محیط زیست و مهندسی آب
شابک : ۲۴۷۶-۳۶۸۳

Environment and
Water Engineering
ISSN: 2476-3683

کاربست مدل خدمات بوم‌سازگان InVEST در اولویت‌بندی زیرآبخیزهای تالار از نظر هدررفت خاک، نگهداشت و تولید رسوب

محسن ذبیحی، حمیدرضا مرادی، عبدالواحد خالدی درویشان و مهدی غلامعلی‌فرد

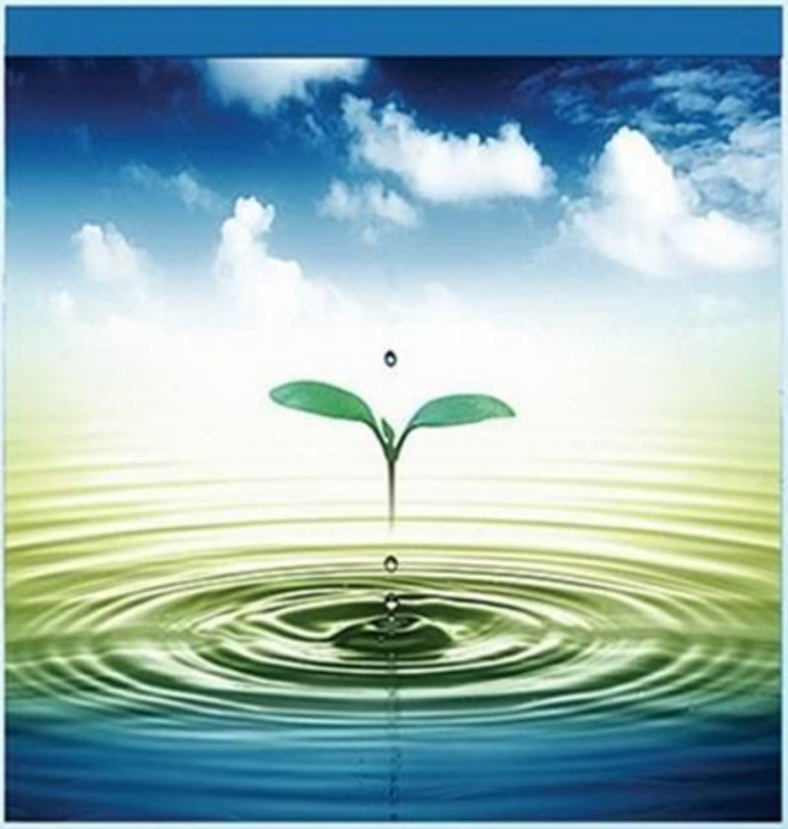
دوره ۷، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، صفحات ۳۰۳- ۲۹۳

Vol. 7(2), Summer 2021, 293-303

DOI: 10.22034/jewe.2020.257980.1470

Application of InVEST Ecosystem Services Model to Prioritize Sub-Watersheds of Talar in Term of Soil Erosion, Sediment Retention and Yield

Zabihi, M., Moradi, H., Khaledi Darvishan, A. and Gholamalifard, M.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله:

ذبیحی، م.، مرادی، ح.، خالدی درویشان، ع.، غلامعلی‌فرد، م. (۱۴۰۰). کاربست مدل خدمات بوم‌سازگان InVEST در اولویت‌بندی زیرآبخیزهای تالار از نظر هدررفت خاک، نگهداشت و تولید رسوب. محیط‌زیست و مهندسی آب، دوره ۷، شماره ۲، صفحات: ۳۰۳-۲۹۳.

Citing this paper: Zabihi, M., Moradi, H., Khaledi Darvishan, A. and Gholamalifard, M. (2021). Application of InVEST ecosystem services model to prioritize sub-watersheds of Talar in term of soil erosion, sediment retention and yield. Environ. Water Eng., 7(2), 293–303. DOI: 10.22034/jewe.2020.257980.1470

مقاله پژوهشی

کاربست مدل خدمات بوم‌سازگان InVEST در اولویت‌بندی زیرآبخیزهای تالار از نظر هدررفت خاک، نگهداشت و تولید رسوب

محسن ذبیحی[۱]، حمیدرضا مرادی[۲*]، عبدالواحد خالدی‌درویشان[۳] و مهدی غلامعلی‌فرد[۳]

[۱]دانش‌آموخته دکتری، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
[۲]دانشیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
[۳]استادیار، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

[*] **نویسنده مسئول:** hrmoradi@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۰۹/۰۱] **تاریخ بازنگری:** [۱۳۹۹/۰۹/۳۰] **تاریخ پذیرش:** [۱۳۹۹/۱۰/۰۸]

چکیده

خدمات بوم‌سازگان به سود و مزایای فراهم‌شده مستقیم و غیرمستقیم توسط بوم‌سازگان برای مردم اطلاق می‌شود. مفهوم خدمات بوم‌سازگان در سال‌های اخیر به‌عنوان ابزاری برای تصمیم‌سازی جامع در مدیریت منابع طبیعی، طراحی سیاست‌های کاربری اراضی و آمایش سرزمین شناخته‌شده است. در همین راستا، پژوهش حاضر با هدف اجرای مدل خدمات بوم‌سازگان نسبت تحویل رسوب InVEST و اولویت‌بندی زیرآبخیزهای تالار در استان مازندران از نظر هدررفت خاک، نگهداشت رسوب و تولید رسوب برنامه‌ریزی شد. بدین منظور، عوامل ورودی مدل شامل فرسایندگی باران، فرسایش‌پذیری خاک، کاربری اراضی، مدل رقومی ارتفاع، مدیریت زراعی، مدیریت اراضی، شاخص اتصال رسوبی، پارامتر K (تعیین‌کننده شکل ارتباط اتصال هیدرولوژیک و نسبت تحویل رسوب) و حداکثر نسبت تحویل رسوب در آبخیز مطالعاتی تهیه و برای اجرا به مدل مذکور معرفی شد. بر اساس نتایج، مقدار هدررفت خاک، نگهداشت رسوب و تولید رسوب بر حسب ton در مقیاس سالانه به‌ترتیب برابر با ۶۵۲۶۸۳، ۷۵۷۵۸۸ و ۵۷۴۲۶ به‌دست آمد. هم‌چنین، تغییرات مکانی متغیرهای موردبررسی حاکی از روند افزایشی از سمت جنوب به شمال آبخیز مطالعاتی می‌باشد. علاوه بر این، زیرآبخیز آسران (۲/۲۳ ton/ha) از نظر خدمت هیدرولوژیک نگهداشت رسوب و زیرآبخیز قدمگاه از نظر هدررفت خاک (ton/ha ۴/۴۳) و تولید رسوب (۰/۳۹ ton/ha) به‌عنوان زیرآبخیزهای بحرانی مشخص شدند. نتایج اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها بر اساس نگهداشت رسوب می‌تواند در سیاست‌گذاری‌های مرتبط با محیط‌زیست به‌منظور انجام عملیات‌های اجرایی احیاء و در نهایت نیل به توسعه پایدار در منطقه مطالعاتی مورداستفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: توسعه پایدار؛ خدمت هیدرولوژیک آبخیز؛ کاربری اراضی؛ مدیریت سرزمین.

۱- مقدمه

خدمات بوم‌سازگان (آبخیز) به سود و مزایای فراهم‌شده مستقیم و غیرمستقیم توسط بوم‌سازگان (آبخیز) برای مردم اطلاق می‌شود (Fu et al. 2017). مفهوم خدمات بوم‌سازگان در سال‌های اخیر به‌عنوان ابزاری برای تصمیم‌سازی جامع در مدیریت منابع طبیعی، طراحی سیاست‌های کاربری اراضی، حفاظت از تنوع زیستی و آمایش سرزمین شناخته و پذیرفته‌شده است (Grêt-Regamey et al. 2012)؛ بنابراین، ایجاد پل ارتباطی بین اصول مدیریت صحیح آب‌وخاک به‌عنوان منابع مهم بوم‌سازگان با سیاست‌ها به‌منظور لحاظ ارزش خدمات بوم‌سازگان‌های طبیعی در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی در مقیاس‌های محلی، منطقه‌ای و ملی ضروری است (Vorstius and Spray 2015). در همین ارتباط، ناملموس بودن برخی از خدمات بوم‌سازگان‌ها از جمله نگرانی‌های پژوهش‌گران و سیاست‌گذاران در تصمیم‌سازی‌های صحیح مدیریتی سازگار با محیط‌زیست به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه می‌باشد. لیکن، تعیین و کمی‌سازی خدمات ملموس و قابل اندازه‌گیری بوم‌سازگان به‌عنوان یکی از مراحل اولیه و کلیدی در مدیریت جامع آبخیزها به شمار می‌رود. نگهداشت رسوب یک خدمت هیدرولوژیک کلیدی در آبخیز است که می‌تواند سایر خدمات موجود در بوم‌سازگان را تحت تأثیر قرار دهد. روش‌های متعددی برای ارزیابی وضعیت خدمات بوم‌سازگان و آبخیز وجود دارد که استفاده از مدل‌های ساده در شبیه‌سازی فرآیندهای طبیعی به علت داده‌های ورودی اندک و قابل‌دسترس، سهولت استفاده و کاربرپسند بودن آن متداول‌تر است (Vigerstol and Aukema 2011). در این راستا، مدل خدمات بوم‌سازگان InVEST[1] به‌عنوان نخستین گزینه انتخابی در بررسی خدمات بوم‌سازگان در دنیا مطرح می‌باشد که بر اساس مطالعه Ochoa and Cardona (2017) پراستفاده‌ترین ابزار در مدل‌سازی خدمات بوم‌سازگان از سال ۲۰۰۹ قلمداد می‌شود (Sharp et al. 2018).

پژوهش‌های مختلفی در اقصی نقاط دنیا و ایران در خصوص بررسی وضعیت خدمت هیدرولوژیک نگهداشت رسوب صورت گرفته است. در همین راستا، Bangash et al. (2013) اثر سناریوهای تغییر اقلیم بر کنترل هدررفت خاک در آبخیز Llobregat اسپانیا را با استفاده از مدل InVEST مطالعه نموده و نشان دادند که لایروبی مخازن برای تأمین آب شرب با توجه به افزایش بیش از ۲۳٪ هدررفت خاک از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. Hamel et al. (2015) در مطالعه‌ای در آبخیز Cape Fear ایالات‌متحده آمریکا نشان دادند که مدل InVEST علی‌رغم کمبود داده‌ها در برخی مناطق مطالعاتی برای واسنجی، اطلاعات و نتایج مناسبی به‌منظور ارزیابی خدمات بوم‌سازگان و به‌ویژه در اولویت‌بندی مناطق مختلف فراهم می‌نماید. Bogdan et al. (2016) خدمت هیدرولوژیک نگهداشت رسوب آبخیزی در رومانی با بهره‌گیری از مدل InVEST را ارزیابی کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین کاهش و افزایش نگهداشت رسوب به‌ترتیب برای سناریوهای توسعه و حفاظت بوده است. Bouguerra and Jebari (2017) در پژوهشی با هدف اولویت‌بندی زیرآبخیزهای رودخانه Rmel تونس با استفاده از مدل نسبت تحویل رسوب InVEST به این نتیجه رسیدند که ۶۰٪ از زیرآبخیزها هدررفت خاک بیش از ۵ ton/ha.yr دارند. Cerretelli et al. (2018) در ارزیابی مکانی تخریب سرزمین با استفاده از رویکرد خدمات بوم‌سازگان و بررسی اثر دقت مکانی داده‌ها در نتیجه مدل نگهداشت رسوب در اتیوپی پیشنهاد نمودند که برای استفاده از داده‌های با مقیاس جهانی در مقیاس محلی احتیاط لازم صورت پذیرد. Bai et al. (2019) با بررسی اثر تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر خدمت بوم‌سازگان نگهداشت رسوب در منطقه Kentuck ایالات‌متحده آمریکا نشان دادند که تغییر کاربری اراضی در مقیاس ایالت بر نگهداشت رسوب اثر بیش‌تری می‌گذارد. ارتباط معنی‌دار معکوس بین شدت خدمات بوم‌سازگان و تغییر کاربری اراضی به‌ویژه در کلان‌شهرها ازجمله یافته‌های Chen et al. (2019) در چین می‌باشد. در ایران نیز Asadolahi et al. (2015) به مدل‌سازی خدمت هیدرولوژیک نگهداشت رسوب با استفاده از مدل InVEST در بخش شرقی آبخیز گرگان‌رود پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مقادیر هدررفت خاک از صفر تا ۷۵ ton/yr در سطح پیکسل متغیر است. هم‌چنین مجموع نگهداشت رسوب نیز از ۰/۵ تا ۳۹۱۶ ton/ha/yr در هر زیرآبخیز متغیر است. Motamedi et al. (2020) در بررسی ارتباط الگوی سیمای سرزمین و رسوب در برخی از زیرآبخیزهای استان گلستان نشان دادند که شاخص

[1]Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs, InVEST

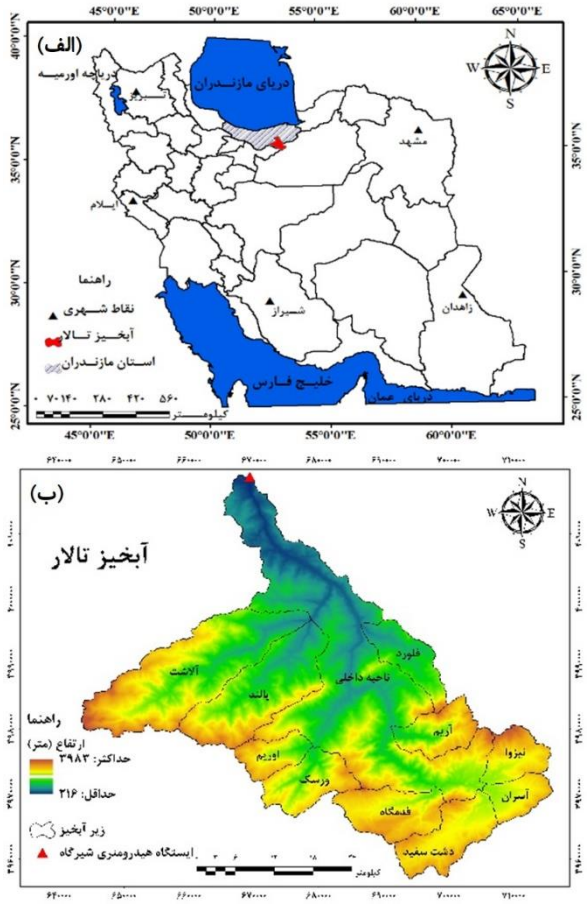
بزرگ‌ترین لکه، میانگین فاصله نزدیک‌ترین همسایه و میانگین نسبت محیط به مساحت به‌عنوان سنجه‌های اصلی در کاهش میزان رسوب و سنجه‌های شاخص شکل سیمای سرزمین و میانگین اندازه لکه به‌عنوان سنجه‌های مؤثر در افزایش رسوب آبخیزهای مطالعاتی در استان گلستان انتخاب شدند. Salarvand et al. (2019) در بررسی نقش پوشش جنگلی در نگهداشت رسوب استان لرستان به این نتیجه دست یافتند که حداکثر پتانسیل هدررفت خاک به‌سبب افزایش میزان فرسایندگی باران و گرادیان طول شیب در بخش جنوبی استان مشاهده شد.

آگاهی از توزیع مکانی و ارزیابی کمی خدمات هیدرولوژیک آبخیزها منجر به شناسایی فعل و انفعالات بین انسان و بوم‌سازگان، رفع بسیاری از ابهامات موجود در خصوص میزان تأثیر عوامل مؤثر و هم‌چنین به‌عنوان یک فاکتور تعیین‌کننده برای شناخت و کاربرد خدمات در تصمیم‌گیری‌ها و سیاست‌گذاری‌های مرتبط با مدیریت منابع طبیعی می‌شود (Yang et al. 2020). با وجود مطالعات انجام‌شده در خصوص اولویت‌بندی زیرآبخیزهای مختلف از نظر هدررفت خاک، تولید رسوب و سیلاب در مناطق مختلف دنیا و ایران (Mostafazadeh et al. 2017؛ Mirzaei et al. 2019)، لزوم مطالعه‌ای جامع در خصوص بررسی توزیع مکانی هدررفت خاک، نگهداشت و تولید رسوب احساس می‌شود. در همین راستا، پژوهش حاضر برای نخستین بار به اولویت‌بندی زیرحوزه‌های مختلف آبخیز تالار از نظر خدمت هیدرولوژیک نگهداشت رسوب در کنار هدررفت خاک و تولید رسوب با استفاده از مدل خدمات بوم‌سازگان InVEST می‌پردازد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه موردمطالعه

آبخیز تالار در استان مازندران به‌عنوان یکی از آبخیزهای تغذیه‌کننده دریای مازندران با مساحتی حدود ۱۷۶۴ km^2 به‌عنوان منطقه مطالعاتی در پژوهش حاضر انتخاب شد. آبخیز مطالعاتی با میانگین ارتفاع حدود ۱۹۸۰ m متر از سطح دریا در دامنه شمالی رشته‌کوه البرز واقع‌شده است. وضعیت اقلیمی آبخیز تالار از نوع شبه مدیترانه‌ای است که براساس طبقه‌بندی دومارتن جزء اقلیم نیمه‌مرطوب محسوب می‌شود. میانگین بارندگی و تبخیر سالانه در آبخیز مطالعاتی به‌ترتیب ۵۴۷ mm و ۴۴۶/۶ mm می‌باشد. مقادیر کمینه، میانگین و بیشینه درجه حرارت در آبخیز تالار نیز به‌ترتیب برابر با ۶/۶، ۱۲/۴ و ۱۸/۳ °C محاسبه‌شده است (Maghsood et al. 2019). شکل (۱) موقعیت آبخیز تالار و زیرآبخیزهای مربوطه را در کشور و استان مازندران نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی در: (الف)- کشور و استان مازندران، و (ب)- موقعیت مکانی زیرآبخیزهای تالار

Fig. 1 Geographical location of study area in (a) Iran and Mazandaran Province (b) Spatial location of Talar sub-watersheds

۲-۲-روش پژوهش

به‌منظور انجام پژوهش حاضر و مدل‌سازی نگهداشت رسوب با استفاده از مدل نسبت تحویل رسوب InVEST در آبخیز تالار، سال ۱۳۹۳ به‌عنوان سال مطالعاتی پژوهش انتخاب شد. این مدل به کمی‌سازی میانگین سالانه هدررفت خاک و نسبت تحویل رسوب در سطح آبخیز می‌پردازد (Sharp et al. 2018). در مدل نسبت تحویل رسوب InVEST، میانگین هدررفت

خاک با استفاده از رابطه جهانی هدررفت خاک و میانگین بار رسوبی برای هر سلول (Bouguerra and Jebari 2017) محاسبه می‌شوند. نسبت تحویل رسوب برای هر سلول نیز به‌طور مستقیم از شاخص اتصال رسوبی با استفاده از تابع سیگموئید به دست می‌آید (Borselli et al. 2008). در نهایت مقدار نگهداشت رسوب (SR) به‌عنوان یکی از خدمات هیدرولوژیک بوم‌سازگان با بهره‌گیری از رابطه (۱) محاسبه می‌شود. در واقع، مقدار اختلاف هدررفت خاک با کاربری اراضی فعلی نسبت به حالت بایر زمین توسط این شاخص تعیین می‌گردد (Sharp et al. 2018) که به‌عنوان سود و مزایای فراهم‌شده توسط بوم‌سازگان برای مردم مطرح است.

$$SDR_i\left(1-C_iP_i\right)SR_i=R_iK_iLS_i \quad (۱)$$

۲-۲-۱-آماده‌سازی ورودی‌های مدل

در راستای آماده‌سازی ورودی‌های مدل نسبت تحویل رسوب InVEST، مدل رقومی ارتفاع از سازمان نقشه‌برداری کشور اخذ شد. عامل فرسایندگی باران با استفاده از رابطه (۲) بر حسب MJ.mm/ha.hr و با لحاظ گرادیان بارندگی بر حسب mm/yr و با احتساب آمار و اطلاعات هفت ایستگاه باران‌سنجی (از قبیل شیرگاه، آلاشت، کله، پالند، پل‌سفید، ولیک‌چال و لاجیم) در داخل و اطراف آبخیز تالار به دست آمد. عامل فرسایش‌پذیری خاک با توجه به مشخصات افق‌های خاک در هر یک از واحدهای اراضی آبخیز تالار و براساس رابطه Wischmeier and Smith (1978) و ارائه‌شده در رابطه (۳) محاسبه شد.

$$R=0.0002PE^{2.31} \quad (۲)$$

$$100K=2.1M^{1.14}\times10^{-4}\times\left(12-\%OM\right)+3.25\left(S-2\right)+2.5\left(P-3\right) \quad (۳)$$

که، R عامل فرسایندگی باران، K عامل فرسایش‌پذیری خاک، PE مقدار بارندگی، M حاصل‌ضرب (رس ٪ - ۱۰۰) در (لای ٪ + شن‌ریز ٪)، OM٪ ماده آلی خاک، S کلاس ساختمان خاک و P کلاس نفوذپذیری خاک می‌باشند. به‌منظور تهیه نقشه کاربری اراضی آبخیز تالار از تصاویر سنجنده OLI ماهواره Landsat و روش طبقه‌بندی نظارت‌شده ماشین بردار پشتیبان (SVM) استفاده گردید. به‌منظور محاسبه عامل مدیریت زراعی که نشان‌دهنده اثر پوشش گیاهی و کشت و به‌طورکلی اقدامات مدیریتی بر میزان هدررفت خاک است (Panagos et al. 2015)، تصاویر ماهواره‌ای آبخیز تالار (سه تصویر) با توجه به موجودیت و هم‌چنین کیفیت آن‌ها برای سال موردپژوهش اخذ و شاخص NDVI در نرم‌افزار ENVI 5.3 انجام شد. در ادامه، مقدار عامل مدیریت زراعی بر اساس ارتباط بین شاخص NDVI و عامل مذکور و ارائه‌شده در رابطه (۴) به‌دست آمد.

$$C = (-NDVI+1)/2 \quad (۴)$$

در نهایت، از سه نقشه عامل مدیریت زراعی تهیه‌شده برای سال موردپژوهش میانگین‌گیری شد و مقدار عامل مورداشاره برای آبخیز تالار و هم‌چنین برای هر طبقه از کاربری اراضی به‌منظور اعمال در مدل InVEST تعیین و مشخص شد. عامل مدیریت اراضی در آبخیز تالار با توجه به نوع کاربری اراضی در سال موردپژوهش تعیین شد. آستانه تجمعی جریان که بیان‌گر تعداد سلول‌های مشارکت‌کننده برای تشکیل آبراهه می‌باشد، برای آبخیز تالار برابر ۱۰۰ و مطابق با دستورالعمل استفاده از مدل InVEST تعیین شد. علاوه بر این، مقادیر پیش‌فرض به‌ترتیب برابر با ۰/۵ و ۲ برای شاخص اتصال رسوبی و پارامتر K (تعیین‌کننده شکل ارتباط اتصال هیدرولوژیک و نسبت تحویل رسوب) استفاده شد. بیشینه مقدار نسبت تحویل رسوب با توجه به وضعیت اقلیم و کاربری اراضی منطقه مطالعاتی و مطابق با مقدار پیشنهادی در دستورالعمل استفاده از مدل InVEST برابر با ۰/۸ در نظر گرفته شد (Sharp et al. 2018).

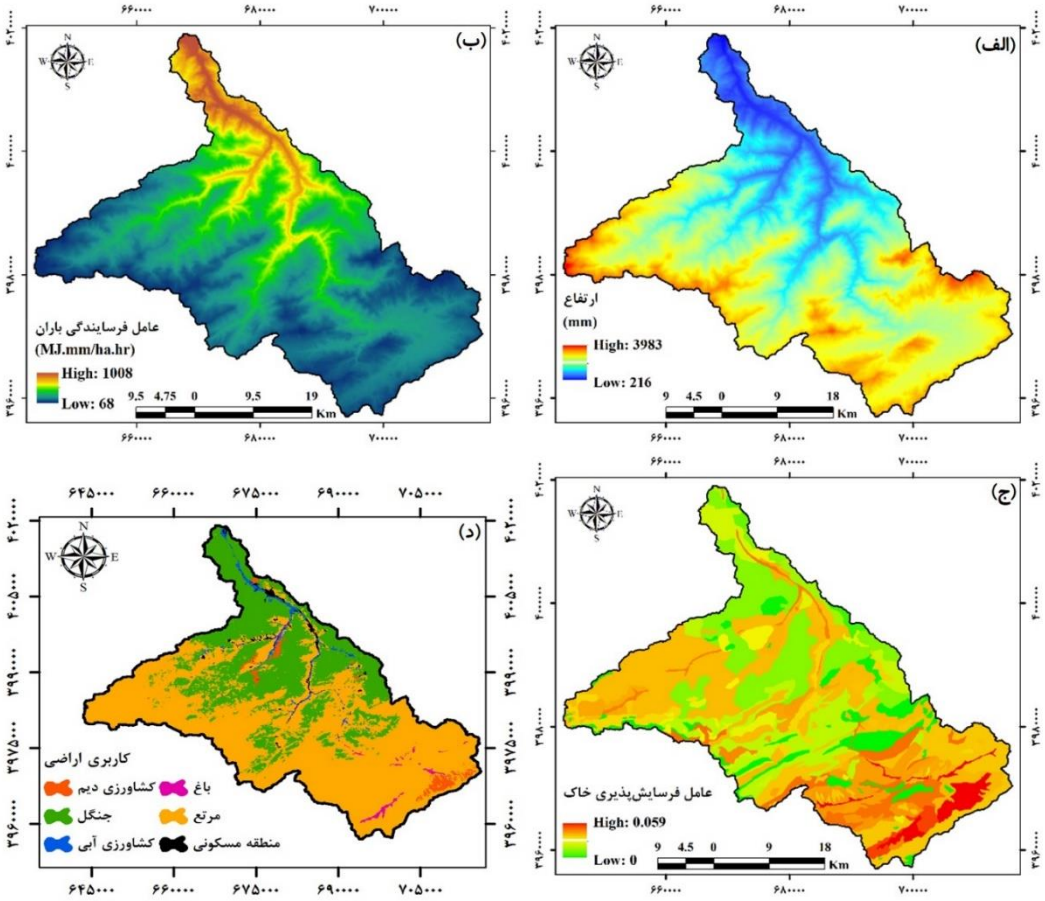
۲-۲-۲- مدل‌سازی هدررفت خاک، نگهداشت رسوب و تولید رسوب

پس از آماده‌سازی و معرفی کلیه عوامل ورودی به مدل نسبت تحویل رسوب InVEST، اقدامات لازم به‌منظور واسنجی و کاهش اختلاف بین مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی مدل در آبخیز مطالعاتی با استفاده از پارامتر K صورت پذیرفت (Sharp et al. 2018). در نهایت جهت ارزیابی مقایسه‌ای زیرآبخیزهای موردمطالعه از نظر میزان هدررفت خاک ویژه، نگهداشت رسوب ویژه و تولید رسوب ویژه و هم‌چنین بررسی‌های جامع‌تر به‌منظور نیل به الگوی مدیریتی مناسب در آبخیز تالار اولویت‌بندی شدند.

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱ عوامل ورودی مدل نسبت تحویل رسوب InVEST

نتایج حاصل از تهیه نقشه‌های ورودی و عوامل بیوفیزیکی مدل نسبت تحویل رسوب InVEST در شکل (۲) و جدول (۱) ارائه‌شده است. براساس یافته‌های پژوهش مقدار میانگین سالانه عامل فرسایندگی باران در آبخیز تالار برابر با $MJ.mm.ha^{-1}.hr^{-}$ ۳۲/۵۴ [1] محاسبه شد که تغییرات آن مطابق با الگوی تغییرات مکانی بارندگی در آبخیز مطالعاتی است. یافته‌های حاصل از طبقه‌بندی کاربری اراضی در آبخیز تالار نیز نشان داد که کاربری‌های مرتع، جنگل، کشاورزی دیم، منطقه مسکونی، کشاورزی آبی و باغ به‌ترتیب با مقادیر ۱۱۰۰/۵۲، ۵۴۶/۱۰، ۴۵/۷۹، ۲۷/۶۳، ۲۶/۹۰ و km^2 ۱۷/۱۸ بیش‌ترین سطح از منطقه مطالعاتی را به خود اختصاص داده‌اند. صحت نقشه طبقه‌بندی‌شده کاربری اراضی نیز بیان‌گر ضریب کاپا و صحت کلی به‌ترتیب برابر ۰/۸۲ و ۸۵/۵۲٪ می‌باشد.



شکل ۲- نقشه‌های ورودی‌های مدل نسبت تحویل رسوب InVEST در آبخیز تالار: (الف)- ارتفاع از سطح دریا، (ب)- عامل فرسایندگی باران، (ج)- عامل فرسایش‌پذیری خاک، و (د)-کاربری اراضی

Fig. 2 Inputs factors of SDR InVEST Model in Talar watershed: a) Elevation (a.s.l), b) Rainfall erosivity factor, c) Soil erodibilty factor, and d) Land use

جدول ۱- خصوصیات بیوفیزیکی کاربری‌های اراضی آبخیز تالار طی سال‌های مطالعاتی

Table 1 Biophysical characteristics of land uses in Talar Watershed

Land use	Crop Management Factor	Land Management Factor
Dry Farming	0.50	0.324
Forest	0.10	0.128
Irrigated Farming	0.45	0.241
Orchard	0.40	0.352
Rangeland	0.60	0.367
Residential Area	0.40	0.326

۳-۲ - هدررفت خاک، نگهداشت رسوب و تولید رسوب

یافته‌های حاصل از محاسبه مقادیر هدررفت خاک، نگهداشت رسوب و تولید رسوب در آبخیز و زیرآبخیزهای تالار در جدول (۲) نشان داده‌شده است.

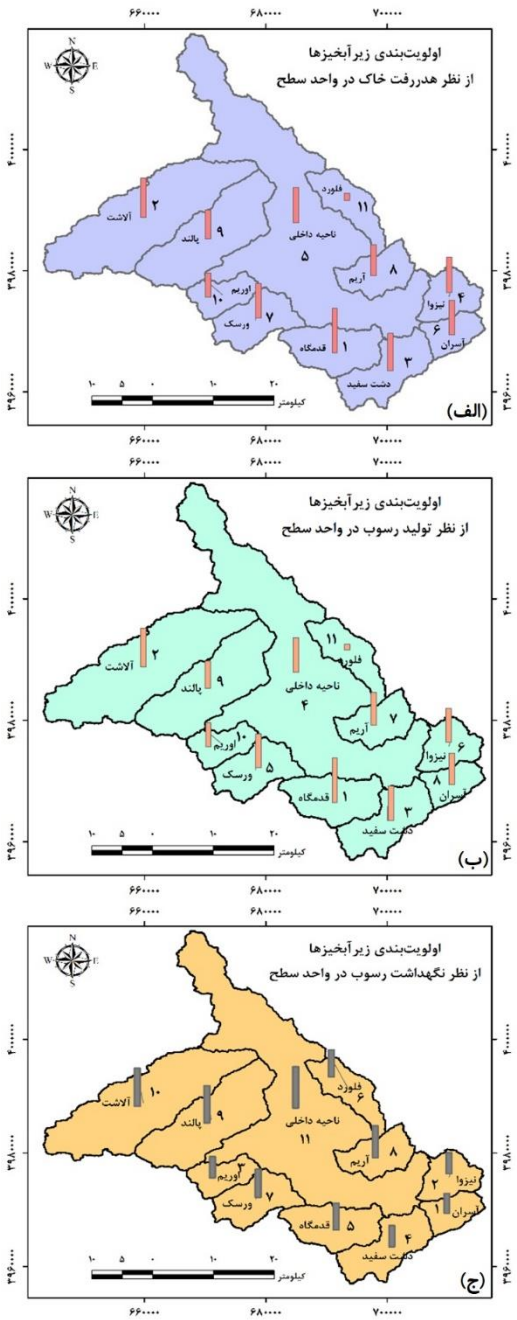
جدول ۲- مقادیر هدررفت خاک، نگهداشت رسوب و تولید رسوب (برحسب تن) آبخیز و زیرآبخیزهای تالار

Tabel 2 The amounts of soil erosion, sediment retention and sediment yield (ton) of watershed and sub-watersheds of Talar

Sub-Watershed	Soil Loss	Sediment Retention	Sediment Yield
Felurd	5706	25881	351
Arin	23845	27944	2332
Nizva	22442	14522	1873
Aseran	16354	11082	1284
Dasht_e_Sefid	39365	25082	3260
Ghadamgah	46264	31507	4150
Veresk	32630	29586	2892
Urim	13207	13033	1150
Paland	63644	94824	5438
Alasht	130572	142301	11645
Inter-Basin	258653	341824	23051
Talar Watershed	652683	757588	57426

مطابق با نتایج ارائه‌شده در جدول (۲)، مقدار هدررفت خاک، نگهداشت رسوب، تولید رسوب و نسبت تحویل رسوب در آبخیز تالار به‌ترتیب برابر با ۶۵۲۶۸۳ ton، ۷۵۷۵۸۸ ton، ۵۷۴۲۶ ton و ۸/۸٪ به‌دست آمد. یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که به‌طورکلی مقدار هدررفت خاک، نگهداشت رسوب و تولید رسوب از سمت جنوب به شمال آبخیز مطالعاتی افزایش می‌یابد. در همین ارتباط، روند تغییرات مورداشاره مطابق با روند کلی تغییرات عامل فرسایندگی باران به‌عنوان مؤثرترین و متغیرترین عامل در برآورد هدررفت خاک، نگهداشت رسوب و تولید رسوب در آبخیز تالار می‌باشد. Chuenchum et al. (2020) بر نقش مهم عامل فرسایندگی باران در هدررفت خاک و تولید رسوب اشاره نمودند. علاوه بر این، میزان هدررفت خاک در زیرآبخیزهای تالار حاکی از وقوع بیشینه و کمینه هدررفت خاک به‌ترتیب در زیرآبخیزهای ناحیه داخلی و فلورد با مقادیر ۲۵۸۶۵۳ و ۵۷۰۴ ton می‌باشد. تحلیل نتایج نشان می‌دهد که وسعت زیاد، میانگین شیب بالا و مقدار عامل فرسایندگی باران زیاد در زیرآبخیز ناحیه داخلی منجر به وقوع بیشینه هدررفت خاک، نگهداشت رسوب و تولید رسوب در این زیرآبخیز شده است. در همین رابطه، Zare Khormizi et al. (2012) به همبستگی مثبت میزان شیب با مقدار هدررفت خاک دست یافتند و بیان کردند که در شیب‌های بیش از ۳۰٪ مقدار هدررفت خاک به میزان ۱۰۰٪ افزایش می‌یابد. علاوه بر این، Cheng et al. (2008) نیز به افزایش رواناب و هدررفت خاک با افزایش مقدار شیب تأکید نمودند. در خصوص کمینه میزان هدررفت خاک در زیرآبخیز فلورد نیز بایستی تشریح گردد که اگرچه مساحت زیرآبخیزهای فلورد و اوریم تقریباً یکسان است، اما اختلاف ۱۹٪ در میانگین شیب و ۱۸/۱۳ MJ.mm/ha.hr در عامل فرسایندگی باران باعث این امر شده است. پوشش غالب جنگلی نیز از دیگر دلایل مهم کمینه هدررفت خاک در زیرآبخیز مورد اشاره می‌باشد که در مطالعه Abbasi et al. (2017) نیز بر نقش پوشش گیاهی جنگلی بر کاهش هدررفت خاک اشاره شده است. زیرآبخیزهای آسران و ناحیه داخلی نیز کمینه و بیشینه مقدار نگهداشت رسوب با مقادیر به‌ترتیب ۱۱۰۸۲ و ۳۴۱۸۲۳ ton را به خود اختصاص دادند. نتیجه به‌دست آمده حاکی از آن است که با لحاظ سایر عوامل مؤثر بر هدررفت خاک و مدنظر در پژوهش، نقش کاربری اراضی در زیرآبخیز فلورد در نگهداشت رسوب نسبت به شرایط بایر بودن خاک در بین زیرآبخیزهای مطالعاتی کمینه می‌باشد. در همین خصوص اشاره می‌شود که با توجه به میانگین شیب اندک و عامل فرسایندگی نسبتاً کم، حتی بایر بودن سطح زمین نیز منجر به هدررفت خاک و تولید رسوب بالا نمی‌شود؛ به عبارت دیگر، شیب و عامل فرسایندگی باران را باید به‌عنوان عوامل کنترل‌کننده نگهداشت رسوب در زیرآبخیز فلورد دانست. ضمناً بایستی اذعان کرد که وجود کاربری کشاورزی دیم و طبیعتاً دست‌خوردگی خاک و اجرای اقدامات خاک‌ورزی در آن منجر به کمینه اختلاف نگهداشت رسوب با شرایط بایر خاک شده است. مقدار تولید رسوب نیز در زیرآبخیزهای مطالعاتی از ۳۵۱/۲ در زیرآبخیز فلورد تا ۲۳۰۵۱ ton در زیرآبخیز ناحیه داخلی متغیر است. تحلیل یافته‌های پژوهش حاضر نشان می‌دهد که اگرچه روند تغییرات کلی سه متغیر هدررفت خاک، نگهداشت رسوب و تولید رسوب طی دوره موردپژوهش تقریباً مشابه است، لیکن اولویت‌بندی زیرآبخیزها از نظر میزان کل هدررفت خاک و تولید رسوب با نگهداشت رسوب یکسان نمی‌باشد. دلیل این امر را می‌توان در مفهوم‌سازی مدل مورد استفاده برای محاسبه نگهداشت رسوب (نقش کاربری اراضی در نگهداشت رسوب نسبت به شرایط بایر خاک) جستجو نمود (Sharp et al. 2018). در همین راستا، اولویت‌بندی مناطق

مختلف آبخیز با هدف برنامه‌ریزی و کاهش هزینه‌های مربوط به اقدامات حفاظتی یکی از مسائل مهم در مدیریت جامع آبخیزها می‌باشد. نتایج حاصل از اولویت‌بندی زیرآبخیزهای مطالعاتی از نظر هدررفت خاک ویژه، نگهداشت رسوب ویژه، تولید رسوب ویژه و نسبت تحویل رسوب نیز در شکل (۳) آورده شده است.



شکل ۳- اولویت‌بندی زیرآبخیزهای تالار از نظر: الف-هدررفت خاک ویژه، ب-تولید رسوب ویژه ج-نگهداشت رسوب ویژه

Fig. 3 Prioritization of Talar sub-watersheds in terms of a) Specific soil loss, b) Specific sediment yield, and c) specific sediment retention

در راستای تعیین زیرآبخیزهای بحرانی از نظر مقدار هدررفت خاک (بیشینه)، نگهداشت رسوب (کمینه) و تولید رسوب (بیشینه) و بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر، زیرآبخیزهای قدمگاه (۴/۴۳ ton/ha) و آلاشت (۴/۲۷ ton/ha) بیشینه و زیرآبخیز فلورد (۰/۷۶ ton/ha) کمینه مقدار هدررفت خاک در واحد سطح را دارند. میانگین شیب زیاد (۴۱/۶٪) و مقدار حساسیت نسبتاً بالای خاک به فرسایش (۰/۰۳۷۷) در کنار کاربری اراضی کاملاً مرتعی در زیرآبخیز قدمگاه باعث وقوع بیشینه هدررفت خاک در واحد سطح و بحرانی بودن آن در منطقه موردمطالعه شده است. Vaezi et al. (2016) در مطالعه خویش در آبخیز تهم چای استان زنجان به تأثیر تندی شیب بر هدررفت خاک و لزوم حفظ پوشش گیاهی اشاره نمودند. موارد گفته شده شامل شیب زیاد (۴۲/۹٪) و عامل فرسایش‌پذیری خاک (۰/۰۳۰۳) در آبخیز آلاشت نیز صادق بوده و آن را در زمره زیرآبخیزهای بحرانی از لحاظ مقدار هدررفت خاک در واحد سطح قرار داده است. مقدار هدررفت خاک ویژه و تولید رسوب ویژه به‌ترتیب برابر با ۰/۷۶ و ton/ha ۰/۰۵ در زیرآبخیز فلورد علی‌رغم وقوع بیشینه عامل فرسایندگی باران (۴۰/۳ MJ.mm/ha.hr) در این زیرآبخیز به‌سبب داشتن عامل فرسایش‌پذیری خاک اندک (۰/۰۱۷) و هم‌چنین کاربری اراضی غالب جنگل کمینه می‌باشد. اهمیت و نقش قابل ملاحظه عامل فرسایش‌پذیری خاک در هدررفت خاک در مطالعه Yao et al. (2016) در آبخیز Lushi در کشور چین گزارش و مورد تأکید قرار گرفت. نتایج اولویت‌بندی زیرآبخیزهای موردمطالعه از نظر نگهداشت رسوب ویژه نیز نشان داد که زیرآبخیز آسران با مقدار ton/ha ۲/۲۳ کمینه نگهداشت رسوب را داشته و بحرانی‌ترین زیرآبخیز در منطقه مطالعاتی است. بیشینه مقدار عامل فرسایش‌پذیری خاک (برابر با ۰/۰۴۵۱) و هم‌چنین کاربری‌های با پوشش گیاهی کم از مهم‌ترین دلایل وقوع کمینه نگهداشت رسوب در زیرآبخیز آسران می‌باشد. در همین مورد، Abbasi et al. (2017) به افزایش قابل‌ملاحظه تولید رسوب در کاربری‌های با پوشش گیاهی اندک نسبت به کاربری با پوشش گیاهی غنی اشاره نمودند. بیشینه میزان نگهداشت رسوب در

واحد سطح نیز در زیرآبخیز ناحیه داخلی با مقدار ۵/۳۳ ton/ha محاسبه شد.

۴- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف تعیین مناطق بحرانی از نظر هدررفت خاک و تولید رسوب و هم‌چنین نگهداشت رسوب به‌عنوان یکی از خدمات هیدرولوژیک بوم‌سازگان در آبخیز تالار به‌عنوان یکی از آبخیزهای مهم تغذیه‌کننده دریای مازندران به‌سبب مساحت زیاد و تغییرات کاربری اراضی وسیع در آن صورت پذیرفت. در همین راستا، نتایج حاصل از پژوهش حاضر به‌شرح ذیل بیان می‌گردد.

۱- اولویت‌بندی زیرآبخیزهای تالار از نظر هدررفت خاک، نگهداشت رسوب و تولید رسوب با استفاده از مدل خدمات بوم‌سازگان InVEST کاملا با یکدیگر تطابق ندارد و نیاز است تا سیاست‌گزاران و مدیران اجرایی بسته به اهداف پروژه از نتایج بخش‌های مختلف پژوهش استفاده نمایند.

۲- مقادیر هدررفت خاک برابر با ۴/۴۳ و ۰/۷۶ ton/ha منجر به قرارگیری زیرآبخیزهای قدمگاه و فلورد در طبقه بیشینه و کمینه از نظر هدررفت خاک ویژه در منطقه مطالعاتی شد. اولویت‌بندی زیرآبخیزها بر اساس تولید رسوب ویژه نیز هم‌چون هدررفت خاک ویژه در آبخیز تالار تعیین شد.

۳- زیرآبخیزهای آسران و ناحیه داخلی به‌ترتیب با مقادیر ۲/۲۳ و ۵/۳۳ ton/ha کمینه و بیشینه مقدار خدمت هیدرولوژیک نگهداشت رسوب ویژه را به خود اختصاص دادند.

شایان یادآوری است که مقدار نگهداشت رسوب محاسباتی در مدل InVEST براساس مقایسه شرایط فعلی با شرایط بایر خاک می‌باشد که در همین مورد می‌توان به نقش کاربری اراضی در جلوگیری از هدررفت خاک اشاره داشت. مدیریت کاربری اراضی یکی از مهم‌ترین مسائلی است که می‌تواند منجر به کاهش هدررفت خاک و تولید رسوب و افزایش نگهداشت رسوب شود. ضروری است تا با مدیریت عوامل مؤثر بر خدمت بوم‌سازگان مورد اشاره و به‌ویژه کاربری اراضی به‌عنوان مهم‌ترین نمود فعالیت‌های انسانی در جهت بیشینه‌سازی نگهداشت رسوب در آبخیز تالار اقدامات لازم صورت پذیرد. کاهش هزینه‌های اجرایی احیایی با توجه به اولویت‌بندی زیرآبخیزها از نظر عوامل مورد مطالعه از جنبه‌های کاربردی نتایج پژوهش حاضر می‌باشد. در پایان، اجرای مدل خدمات بوم‌سازگان نسبت تحویل رسوب در سایر مناطق کشور به‌منظور ارزیابی‌های مقایسه‌ای و هم‌چنین مطالعه میزان تأثیر عوامل مؤثر بر خدمت هیدرولوژیک نگهداشت رسوب به‌منظور تعیین استراتژی‌های مدیریتی پیشنهاد می‌گردد.

نحوه دسترسی به داده‌ها

داده‌های استفاده شده (یا تولید شده) در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

References

Abbasi, M., Najafinejad A., Sheikh V. B. and Azim Mohseni, M. (2017). Investigating land use and slope effects on soil properties, runoff and sediment using rainfall simulator case study of Kechik watershed in Golestan Province. Environ. Erosion Res. J., 6(4), 104-124 [in Persian].

Asadolahi, Z., Salmanmahiny, A. and Mirkarimi, H. (2015). Modeling the supply of sediment retention ecosystem service (case study: eastern part of Gorgan-rud watershed). Environ. Erosion Res. J., 5(3), 61-75 [in Persian].

Bai, Y., Ochuodho, T. O. and Yang, J. (2019). Impact of land use and climate change on water-related ecosystem services in Kentucky, USA. Ecol. Indic., 102, 51-64.

Bangash, R. F., Passuello, A., Sanchez-Canales, M., Terrado, M., López, A., Elorza, F. J., Ziv, G., Acuña, V. and Schuhmacher, M. (2013). Ecosystem services in Mediterranean river basin: climate change impact on water provisioning and erosion control. Sci. Tot. Environ., 458-460, 246-255.

Bogdan, S. M., Pătru-Stupariu, I. and Zaharia, L. (2016). The assessment of regulatory ecosystem services: the case of the sediment retention service in a mountain landscape in the southern Romanian Carpathians. Procedia Environ. Sci., 32, 12-27.

Borselli, L., Cassi, P. and Torri, D. (2008). Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: a GIS and field numerical assessment. Catena, 75(3), 268-277.

Bouguerra, S. and Jebari, S. (2017). Identification and prioritization of sub-watersheds for land and water management using invest SDR model: Rmelriver basin, Tunisia. Arab. J. Geosci., 10(15), 348.

Cerretelli, S., Poggio, L., Gimona, A., Yakob, G., Boke, S., Habte, M., Coull, M., Peressotti, A., and Black, H. (2018). Spatial assessment of land degradation through key ecosystem services: the role of globally available data. Sci. Tot. Environ., 628, 539-555.

Chen, W., Chi, G. and Li, J. (2019). The spatial association of ecosystem services with land use and land cover change at the county level in china, 1995–2015. Sci. Tot. Environ., 669, 459-470.

Cheng, Q., Ma, W. and Cai, Q. (2008). The relative importance of soil crust and slope angle in runoff and soil loss: a case study in the hilly areas of the loess plateau, north china. GeoJ., 71(2-3), 117-125.

Chuenchum, P., Xu, M. and Tang, W. (2020). Predicted trends of soil erosion and sediment yield from future land use and climate change scenarios in the Lancang–Mekong River by using the modified RUSLE model. ISWCR., 8(3), 213-227.

Fu, Q., Li, B., Hou, Y., Bi, X. and Zhang, X. (2017). Effects of land use and climate change on ecosystem services in central Asia's arid regions: a case study in Altay Prefecture, China. Sci. Tot. Environ., 607, 633-646.

Grêt-Regamey, A., Brunner, S. H. and Kienast, F. (2012). Mountain Ecosystem Services: Who Cares?. Mt. Res. Dev., 32, 23-34.

Hamel, P., Chaplin-Kramer, R., Sim, S. and Mueller, C. (2015). A new approach to modeling the sediment retention service (InVEST 3.0): case study of the Cape Fear catchment, North Carolina, USA. S Sci. Tot. Environ., 524, 166-177.

Maghsood, F. F., Moradi, H., Massah Bavani, A. R., Panahi, M., Berndtsson, R. and Hashemi, H. (2019). Climate change impact on flood frequency and source area in northern Iran under CMIP5 scenarios. Water., 11(2), 273.

Mirzaei, S., Esmali Ouri, A., Mostafazadeh, R., Ghorbani, A. and Mirzaei, S. (2019). Flow modelling and determination of sub-watersheds contribution in flood hydrograph in Amoughin watershed, Ardabil province. J. Nat. Environ. Hazard., 7(18), 89-108 [in Persian].

Mostafazadeh, R., Haji, K., Esmali-Ouri, A. and Nazarnejad, H. (2017). Prioritization the critical sub-watersheds based on soil erosion and sediment using watershed erosion response model (WERM) and morphometric analysis (case study: Rozechai Watershed, West Azerbaijan Province). J. Watershed Manag. Res., 8(16), 142-156 [in Persian].

Motamedi, R., Azari, M. and Monsefi, R. (2020). Relationship between landscape metrics and sediment yield in some watersheds of Golestan Province. Watershed Eng. Manag., 11(4), 955-971 [in Persian].

Ochoa, V. and Urbina-Cardona, N. (2017). Tools for spatially modeling ecosystem services: publication trends, conceptual reflections and future challenges. Ecosyst. Serv., 26, 155-169.

Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Alewell, C., Lugato, E. and Montanarella, L. (2015). Estimating the soil erosion cover-management factor at the European scale. Land Use Policy, 48, 38-50

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). Geogr. Space., 19(67), 61-78 [in Persian].

Sharp, R., Tallis, H. T., Ricketts, T., Guerry, A. D., Wood, S. A., Chaplin-Kramer, 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., Bernhardt J., Griffin, R., Glowinski, K., Chaumont, N., Perelman, A., Lacayo, M. Mandle, L., Hamel, P., Vogl, A. L., Rogers, L., Bierbower, W., Denu, D. and Douglass J. (2018). InVEST 3.5.0 user's guide, The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.

Vaezi, A. R., Gharehdaghli H. and Marzvan, S. (2016). The role of slope steepness and soil properties in rill erosion in the hillslopes (a

case study: Taham Chai catchment, NW Zanjan). J. Water Soil Conserv., 23(4), 83-100 [in Persian].

Vigerstol, K. L. and Aukema, J. E. (2011). A comparison of tools for modeling freshwater ecosystem services. J. Environ. Manage., 92(10), 2403-2409.

Vorstius, A. C. and Spray, C. J. (2015). A comparison of ecosystem services mapping tools for their potential to support planning and decision-making on a local scale. Ecosyst. Serv., 15, 75-83.

Wischmeier, W. H. and Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook. 58 pp.

Yang, X., Chen, R., Meadows, M. E., Ji, G. and Xu, J. (2020). Modelling water yield with the invest model in a data scarce region of northwest china. Water Supply, 20(3), 1035-1045.

Yao, X., Yu, J., Jiang, H., Sun, W. and Li, Z. (2016). Roles of soil erodibility, rainfall erosivity and land use in affecting soil erosion at the basin scale. Agri. Water Manag., 174, 82-92.

Zare Khormizi, M., Najafinejad, A., Noura, N., and Kavian, A. (2012). Effects of slope and soil properties on runoff and soil loss using rainfall simulator, Chehel-chai watershed, Golestan Province. J. Water Soil Conserv., 19(2), 165-178 [in Persian].

Research Paper

Application of InVEST Ecosystem Services Model to Prioritize Sub-watersheds of Talar in term of Soil Erosion, Sediment Retention and Yield

Mohsen Zabihi[1], Hamid Reza Moradi[2*], Abdulvahed Khaledi Darvishan[2] and Mehdi Gholamalifard[3]

[1]PhD Alumni, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

[2]Assoc. Professor, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

[3]Assist. Professor, Department of the Environment, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

***Corresponding author:** hrmoradi@modares.ac.ir

Received: November 21, 2020 **Revised:** December 20, 2020 **Accepted:** December 28, 2020

Abstract

Ecosystem services refer to the benefits and advantages provided directly and indirectly by ecosystem to the people. The concept of ecosystem services has been recognized as a tool for comprehensive decision-making in natural resource management, land use policy design and land use planning in recent years. In this regard, the present study was planned to implement the InVEST sediment delivery ratio (SDR) model and prioritize sub-watersheds of the Talar in Mazandaran province in terms of soil loss, sediment retention and sediment yield. For this purpose, the input factors of the model prepared were including rainfall erosivity, soil erodibility, land use, digital elevation model, crop management, land management, sediment connectivity index, K parameter (Determinant of the relationship shape between hydrological connection and SDR) and maximum SDR in the study watershed and then were employed to the mentioned model. Based on the results, the amount of annual soil loss, sediment retention and, sediment yield (ton) obtained were 652683, 757588 and 57426, respectively. Moreover, the spatial changes of the studied variables indicated an increasing trend from the south to the north of the research watershed. In addition, Aseran sub-watershed (2.23 ton/ha) in terms of sediment retention hydrological service and Ghadmagah sub-watershed in terms of soil loss (4.43 ton/ha) and sediment yield (0.39 ton/ha) as critical sub-watersheds were identified. The results of sub-watersheds prioritization based on sediment retention can be used in environmental policy-making in order to carry out executive operations of rehabilitation and achieving sustainable development in the study area.

Keywords: Hydrological Watershed Service; Land Management; Land Use; Sustainable Development.