دقت و صحت داده‌های ورودی بستگی دارد. ارزش واقعی هر مدل در این است که نیازهای اطلاعاتی بهره‌بردار را برآورده نماید، از قابلیت اعتماد و دقت قابل توجهی برخوردار باشد، به حداقل اطلاعات ورودی نیاز داشته و این اطلاعات در دسترس باشد و اینکه نتایج حاصل از مدل کارایی قابل قبولی داشته باشد (فیض‌نیا، ۱۳۸۷). با اجرای مدل کنترل فرسایش نتیجه‌گیری شد که در مقایسه با سایر مدل‌های هیدرولوژیک و فرسایش و رسوب، این مدل قادر است با وارد سازی اطلاعات حداقل، خروجی‌های مفیدی در زمینه این خدمات اکوسیستمی در اختیار کاربر قرار دهد. از نقشه بدست آمده می‌توان در ارزیابی و آمایش سرزمین رایانه‌ای استفاده نمود تا بدین ترتیب تعیین مکان‌یابی کاربری‌ها از هوشمندی بیشتری برخوردار باشد. از سوی دیگر، در ارزیابی اثرات توسعه، این نقشه‌ها کمک فراوانی در تعیین اثرات توسعه به شکل واقعی‌تر می‌نمایند. انتخاب مناطق حفاظت شده، تعیین ارزش‌های محیط زیستی و اقدام برای تعیین میزان پرداختی به ازای خدمات اکوسیستمی^۱، از این نقشه‌ها سود فراوان خواهد برد. اولین گام در اجرای مدل ارائه شده در این مطالعه، وارد سازی نقشه DEM به منظور تهیه نقشه شیب، آبراهه‌ها، جهت جریان و تجمع جریان است. نتایج نشان داد که مدلا اجرا شده از الگوریتم‌های لازم برای شناسایی و رفع خطای DEM برخوردار نبوده و به دلیل عدم تطابق نقشه DEM با شبکه آبراهه‌های ایجاد شده، نقشه جهت جریان به دست آمده با مسیر آبراهه‌ها انطباق کافی نداشت. لذا، با توجه به حالت منبع باز مدل، نوشتن الگوریتم و کدنویسی مناسب برای خواندن شبکه آبراهه‌ای رقومی شده و یا ردیابی صحیح مسیر جریان از نقطه شروع هر شاخه تا خروجی حوضه آبخیز برای این مدل ضروری است. البته می‌توان از نرم‌افزارهایی نظیر Digem و SAGA و TAS و نظیر آنها برای تصحیح pit یا depression و قله‌های غیر واقعی یا spike در مدل رقومی ارتفاع استفاده نمود و سپس آنرا وارد نرم‌افزار InVEST نمود.

¹Payment for Ecosystem Services

فهرست منابع

۱. آرخی، ص.، نیازی، ا. ۱۳۸۹. بررسی کاربرد GIS و RS برای تخمین فرسایش خاک و باررسوب با استفاده از مدل RUSLE (مطالعه موردی: حوضه بالا دست سد ایلام). مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک. شماره ۲، ص ۱-۲۷.
۲. اکبری مجدر، ح.، بهره مند، ع. ۱۳۹۱. مقایسه روش های شبیه سازی هدر رفت خاک و تولید رسوب در مدل های SWAT و WetSpa. مجله حفاظت و بهره برداری منابع طبیعی. شماره ۴، ۷۷-۶۳.
۳. رفاهی، ح. ۱۳۸۲. فرسایش آبی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران. ۶۷۱ ص.
۴. فیض نیا، س. ۱۳۸۷. رسوب شناسی کاربردی با تاکید بر فرسایش خاک و تولید رسوب. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۳۵۶ ص.
۵. سلمان ماهینی، ع. ۱۳۹۲. طرح آمایش استان گلستان. گزارش فاز اول. استانداری گلستان.
6. 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 Pune Pune).
7. Eswaran, H., Lal, R., & Reich, P. F. (2001). Land degradation: an overview. *Responses to Land degradation*, 20-35.
8. FAO. (2002). FAOSTAT Homepage of Food and Agriculture Organization of the United Nations, Online 2008, 9/11.
9. Ferro, V., Giordano, G., & Iovino, M. (1991). Iso-erosivity and erosion risk map for Sicily. *Hydrological sciences journal*, 36(6), 549-564.
10. Gyssels, G., Poesen, J., Bochet, E., & Li, Y. (2005). Impact of plant roots on the resistance of soils to erosion by water: a review. *Progress in physical geography*, 29(2), 189-217
11. Hoyer, R., & Chang, H. (2014). Assessment of freshwater ecosystem services in the Tualatin and Yamhill basins under climate change and urbanization. *Applied Geography*, 53, 402-416.
12. Jalalian, A., Ghahsareh, A. M., & Karimzadeh, H. R. (1996, June). Soil erosion estimates for some watersheds in Iran. In *International Conference on Land Degradation* (Vol. 10, No. 14, pp. 12-13).
13. Kassas, M. (1984). The global biosphere: Conservation for survival. *World Futures: Journal of General Evolution*, 19(3-4), 209-222.
14. Lal, R. (1990). Soil erosion and land degradation: the global risks. In *Advances in soil science* (pp. 129-172). Springer New York.
15. Lin, C. Y. (1997). A study on the width and placement of vegetated buffer strips in a mudstone-distributed watershed. *J. Chin. Soil Water Conserv*, 29(3), 250-266.
16. Martínez, M. L., Pérez-Maqueo, O., Vázquez, G., Castillo-Campos, G., García-Franco, J., Mehltreter, K., & Landgrave, R. (2009). Effects of land use change on biodiversity and ecosystem services in tropical montane cloud forests of Mexico. *Forest Ecology and Management*, 258(9), 1856-1863.
17. Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: scenarios: findings of the Scenarios Working Group* (Vol. 2). Island Press.
18. Negi, G. C. S., Joshi, V., & Kumar, K. (1998). Spring sanctuary development to meet household water demand in the mountains: a call for action. *Research for Mountain Development: Some Initiatives and Accomplishments*. Gyanodya Prakashan, Nainital, India, 25-48.
19. Nikkami, D., Shabani, M., Ahmadi, H. (2009). Land use scenarios and optimization in a watershed. *Journal of Applied Sciences*, 9 (2): 287-295.

20. Renard, K. G., Freimund, J. R. (1994). Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of hydrology*, 157(1), 287-306.
21. Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., & 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.
22. Roose, E. (1996). *Land husbandry: components and strategy* (Vol. 70). Rome: FAO.
23. Sharp, R., Chaplin-Kramer, R., Wood, S., Guerry, A. D., Tallis, H. T., Taylor, R. (2014). InVEST 3.0. 0 User's Guide. The Natural Capital Project.
24. Wainwright, J., Parsons, A. J., Schlesinger, W. H., & Abrahams, A. D. (2002). Hydrology-vegetation interactions in areas of discontinuous flow on a semi-arid bajada, southern New Mexico. *Journal of Arid Environments*, 51(3), 319-338.
25. Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses-A guide to conservation planning. *Predicting rainfall erosion losses-A guide to conservation planning*.
26. Yu, B., & Rosewell, C. J. (1996). Technical Notes: A Robust Estimator of the R-factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the ASAE*, 39(2), 559-561.
27. Zhang, X., Wenhong, C., Qingchao, G., & Sihong, W. U. (2010). Effects of land use change on surface runoff and sediment yield at different watershed scales on the Loess Plateau. *International Journal of Sediment Research*, 25(3), 283-293.



Environmental Erosion Research

journal homepage: <http://magazine.hormozgan.ac.ir>



Modeling Sediment Retention Ecosystem Service using InVEST software (Case study: Eastern Part of Gorgan-Rud Watershed)

Asadolahi, Z.^{1*}, Salmanmahiny, A.¹, Mirkarimi, S.H.¹, Azimi, M.²

1. *Department of Environmental Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources*
2. *Rangeland Management Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources*

Abstract

Ecosystem services are benefits that people obtain from ecosystems directly or indirectly. Soil retention as an ecosystem service is the capacity of ecosystems to maintain soil and control erosion. To assess soil retention service, we used InVEST3.0.0 software for the eastern part of Gorgan-Rud Watershed in Golestan Province. Universal Soil Loss Equation (USLE) was used to estimate the soil loss and soil retention was estimated through RKLS-USLE equation. Findings revealed that the soil loss potential varies between 0 and 66.3 (t/ha). The overall soil retention in sub-watersheds varied between 0.5 and 4530.2 (t/ha). According to the results, in sub-watersheds dominated by forest cover, the maximum amount of sediment retention was 86.2%. The minimum amount of sediment retention was identified in sub-watersheds with agriculture as dominant use. Compared to other hydrological models, we can conclude that soil retention model provided by InVEST software requires minimal input data, while at same time it produces useful outputs.

Article History:

Received:
30, September 2015
Revised:
27, February 2016
Accepted:
01, March, 2016

Keywords:

**Ecosystem
Erosion Control
Universal Soil
Loss Equation
InVEST Software**

* Corresponding Author Email: z_asadolahi@yahoo.com