

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.24767131.1402.9.2.9.6

درصد همانندی: ۲۲٪

برآورد میزان فرسایش و رسوب و نسبت تحویل رسوب در حوزه آبخیز سد ایلام

سیده زهره موسوی^۱، نورالدین رستمی^۲، یونس کاظمی^۳، رضا امیدپور^۴

^۱ کارشناس ارشد آبخیزداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایران. zohrehmousavi9974@gmail.com
^۲ نویسنده مسئول، دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایران. n.rostami@ilam.ac.ir
^۳ کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران. youneskazemi@gmail.com
^۴ استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایران. r.omidipour@ilam.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۷

چکیده

استفاده نامناسب و تغییر کاربری اراضی، توسعه مناطق مسکونی و آلودگی‌های زیست‌محیطی سبب هدر رفت منابع طبیعی و تخریب خاک می‌شود. با عنایت به این قبیل مسائل، ضرورت مدیریت و برنامه‌ریزی اصولی به منظور استفاده صحیح، حفظ و توسعه منابع موجود و توجه به راهبردهای آبخیز محور مشخص می‌شود. برای انجام این مطالعه که در راستای بررسی وضعیت فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز سد ایلام صورت گرفته، ابتدا نقشه کاربری اراضی منطقه موردنظر بر اساس تصاویر ماهواره‌ای Landsat8 مربوط به سال ۲۰۲۰ تهیه شد. سپس برای محاسبه فرسایش و رسوب در کاربری‌های مختلف از مدل *RUSLE* استفاده شد. در ضمن میزان نسبت تحویل رسوب منطقه مورد مطالعه بر اساس مدل‌های مختلف محاسبه و در نهایت روش ویلیامز و برنت به عنوان روش مطلوب انتخاب و میزان *SDR* برابر با ۰/۸۸ محاسبه شد. نتایج مدل *RUSLE* نشان داد که میانگین فرسایش و رسوب ویژه برآوردی منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۲۸/۰۱ و ۲۴/۶۵ تن در هکتار در سال است.

واژه‌های کلیدی: فرسایش و رسوب، کاربری اراضی، *SDR*، حوزه آبخیز سد ایلام.

۱. مقدمه

خاک به عنوان یکی از مهم ترین بخش های منابع طبیعی است و بقای جوامع انسانی در گرو وجود آب و خاک بوده و این اجزا به عنوان ارکان تفکیک ناپذیر زندگی بشریت به شمار می روند [۱]. این در حالی است که از یک طرف روند صعودی جمعیت کره زمین در سال های اخیر و از طرف دیگر محدود بودن منابع طبیعی، مشکلات گسترده ای را برای انسان ها به ویژه کشورهای در حال توسعه ایجاد نموده است. تخریب مستمر منابع طبیعی، علاوه بر بروز بلایای طبیعی همچون خشک سالی، سیل و... باعث گسترش فقر، گرسنگی و قحطی می شود که جان میلیون ها انسان را با خطر جدی مواجه می نماید [۲-۸]. بیشتر این مسائل نتیجه تغییر کاربری جنگل و مرتع به اراضی کشاورزی یا مناطق مسکونی در جهت توسعه است [۹-۱۰]. با توجه به بروز این قبیل مشکلات، توجه به راهبردهای مدیریت جامع حوزه های آبخیز برای مهار فرسایش و رسوب الزامی می باشد [۱۱]. یکی از روش های کنترل رواناب سطحی و کاهش فرسایش خاک و به تبع آن افزایش درآمد کاربران، استفاده اصولی و صحیح از اراضی می باشد. فاکتورهای متعددی از قبیل نوع استفاده از اراضی، در کمیت و کیفیت فرسایش خاک و ایجاد رواناب در یک حوزه آبخیز مؤثر هستند. با پیشرفت های چشمگیری که در خلق فناوری به خصوص در دهه های اخیر انجام شده، اکوسیستم طبیعی به صورت وسیعی دچار تغییر توسط انسان شده که حاصل آن افزایش فرسایش خاک بوده است؛ بنابراین نوع و نحوه مدیریت بهره برداری از اراضی عامل قابل توجهی در فرسایش و تولید رسوب حوزه های آبخیز به حساب می آید [۱۲].

آثار سوء فرسایش خاک، که به فرایند جابه جایی ذرات خاک از محل اصلی خود و انتقال آن به کمک یک عامل انتقال دهنده (آب یا باد) به مکانی دیگر گفته می شود، شاید در کوتاه مدت چندان قابل توجه و ملموس نباشد، ولی قطعاً در بلندمدت محسوس خواهد شد. برخی از خطرات ناشی از فرسایش خاک عبارت اند از وقوع سیلاب، کاهش نفوذپذیری خاک، گل آلود شدن آب شرب و زراعی، پر

شدن مخازن سدها، کاهش کیفیت زندگی و... [۱۳]. علاوه بر این موارد، فرسایش خاک به خاطر زیان های درون منطقه ای و برون منطقه ای باعث می شود که پایداری اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و زیست محیطی با خطر مواجه شود [۱۴]؛ بنابراین یکی از مهم ترین مشکلات در مدیریت حوزه های آبخیز تولید رسوب است و خصوصیات زمین شناسی هر حوزه از عواملی است که نقش چشمگیری در میزان بار رسوبی آن حوزه دارد [۱۵]. از آنجایی که فرسایش خاک و تخریب اراضی مشکلات عمده ای را در بسیاری از کشورها به وجود آورده است و از طرفی با مدل سازی می توان اطلاعات مطلوبی از وضعیت فعلی و روند آتی فرسایش، همچنین تجزیه و تحلیل سناریوهای مختلف مدیریتی و حفاظتی فراهم آورد، تلاش های قابل توجهی صرف گسترش مدل های فرسایش و رسوب شده است [۱۶]. مدل های متنوعی از قبیل PSIA، MPSIAC [۱۷]، EPM [۱۸] و... به منظور برآورد میزان فرسایش و رسوب وجود دارند. از آنجاکه سد ایلام (سد چم گردلان) منبع اصلی آب شرب شهر ایلام است و اهمیت خاصی دارد، در این پژوهش وضعیت فرسایش و رسوب و همچنین برآورد میزان نرخ تحویل رسوب (SDR) بررسی شده است.

۲. مواد و روش ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

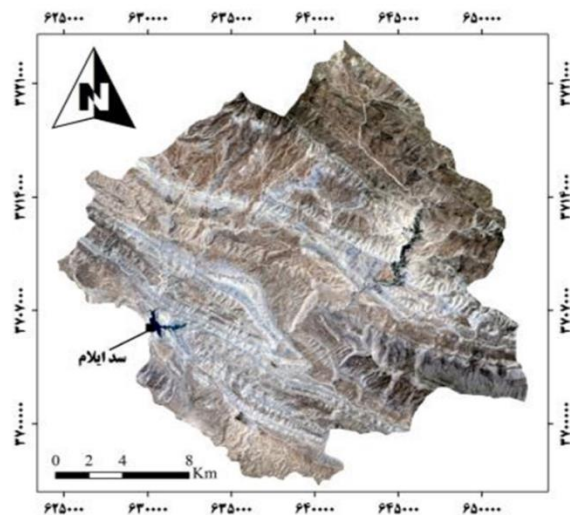
حوزه آبخیز سد ایلام در جنوب شرق شهرستان ایلام و با مساحت ۴۷۶/۷۵۱ کیلومتر مربع، در مختصات "۵۰ ۱۶' ۴۶° تا "۵۶ ۳۸' ۴۶° طول شرقی و "۲۴ ۲۳' ۳۳° تا "۵۸ ۳۸' ۳۳° عرض شمالی واقع شده است. میانگین بارندگی و دمای سالیانه بلندمدت (۳۰ ساله) در منطقه مورد مطالعه، به ترتیب ۵۹۵/۱ میلی متر و ۱۶/۸ درجه سانتی گراد برآورد شده است. از نظر سازندهای زمین شناسی، سازند پابده با ۲۵٪، سازند ایلام با ۱۲٪ و سازند آسماری با ۱۰٪ از کل سطح حوزه، بیشترین مساحت را پوشش می دهند. آبراهه های اصلی منطقه مورد مطالعه شامل رودخانه های چم گردلان، چاویز و هرقتگه و رودی سد چم گردلان (سد ایلام) را تشکیل می دهند که این

سال ۲۰۲۰ از سایت Earth Explorer دانلود شد. سپس تصاویر ماهواره‌ای با باندهای انتخابی (باندهای سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک) در نرم‌افزار ENVI وارد و این باندها با یکدیگر ترکیب شدند و مرز حوزه آبخیز سد ایلام روی این تصاویر برش داده شد. در ادامه پیکسل‌هایی معرف بازتاب کاربری‌های مدنظر بر مبنای برداشت میدانی تعیین و به‌عنوان نقاط تعلیمی برای هر کاربری انتخاب شدند. همچنین با توجه به وجود مطالعات قبلی در این منطقه [۳۱]، از نتایج به‌دست‌آمده در آن‌ها نیز برای افزایش دقت طبقه‌بندی استفاده شد. از سوی دیگر، از اطلاعات موجود در نرم‌افزار Google Earth نیز برای تعیین انواع کاربری‌های موجود در حوزه و انتخاب نقاط از مناطق صعب‌العبور استفاده شد. پس از تعیین نمونه‌های تعلیمی موردنظر، برای طبقه‌بندی تصاویر از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده (حداکثر احتمال) استفاده شد. در این تحقیق از روش ضریب کاپا^۱ به‌منظور صحت‌سنجی طبقه‌بندی استفاده شد. چنانچه مقدار ضریب کاپا صفر باشد بیانگر یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی و چنانچه مقدار ضریب کاپا یک یا نزدیک به عدد یک باشد، نشان‌دهنده یک طبقه‌بندی صحیح است [۱۹]. در پایان بعد از طبقه‌بندی تصاویر، برای اطمینان از صحت طبقه‌بندی، اقدام به بررسی میزان دقت براساس شاخص ضریب کاپا شد. در این مرحله از دسته دوم نقاط تعلیمی برداشتی از حوزه استفاده شد که در مرحله طبقه‌بندی استفاده نشده بودند. درنهایت، نقشه رستری تهیه‌شده برای عملیات پس‌پردازش (تعیین مساحت کاربری‌های مختلف و تهیه نقشه‌های موردنظر) به محیط نرم‌افزار GIS انتقال یافت.

مدل فرسایش و رسوب

در تحقیقات سال‌های اخیر، معادله جهانی فرسایش خاک (USLE) به‌دلیل وجود محاسبات ساده، یکی از کاربردی‌ترین روش‌های برآورد فرسایش خاک و ارزیابی تأثیرات اقدامات مدیریتی مختلف بر آن بوده است. مدتی پس از ارائه نسخه اولیه، نسخه جدید مدل USLE به نام معادله اصلاح‌شده جهانی هدر رفت خاک (RUSLE) توسعه یافته که برآوردهای بهتری از فاکتورهای P ، K ، C ، R

سد تأمین‌کننده آب شرب شهر ایلام است. درختان بلوط، سیمای گیاهی غالب منطقه را تشکیل می‌دهند، همچنین گونه‌های گیاهی یک‌ساله نسبت به سایر گونه‌ها از گسترش بیشتری برخوردارند [۱۸]. منطقه مورد مطالعه به خاطر اینکه یکی از اصلی‌ترین حوزه‌های شهر ایلام است، اهمیت شایان توجهی دارد؛ بنابراین، استفاده مطلوب از کاربری‌ها و منابع آبی، مطالعه وضعیت فرسایش و رسوب و بهینه‌سازی کاربری‌های آن الزامی به نظر می‌رسد. شکل ۱ موقعیت حوزه آبخیز سد ایلام را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز سد ایلام در کشور و استان ایلام

روش پژوهش

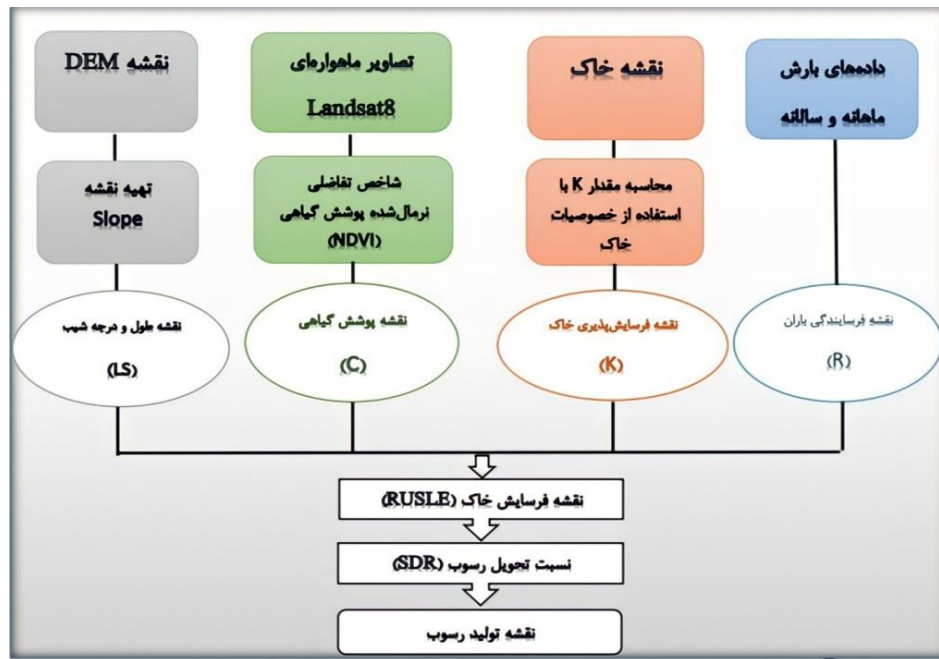
این تحقیق طی مراحل مختلفی به شرح زیر انجام گرفت:

تهیه نقشه کاربری اراضی منطقه

در این تحقیق به‌منظور تهیه نقشه کاربری اراضی، ابتدا تصاویر ماهواره Landsat8 مربوط به منطقه مورد مطالعه در

RUSLE و برای برآورد میزان رسوب منطقه مورد مطالعه نیز از ضریب نسبت تحویل رسوب 2 (SDR) که برابر با نسبت میزان رسوب خروجی از حوزه آبخیز یا ورودی به دریاچه سد به میزان فرسایش کل می‌باشد [۱۸] استفاده شد. مراحل تهیه نقشه فرسایش و رسوب در شکل ۲ ارائه شده است.

فرسایش خاک ارائه می‌دهد [۲۰-۲۲، ۱۶]. به دلیل اینکه امکان تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS) فراهم است، مدل RUSLE با GIS و RS تلفیق شده است [۲۳]؛ بنابراین در این تحقیق برای تخمین مقدار هدر رفت خاک از مدل



شکل ۲. نمودار جریان مراحل تهیه نقشه فرسایش و رسوب

که در آن: A: متوسط هدر رفت خاک در واحد سطح (تن در هکتار در سال)؛ R: عامل فرساینده باران؛ K: عامل فرسایش پذیری خاک؛ L: طول شیب، S: درصد شیب، C: عامل پوشش گیاهی و P: عملیات حفاظتی هستند که فاکتورهای P، C، S و L بدون بعد هستند [۲۶].

– عامل فرساینده باران (R):

ویشمایر و اسمیت^۳ در سال ۱۹۵۸ موضوع فرساینده باران را با هدف بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر فرسایش خاک ارائه نمودند. آن‌ها از یک شاخص تقریباً ساده که مقبولیت بیشتری داشته و امکان محاسبه آن با اطلاعات ایستگاه‌های باران‌سنجی میسر باشد، استفاده نمودند. از بین شاخص‌های گوناگون فرساینده باران، دو شاخص فورنیه و فورنیه اصلاح شده بیش از سایر شاخص‌ها در تعیین فرساینده باران مورد توجه دانشمندان گوناگون قرار گرفته‌اند. فرمول شاخص اصلاح شده فورنیه در رابطه ۲ ارائه شده است.

معادله استفاده شده در مدل RUSLE وابسته به پنج فاکتور (نقشه رستری) شامل فرساینده بارش (R)، فرسایش پذیری خاک (K)، طول و درصد شیب (L، S)، مدیریت پوشش گیاهی (C) و عملیات حفاظتی (P) است [۲۴]. این عوامل در زمان و مکان متغیر هستند و به دیگر متغیرهای محیطی بستگی دارند؛ بنابراین فرسایش خاک درون هر پیکسل محاسبه می‌شود [۲۵]. برای تهیه نقشه نهایی فرسایش خاک در ابتدا نقشه همه فاکتورهای مدل شامل R، K، S، L، C و P تهیه شد. سپس تمام این لایه‌ها در محیط GIS با استفاده از ابزار Raster Calculator با یکدیگر تلفیق و مقدار فرسایش خاک در سطح پیکسل محاسبه شد. سرانجام نقشه نهایی فرسایش خاک حوزه آبخیز سد ایلام تهیه شد. پارامترهای مدل RUSLE در رابطه ۱ ارائه شده است.

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

نقشه جریان تجمعی آب^۵ استخراج شد. سپس نقشه Slope با استفاده از نقشه DEM به دست آمد. در نهایت با اعمال رابطه (۵) در محیط GIS با ابزار Raster Calculator این نقشه‌ها با یکدیگر تلفیق و نقشه طول و درجه شیب منطقه مورد مطالعه به دست آمد.

– عامل ضریب پوشش گیاهی (C):

در این مدل، اثرات روش‌های برداشت و مدیریت کشاورزی و نیز تأثیر زمین، درخت و پوشش علفی بر میزان هدر رفت خاک در وضعیت غیر کشاورزی توسط عامل C مشخص می‌شود [۲۳]. برای تهیه نقشه عامل پوشش گیاهی ابتدا مقادیر شاخص NDVI در منطقه مورد مطالعه با بهره‌گیری از باندهای ۴ و ۵ تصاویر ماهواره‌ای Landsat8 مربوط به سال ۲۰۲۰ حوزه آبخیز سد ایلام و رابطه (۶) در محیط GIS به کمک ابزار Raster Calculator استفاده شد.

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{Red}) / (\rho_{NIR} + \rho_{Red}) \quad (6)$$

در این رابطه ρ_{Red} باند قرمز (۴) و ρ_{NIR} باند مادون قرمز نزدیک (باند ۵) است. بعد از محاسبه NDVI برای کل منطقه، در نهایت با استفاده از رابطه (۷)، نقشه پوشش گیاهی (C) منطقه در محیط GIS تهیه شد [۲۹].

$$C = ((1 - NDVI) / 2) \quad (7)$$

– عامل عملیات حفاظتی (P):

طبق تعریف ویشمایر و اسمیت^۶، عامل اقدامات حفاظتی به میزان هدر رفت خاک در واحد سطح زمین حفاظت شده، به زمینی که لخت بوده و در جهت تندترین شیب، شخم زده شده باشد اطلاق می‌شود. به‌طور کلی منظور از اقدامات حفاظتی کشت نواری، تراس‌بندی و کشت روی خطوط تراز می‌باشد که هرچه مقدار این پارامتر کمتر باشد، اقدامات حفاظتی مفیدتر و فرسایش کمتر است. در صورتی که هیچ اقدام حفاظتی صورت نگرفته باشد، مقدار آن یک لحاظ می‌شود [۳۰].

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

که در آن، P_i = بارندگی متوسط ماهانه (میلی‌متر) و P = بارندگی متوسط سالانه (میلی‌متر) است.

با استفاده از فرمول ۳، ضریب فرسایش‌گذاری باران محاسبه می‌شود:

$$R = (0.07397 \times F^{1.847}) / 17.2 \quad \text{If } F < 55 \text{ mm} \quad (3)$$

$$R = (95.77 - 6.081 \times F + 0.4770 \times F^2) / 17.2 \quad \text{if } F \geq 55 \text{ mm} \quad (4)$$

– عامل فرسایش‌پذیری خاک (k):

با توجه به اینکه عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) همبستگی خوبی با پنج عامل فیزیکی خاک یعنی سیلت، شن، شن خیلی ریز، ساختمان خاک، نفوذپذیری و مقدار ماده آلی دارد [۲۷]، در این تحقیق مقدار عامل K پس از انجام آزمایش‌های خاکشناسی، تعیین بافت خاک استخراج و نقشه این عامل در محیط نرم‌افزار ArcGIS برای حوزه آبخیز سد ایلام تهیه شد.

– عامل طول و درصد شیب (LS):

طول و درصد شیب از عوامل دخیل در معادله RUSLE، می‌باشند که اثر طول و تندی شیب (LS) به‌عنوان عامل توپوگرافی، میزان سرعت و پتانسیل فرسایش‌گذاری رواناب را نشان می‌دهد. فاکتور طول و درجه شیب از رابطه ۵ به دست آمد [۲۸]:

$$L.S = \left(\text{Flow accumulation} \times \frac{\text{cell size}}{22.13} \right)^{0.4} \times \left(\frac{\sin(\text{slope} * 0.01745)}{0.09} \right)^{1.3} \times 1.6 \quad (5)$$

در این تحقیق پارامتر LS بر اساس نقشه DEM منطقه تهیه شد. برای این منظور در ابتدا نقشه جهت جریان آب^۴ در الحاقیه Archydro در محیط ArcGIS تهیه شد. در ادامه

محاسبه نسبت تحویل رسوب (SDR)

با نقطه خروجی حوضه (Km) و L: طول حوضه آبخیز (Km)،
است.

در این روابط: A: مساحت برحسب مایل مربع (Mil²), L:
طول حوضه آبخیز برحسب متر (m), R: اختلاف ارتفاع
بلندترین و کمترین نقاط حوضه برحسب متر (m), RO:
متوسط ارتفاع سالانه رواناب برحسب اینچ (in) و SLP: شیب
آبراه اصلی برحسب درصد است.

پس از محاسبه SDR به کمک مدل‌های تجربی بیان شده،
نتایج آن‌ها با نتیجه رابطه (۸) مقایسه و مدلی به‌عنوان بهترین
مدل انتخاب شد که دارای کمترین اختلاف با نتیجه رابطه
(۸) باشد [۱۸]. در نهایت پس از محاسبه میزان فرسایش ویژه
حوضه آبخیز و ضریب رسوب‌دهی، به کمک رابطه (۹)،
میزان رسوب ویژه حوضه آبخیز سد ایلام محاسبه شد.

$$SDR = \frac{\text{رسوب ویژه}}{\text{فرسایش ویژه}} \quad (9)$$

در اغلب حوزه‌های آبخیز به خاطر نبود یا کمبود آمار و
اطلاعات مناسب، امکان محاسبه مستقیم رسوب میسر
نمی‌باشد؛ بنابراین برای محاسبه رسوب از روش نسبت تحویل
رسوب استفاده می‌شود. نسبت تحویل رسوب به صورت
ضریبی است که نشان‌دهنده قسمتی از مواد فرسایش یافته در
حوضه آبخیز می‌باشد که به نقطه خروجی حوضه انتقال
می‌یابند. برای تعیین این ضریب، اغلب از روش‌های تجربی و
فرمول‌هایی که توسط دانشمندان گوناگون در دنیا ارائه شده
استفاده می‌شود [۱۸]. در این تحقیق ابتدا مقدار SDR بر
اساس ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه (رابطه ۸) و سپس SDR
با استفاده از چند مدل تجربی محاسبه شد (جدول ۱).

$$SDR = \frac{4(P \times D)^{0.5}}{L + 10} \quad (8)$$

در این رابطه، SDR: نسبت تحویل رسوب، P: محیط حوضه
آبخیز (Km)، D: اختلاف ارتفاع بین ارتفاع متوسط حوضه

جدول ۱. مدل‌های تجربی انتخاب‌شده برای محاسبه نسبت تحویل رسوب

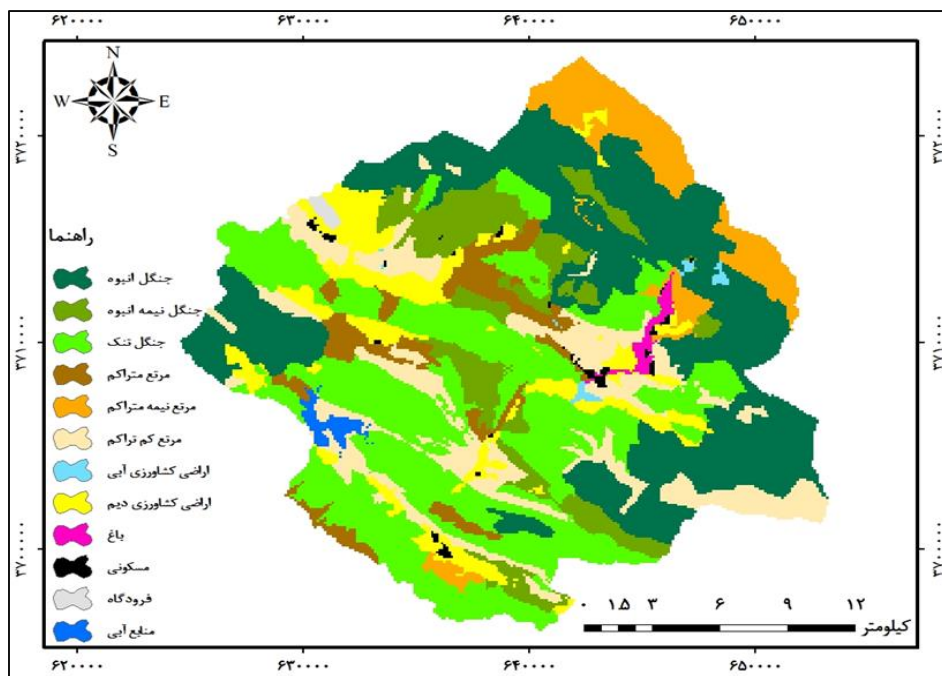
رابطه مدل	نام مدل
$\log SDR = 1.8768 - 0.4191 \log(10A)$	مانر (۱۹۷۰)
$SDR = 0.417762 A^{-0.134958} - 0.127097$	سرویس حفاظت خاک آمریکا (۱۹۸۳)
$SDR = 0.42 A^{-0.125}$	ونانی (۱۹۷۵)
$\log SDR = 0.294259 + 0.82362 \log \frac{R}{L}$	رنفرو (۱۹۷۵)
$SDR = 0.627 (SLP)^{0.403}$	ویلیامز و برنت (۱۹۷۲)
$SDR = 0.488 - 0.0006A + 0.01 RO$	ماختر و بویی (۱۹۷۵)

استخراج شده به روش طبقه‌بندی نظارت شده است. بر اساس
نتایج حاصل از این تحقیق، کاربری اراضی جنگلی
(جنگل‌های انبوه، نیمه‌انبوه و تنک) و کاربری فرودگاه به
ترتیب بیشترین و کمترین میزان مساحت را در بین
کاربری‌های دیگر در منطقه مورد مطالعه دارند.

۳. یافته‌ها

کاربری‌های اراضی منطقه مورد مطالعه

بر اساس نتایج روش طبقه‌بندی نظارت شده، تعداد ۱۲
کاربری در حوزه آبخیز سد ایلام مشخص شد (شکل ۳ و
جدول ۲). میزان ضریب کاپا در این روش طبقه‌بندی ۰/۸
محاسبه شد که نشان‌دهنده دقت بالای نقشه کاربری



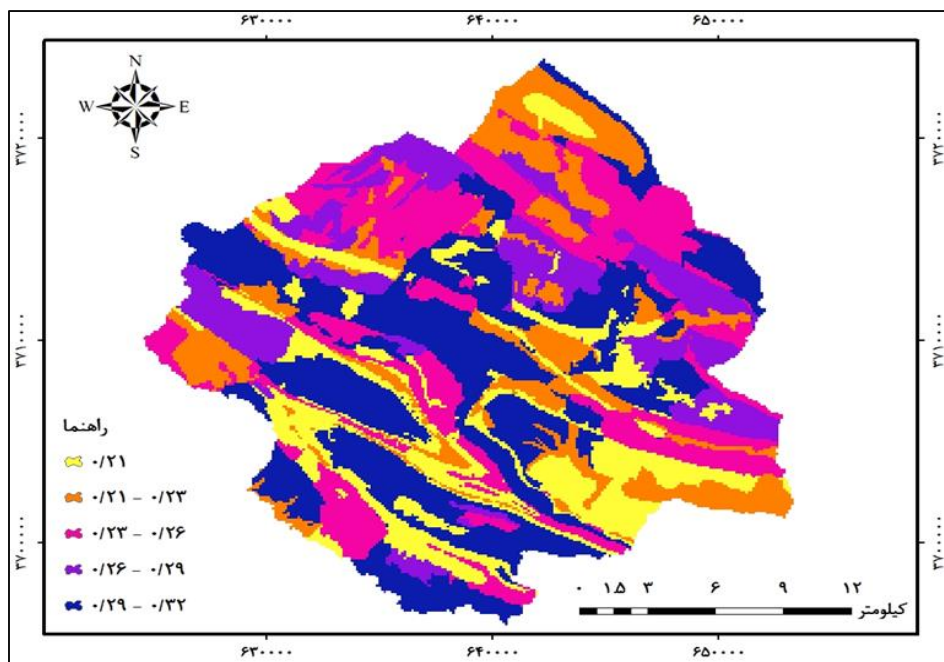
شکل ۳. نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز سد ایلام

وضعیت فرسایش در منطقه مورد مطالعه

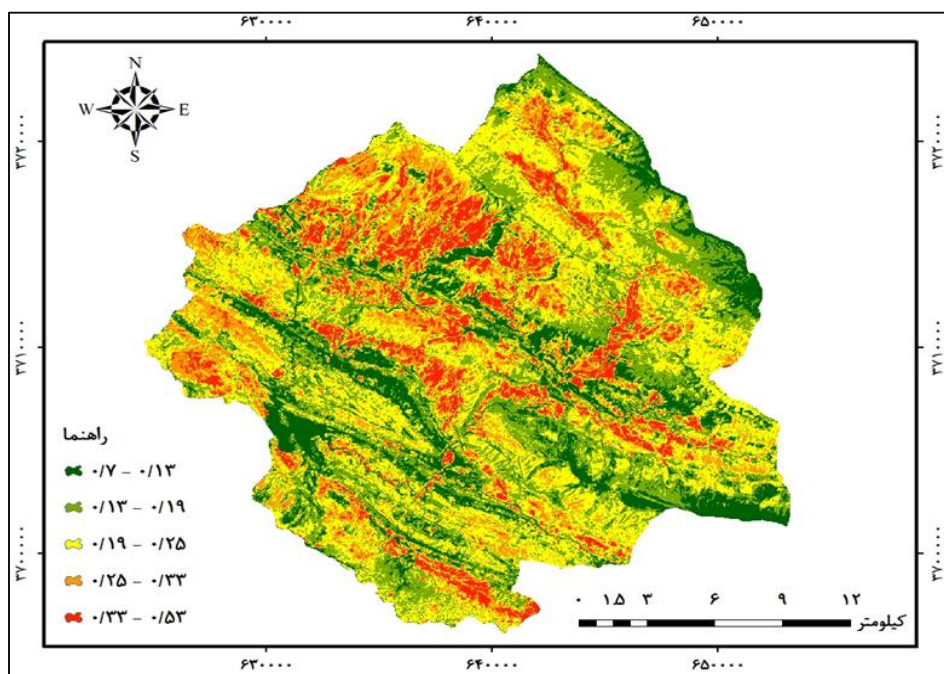
در این تحقیق، فرسایش خاک با بهره‌گیری از مدل RUSLE محاسبه شد (رابطه ۱). فاکتورهای R ، K ، $L.S$ ، C و P به ترتیب با استفاده از داده‌های بارش، نقشه خاک، مدل رقومی ارتفاعی، پردازش تصاویر ماهواره‌ای حاصل شد. میزان فاکتور فرسایش باران در منطقه مورد مطالعه بر اساس رابطه‌های ۲ و ۳، $۳۱۲/۵۵$ به دست آمد. با توجه به اینکه در حوزه آبخیز سد ایلام اقدامات حفاظتی (کشت نواری، ترانس‌بندی و کشت روی خطوط تراز و...) در کل حوزه آبخیز انجام نشده است؛ نمی‌توان آن را برای کل منطقه مورد مطالعه محاسبه کرد. به همین خاطر، میزان عامل P برای حوزه آبخیز سد ایلام عدد یک لحاظ شد. شکل‌های ۴ تا ۸ به ترتیب نقشه‌های عوامل K ، $NDVI$ ، C ، $L.S$ و فرسایش حوزه آبخیز سد ایلام را نشان می‌دهند.

جدول ۲. مساحت کاربری‌های اراضی حوزه آبخیز سد ایلام

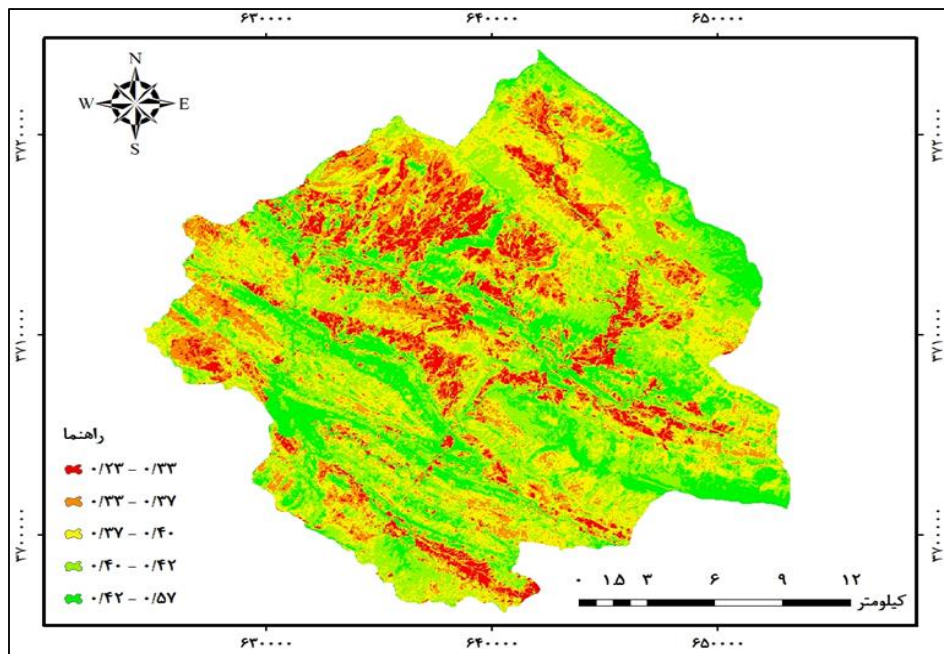
شماره	نوع کاربری	مساحت (هکتار)	مساحت نسبی (درصد)
۱	جنگل انبوه	۱۳۴۴۸/۶۶	۲۸/۲۹
۲	جنگل نیمه‌انبوه	۴۳۷۶/۰۸	۹/۲۰
۳	جنگل تنک	۱۳۵۳۱/۱۱	۲۸/۴۶
۴	مرتع متراکم	۲۳۸۰/۵	۵
۵	مرتع نیمه‌متراکم	۳۱۵۳/۷۲	۶/۷۱
۶	مرتع کم‌تراکم	۵۷۱۵/۶	۱۲/۰۲
۷	کشاورزی آبی	۱۴۲/۴۷	۰/۲۹
۸	کشاورزی دیم	۳۸۲۱/۳۹	۸/۰۴
۹	باغ	۲۷۷/۹۸	۰/۵۸
۱۰	مسکونی	۲۳۷/۴۹	۰/۴۹
۱۱	فرودگاه	۱۲۲	۰/۲۵
۱۲	منابع آبی	۳۲۱/۴۹	۰/۶۷
۱۳	کل	۴۷۵۲۸/۴۹	۱۰۰



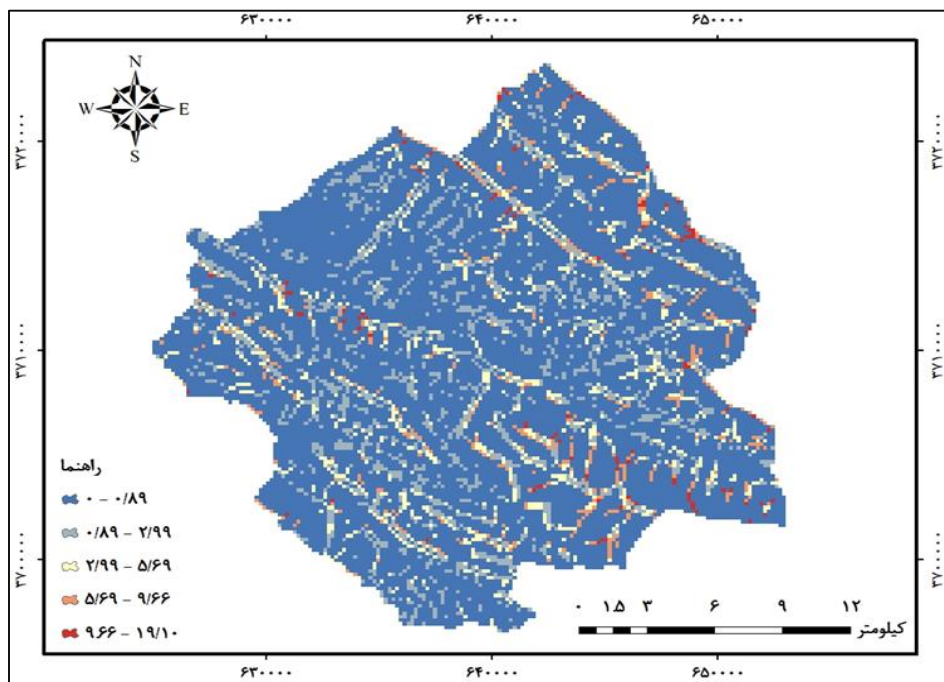
شکل ۴. نقشه فاکتور فرسایش پذیری خاک حوزه آبخیز سد ایلام (k)



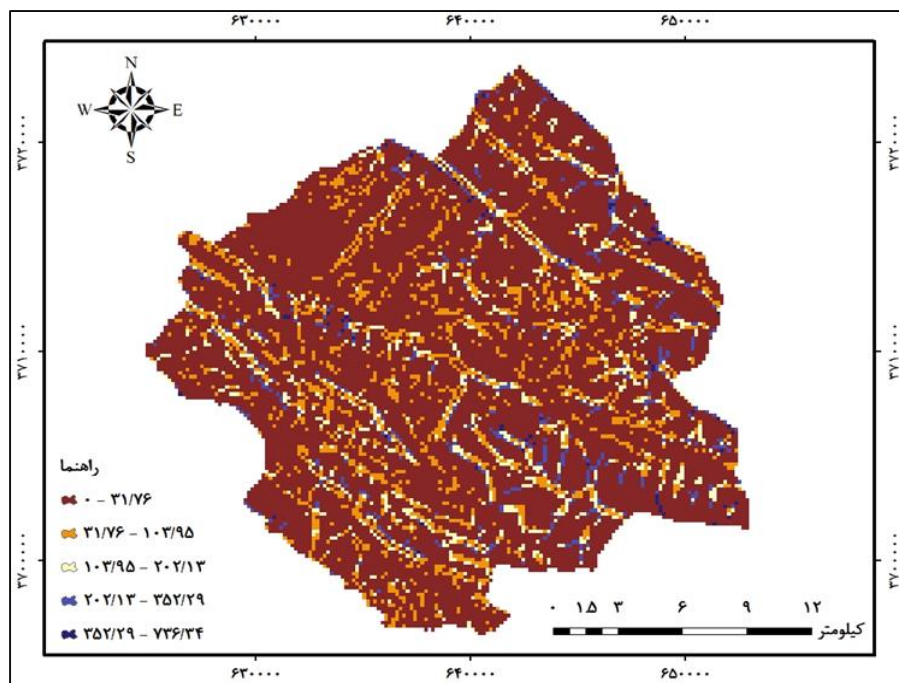
شکل ۵. نقشه شاخص NDVI حوزه آبخیز سد ایلام



شکل ۶. نقشه شاخص پوشش گیاهی حوزه آبخیز سد ایلام (C)



شکل ۷. نقشه عامل طول و درجه شیب (LS) حوزه آبخیز سد ایلام



شکل ۸. نقشه فرسایش حوزه آبخیز سد ایلام

برای هر کدام از کاربری‌های موجود در این حوزه آبخیز به صورت جداگانه محاسبه شد (جدول ۴). براساس این نتایج، بیشترین و کمترین مقدار فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز سد ایلام مربوط به کاربری‌های مرتع متراکم و منابع آبی هستند.

جدول ۴. فرسایش و رسوب حوزه آبخیز سد ایلام به ازای کاربری‌های مختلف

ردیف	نوع کاربری	فرسایش ویژه (تن در هکتار در سال)	رسوب ویژه (تن در هکتار در سال)
۱	جنگل انبوه	۳۳/۰۹	۲۹/۱۲
۲	جنگل نیمه‌انبوه	۱۳/۲۵	۱۱/۶۶
۳	جنگل تنک	۳۶/۶۲	۳۲/۲۳
۴	مرتع متراکم	۱۹/۳۰	۱۶/۹۸
۵	مرتع نیمه‌متراکم	۴۰/۴۸	۳۵/۶۲
۶	مرتع کم‌تراکم	۲۰/۷۵	۱۸/۲۶
۷	کشاورزی آبی	۱۹/۷۷	۱۷/۳۹
۸	کشاورزی دیم	۹/۱۳	۸/۰۴
۹	باغ	۶/۳	۵/۵۴
۱۰	مسکونی	۵/۲۹	۴/۶۵
۱۱	فرودگاه	۲/۱۷	۱/۹۱
۱۲	منابع آبی	۰	۰
۱۳	کل	۲۸/۰۱	۲۴/۶۵

وضعیت رسوب در منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش ابتدا نسبت تحویل رسوب (SDR) به کمک ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه (رابطه ۸) محاسبه و مقدار آن برابر ۰/۸۲ به دست آمد. سپس نسبت تحویل رسوب از طریق مدل‌های تجربی محاسبه شد. نتایج حاصل از روش‌های محاسبه SDR نشان داد که روش ویلیامز و برنت به روشی که SDR را بر اساس مشخصات حوزه آبخیز محاسبه کرد نزدیک‌تر بود [۱۸]؛ بنابراین روش ویلیامز و برنت به منظور انجام محاسبات و تهیه نقشه رسوب حوزه آبخیز سد ایلام مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از روش‌های محاسبه SDR در حوزه آبخیز سد ایلام در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. مقادیر نسبت تحویل رسوب در حوزه آبخیز سد ایلام

روش‌های محاسبه SDR	میزان SDR	میزان رسوب (تن/هکتار/سال)
ویلیامز و برنت	۰/۸۸	۲۴/۶۱
مانر	۰/۵۱	۱۴/۲۶
ماخلر بویی	۰/۵	۱۳/۹۸
ونانی	۰/۲۲	۶/۱۵
رنفرو	۰/۱۸	۵/۰۳
سرویس حفاظت خاک آمریکا	۰/۸	۲/۲۳

بعد از اینکه نقشه کاربری اراضی تهیه شد، میزان فرسایش و رسوب حوزه آبخیز سد ایلام، سپس میزان فرسایش و رسوب

مختلف دیگر نیز بر تأثیر چشمگیر عامل بارندگی در فرایند فرسایش خاک در حوزه‌های آبخیز گوناگون تأکید کرده‌اند [۳۳-۳۴]. نتایج مطالعات مختلف [۳۵-۳۷] نشان داد که استفاده از مدل‌های تجربی از قبیل مدل RUSLE کارایی لازم برای برآورد میزان فرسایش و رسوب در حوزه‌های آبخیز را دارند که با نتایج این مطالعه همخوانی دارد.

برای محاسبه میزان رسوب حوزه آبخیز سد ایلام به خاطر کمبود یا عدم وجود آمار و اطلاعات کافی، از SDR و روش ویلیامز و برنت (به علت تشابه نتایج آن با روشی که نسبت تحویل رسوب را بر اساس ویژگی‌های حوزه آبخیز محاسبه نمود) استفاده شد. نتایج نشان داد میانگین مقدار فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز سد ایلام به ترتیب برابر با ۲۸/۰۱ و ۲۴/۶۵ تن در هکتار در سال است. براساس این نتایج کاربری‌های مرتع نیمه‌متراکم، جنگل تنک و جنگل انبوه به ترتیب با میانگین فرسایش (رسوب) ۴۰/۴۸ (۳۵/۶۲)، ۳۶/۶۲ (۳۲/۲۳) و ۳۳/۰۹ (۲۹/۱۲) تن در هکتار در سال بیشترین میزان فرسایش و رسوب را دارند (جدول ۴). نکته مهمی که با عنایت به نتایج و اطلاعات حاصل از این بخش باید مورد توجه قرار گیرد؛ این است که یکی از علل بیشتر بودن میزان فرسایش در این کاربری‌ها نسبت به سایر کاربری‌ها، شیب زیاد این مناطق است. به طوری که این کاربری‌ها در نقاط شیب‌دار (شیب‌های ۳۸ تا ۷۰٪) واقع شده و به دلیل جنوبی بودن دامنه، دارای پوشش گیاهی و زیراشکوب ضعیف بوده و از طرفی فشار چرای دام در این مناطق سبب افزایش رواناب و در نتیجه فرسایش شدید و به تبع آن افزایش میزان رسوب این مناطق را فراهم می‌نمایند. افزون بر این موارد، افزایش میانگین فرسایش در اراضی کشاورزی آبی (۱۹/۷۷ تن در هکتار در سال) به سبب انجام عملیات شخم در جهت شیب و آبیاری غرقابی در بیشتر اراضی تحت کشت آبی سبب تخریب ساختمان خاک به ویژه در زمین‌های زراعی شیب‌دار و از دست رفتن توانایی خاک در مقابله با فرسایش می‌شود؛ بر همین اساس لازم است که در برنامه‌ریزی مطالعات آبخیزداری توجه ویژه‌ای به ساماندهی مشکل بیان شده معطوف شود. نتایج یک تحقیق مشابه [۳۸]،

وجود نقشه‌های کاربری اراضی در خیلی از زمینه‌ها از قبیل مدیریت منابع طبیعی و برنامه‌ریزی برای سرزمین اهمیت ویژه‌ای دارد. در این تحقیق از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده به منظور استخراج نقشه کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای Landsat8 استفاده شد. بر اساس این روش، تعداد ۱۲ کاربری اراضی در حوزه آبخیز سد ایلام حاصل شد. نقشه کاربری اراضی مذکور نشان داد که از کل مساحت حوزه آبخیز سد ایلام که برابر با ۴۷۵۲۸/۴۹ هکتار است، بیشترین و کمترین میزان مساحت مربوط به کاربری‌های جنگل (جنگل‌های انبوه، نیمه‌انبوه و تنک) و فرودگاه به ترتیب با ۳۱۳۵۵/۸۵ و ۱۲۲ هکتار است (شکل ۳ و جدول ۲).

۴. بحث

با توجه به اینکه امروزه فرسایش خاک و تولید رسوب به یکی از مشکلات مهم زیست‌محیطی بشر تبدیل شده است؛ مدیریت صحیح خاک در راستای بهره‌برداری مطلوب و کاهش تخریب آن الزامی است. پیامدهای فرسایش خاک شامل مشکلات عدیده‌ای است که از بین آن‌ها می‌توان به کاهش عمق خاک و محتوای مواد آلی آن، تخلیه عناصر معدنی مورد نیاز گیاهان، کاهش کیفیت آب، کاهش ظرفیت ذخیره آب در خاک و... اشاره نمود؛ بنابراین فرسایش خاک یکی از مباحث مهم مدیریت حوزه‌های آبخیز در مقیاس ملی و جهانی است. از طرفی پیش‌نیاز برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری در راستای کنترل فرسایش و رسوب، اطلاع از میزان فرسایش در حوزه آبخیز مورد نظر به منظور اجرای برنامه‌ها و اقدامات آبخیزداری برای کاهش میزان فرسایش و کنترل رسوب است. بر همین اساس روش‌ها و مدل‌های گوناگونی برای محاسبه مقدار فرسایش و رسوب وجود دارند. در این تحقیق میزان فرسایش خاک در حوزه آبخیز سد ایلام با بهره‌گیری از مدل RUSLE در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی و با استفاده از فناوری سنجش‌ازدور محاسبه شد. در این مطالعه مقدار فاکتور فرساینده‌ی باران در حوزه آبخیز سد ایلام ۳۱۲/۵۵ به دست آمد. در مطالعه‌ای در حوزه آبخیز تالار مازندران مقدار این فاکتور بین ۲۰۹/۶۵ تا ۵۰۳/۲۴ برآورد شد [۳۲] که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد. مطالعات

(مطالعه موردی: حوضه رودخانه بزرگ نائین استان اصفهان). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز. ۱۴۰۰؛ ۲۱(۲): ۳۳-۲۱.

[۳] جیحونی نائینی حدیثه، نجفی‌نژاد علی، سعدالدین امیر، امیدوار ابراهیم. تعیین عوامل مؤثر بر مشارکت آبخیزنشینان در طرح‌های آبخیزداری و تحلیل ارتباط آن‌ها (مطالعه موردی: حوضه رودخانه بزرگ نائین استان اصفهان). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز. ۱۴۰۱؛ ۲۲(۲): ۱۶-۳۰.

[۴] سلطانی عادل، قضاوی رضا، دخانی سیامک. بررسی اثرات هنجارهای قانونی، مشارکتی و باورها بر شاخص مشارکت و رفتار آبخیزنشینان (مورد مطالعه: حوزه آبخیز بنچله، شهرستان روانسر). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز. ۱۴۰۳؛ ۴(۱): ۱۵-۱۰.

[۵] کریمی زینب، طالبی علی. تدوین راهکارهای مدیریتی در راستای افزایش رواناب از گذشته تا آینده (مطالعه موردی: حوزه آبخیز زاینده‌رود - زیرآبخیز اسکندری). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز. ۱۴۰۳؛ ۴(۱): ۶۱-۷۵.

[۶] طالبی علی، کریمی زینب. ارائه پاسخ‌های مدیریتی در راستای راهبرد بهبود وضعیت منابع آب حوزه آبخیز زاینده‌رود. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز. ۱۴۰۲؛ ۳(۴): ۷۴-۹۱.

[۷] جعفری محمدرضا، صالح پور جم، امین. بررسی موانع مشارکت جوامع محلی در اجرای پروژه‌های آبخیزداری در حوضه سراب‌باغ استان ایلام. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز. ۱۴۰۲؛ ۳(۲): ۱۵-۱۰.

[۸] بی‌نیاز مهدی، تمسکی احسان. واکاوی ابعاد جامعیت در مفهوم مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز ایران. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز. ۱۴۰۲؛ ۳(۱): ۳۸-۵۳.

[۹] قیصوری مرتضی، صابری عارف، امیری عاطفه، صباغ، سیده عالمه. بررسی اثرات تغییرات کاربری اراضی بر

در حوزه آبخیز چلگرد در استان چهارمحال و بختیاری بیانگر این است که در شرایط فعلی میزان متوسط فرسایش در این حوضه حدود ۱۵/۰۲ تن در هکتار در سال است؛ ولی متوسط فرسایش در شرایط بهینه در همان حوضه حدود ۱۳/۵۴ تن در هکتار در سال برآورد شده است. در مطالعه‌ای در حوزه آبخیز سیکان [۳۹]، مقدار فرسایش خاک را ۱۷/۶۲ تن بر هکتار در سال برآورد شد. برای متوسط فرسایش خاک در ایران نیز اعداد و ارقام متفاوتی گفته شده که از ۵/۵ [۴۰] تا ۲۴ [۲۵] تن در هکتار در سال متغیر است. مقایسه نتایج این پژوهش‌ها با پژوهش حاضر نشان می‌دهد که مدل مطرح شده می‌تواند نتایج مناسب برای تصمیم‌گیرندگان را فراهم نماید.

۵. نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه یکی از اصلی‌ترین شاخص‌های حفاظت از محیط‌زیست، کنترل فرسایش خاک می‌باشد در این تحقیق تلاش شد ضمن تعیین کاربری‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای و ابزار GIS، میزان فرسایش و رسوب با استفاده از مدل RUSLE و همچنین به کارگیری روش‌های مختلف برآورد نسبت تحویل رسوب و... محاسبه شود که نتایج حاصله حاکی از مطلوب بودن این روش برای منطقه مورد مطالعه دارد و بر همین اساس استفاده از این مدل برای سایر مناطق مشابه نیز توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

این تحقیق بخشی از نتایج یک پایان‌نامه کارشناسی ارشد است و در اینجا از دانشگاه ایلام به خاطر حمایت از این تحقیق سپاسگزاری می‌کنیم.

مراجع

[1] Krywkow J, Hare M. Participatory Process Management, International Congress on Environmental Modeling and Software. EMSs. 2008; 888-99.

[۲] جیحونی نائینی حدیثه، نجفی‌نژاد علی، سعدالدین امیر، امیدوار ابراهیم. تحلیل عناصر تشکیل‌دهنده میزان تمایل آبخیزنشینان به مشارکت در طرح‌های آبخیزداری

- Learning Techniques. *Remote Sens.* 2022; 14, 4978. <https://doi.org/10.3390/rs14194978>
- [20] Chen T, Niu R, Li P, Zhang L, Du B. Regional soil erosion risk mapping using RUSLE, GIS, and remote sensing: a case study in Miyun Watershed, North China. *Environment Earth Science.* 2011; 63:533-41.
- [21] Markose VJ, Jayappa KS. Soil loss estimation and prioritization of sub-watersheds of Kali River Basin, Karnataka, India, using RUSLE and GIS. *Environmental Monitoring and Assessment.* 2016; 188(4):1-16.
- [22] Zare M, Samani AN, Mohammadi M, Salmani H, Bazrafshan J. Investigating effects of land use change scenarios on soil erosion using CLUE-s and RUSLE models. *International Journal of Environmental Science and Technology.* 2017; 14(9):1905-18.
- [23] Ghosh A, Rakshit S, Tikle S, Das S, Chatterjee U, Pande CB, Alataway A, Al-Othman AA, Dewidar AZ, Mattar MA. Integration of GIS and Remote Sensing with RUSLE Model for Estimation of Soil Erosion. *Land*, 2023; 12:116. <https://doi.org/10.3390/land12010116>
- [24] Wischmeier WH, Smith D. Predicting rainfall erosion losses, A guide for conservation planning (agricultural handbook 537), Washington, DC: USDA. 1978.
- [25] محمدی شاهین، کریم‌زاده حمیدرضا، علیزاده میثم. برآورد مکانی فرسایش خاک کشور ایران با استفاده از مدل RUSLE اکوهیدرولوژی. ۱۳۹۷؛ ۵(۲):۵۵۱-۵۶۹.
- [26] زندی جلال، حبیب‌نژاد روشن محمود، سلیمانی کریم. ارزیابی نقشه خطر فرسایش خاک و ارتباط آن با برخی عوامل محیطی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز وازرود، مازندران). مرتع و آبخیزداری. ۱۳۹۲؛ ۶۶(۳):۴۰۱-۴۱۵.
- [27] Wischmeier WH. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation.* 1971; 26:189-93.
- [28] Pham TG, Degener J, Kappas M. Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin: Central Vietnam. *International Soil and Water Conservation Research.* 2018; 6(2):99-110. doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.01.001.
- [29] Lin C, Lin W, Chou W. Soil erosion prediction and sediment yield estimation: the Taiwan
- دمای حوزه آبخیز شمالی استان ایلام. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۱۴۰۰؛ ۱(۱):۲۹-۴۳.
- [۱۰] جعفریان ناهید، کرمی امید. ارزیابی میزان تخریب اراضی طبیعی با تکیه بر تغییرات کاربری اراضی در مناطق جنگلی زاگرس. مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز. ۱۴۰۰؛ ۱(۲):۴۷-۶۱.
- [۱۱] غلامی لایلا، صادقی سیدحمیدرضا، همایی مهدی. تأثیر اصلاح‌کننده‌های خاک روی تغییرات آب‌نمود و رسوب‌نمود در شرایط آزمایشگاهی پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز ۱۳۹۶؛ ۸(۱۶):۱۱۲-۱۰۰.
- [12] Kassas M. *The Global Biosphere: Conservation for survival.* Mazangira. 1983; 7:2-13.
- [۱۳] اسمعیلی عوری اباذر، عبداللہی خدایار. آبخیزداری و حفاظت خاک (چاپ دوم)، انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی. ۱۳۸۹؛ ۵۷۴ صفحه.
- [14] Grepperud S. Soil conservation and government policies in tropical area: does aid worsen the incentives for arresting erosion. *Agric econ.* 2012; 12:120-140.
- [۱۵] رستگار حسین، حبیبی مهدی. ارزیابی پنج روش برآورد رسوب در رودخانه جگین در استان هرمزگان. مهندسی و مدیریت آبخیز. ۱۳۹۰؛ ۳(۱):۱۲-۲۱.
- [16] Ganasri BP, Ramesh H. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS: A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers.* 2016; 7(6):953-61. doi.org/10.1016/j.gsf.2015.10.007
- [۱۷] رستمی نورالدین، ربانی مریم. پهنه‌بندی میزان فرسایش‌پذیری خاک و تعیین عوامل مؤثر بر آن (مطالعه موردی: حوزه آبخیز گلان، ایلام). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز. ۱۴۰۲؛ ۳(۳):۱-۱۵.
- [۱۸] رستمی، نورالدین. انتخاب بهترین روش برآورد نسبت تحویل رسوب (S.D.R.) در حوزه آبخیز سد ایلام. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران. ۱۳۸۸.
- [19] Basheer S, Wang X, Farooque AA, Nawaz RA, Liu K, Adekanmbi T, Liu S. Comparison of Land Use Land Cover Classifiers Using Different Satellite Imagery and Machine

سالانه مدل RUSLE با داده‌های به دست آمده از میخ‌ها و کرت‌های فرسایش در حوضه آبخیز معرف خامسان. اکوهیدرولوژی. ۱۳۹۵؛ ۳(۴):۶۶۹-۶۸۰.

[۳۸] هنربخش افشین، پژوهش مهدی، زنگی‌آبادی مریم، حیدری مسلم. مدیریت حوزه آبخیز از طریق بهینه‌سازی کاربری اراضی با استفاده از رویکردهای بهینه‌سازی ریاضی و مکانی. علوم آب و خاک. ۱۳۹۶؛ ۲۱(۴):۲۵۷-۲۷۰.

[۳۹] مزبانی مهدی، رضایی مقدم محمدحسین، حجازی اسداله. ارزیابی خطر فرسایش خاک در کاربری‌های اراضی با استفاده از معادله اصلاح شده جهانی فرسایش خاک (مطالعه موردی: حوضه آبریز سیکان). جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۴۰۰؛ ۱۰(۱):۴۱-۶۳.

[۴۰] عرب خدیری محمود، شادفر صمد، جعفری اردکانی علی، بیات رضا، خواجوی الیاس، مهدیان محمدحسین. تدقیق برآورد فرسایش آبی در ایران. پژوهش‌های آبخیزداری. ۱۳۹۷؛ ۳۱(۳):۱۳-۲۷.

پی‌نوشت‌ها

1. Kappa Coefficient
2. Sediment Delivery Ratio
3. Vishmayer & Smith
4. Flow Direction
5. Flow accumulation
6. Vishmayer & Smith

experience. Soil and Tillage Research. 2002; 68:143-52.

[۳۰] رضائی پیمان، فریدی پروانه، قربانی منصور، کاظمی محمد. برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE و شناسایی مؤثرترین عامل آن در حوضه آبخیز گابریک- جنوب خاوری استان هرمزگان. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. ۱۳۹۷؛ ۳(۱):۹۷-۱۱۳.

[۳۱] توکلی، محسن. مطالعه رسوبزایی حوزه آبخیز سد ایلام و روش‌های کنترل و کاهش رسوب ورودی به مخزن سد. شرکت آب منطقه‌ای ایلام. ۱۴۰۰.

[۳۲] محمدی مازیار، فلاح مقدسه، کاویان عطاله، غلامی لیلا، امیدوار ابراهیم. کاربرد مدل RUSLE در تعیین توزیع مکانی خطر هدر رفت خاک. اکوهیدرولوژی. ۱۳۹۵؛ ۳(۴):۶۴۵-۶۵۸.

[33] Getachew H, Melesse A. Effects of Land Use Change on Sediment and Water Yields in Yang Ming Shan National Park, Taiwan. Environments. 2015; 2:32-42.

[34] Kamaludin K, Lihan T, Ali Rahman Z, Mustapha M, Idris W, Rahim S. Integration of remote sensing, RUSLE and GIS to model potential soil loss and sediment yield (SY). Hydrology Earth System Science, 2013; 10:4567-96.

[۳۵] امانپور سعید، عیبات محمد، عیبات محمود، عیبات ماجده. بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه رامهرمز با استفاده از طبقه‌بندی شیء‌گرا و مدل RUSLE. تحقیقات آب و خاک ایران. ۱۴۰۰؛ ۵۲(۳):۶۳۵-۶۴۹.

[۳۶] خالدی درویشان عبدالواحد، فرجی جلال، غلامی لیلا، خورسند محسن. تغییرات مکانی-زمانی فرسایش خاک در حوزه آبخیز معرف خامسان با استفاده از مدل RUSLE مهندسی و مدیریت آبخیز. ۱۴۰۰؛ ۱۳(۳):۵۳۴-۵۴۷.

[۳۷] خورسند محسن، خالدی درویشان عبدالواحد، غلامعلی فرد مهدی. مقایسه نتایج برآورد هدر رفت