

ارزیابی و بررسی تاثیر تغییرات کاربری اراضی در یک دوره بیست سال بر میزان

فرسایش خاک حوضه شفا رود با استفاده از مدل RUSLE

صیاد اصغری سراسکانرود^{۱*}، طیبه بابایی اولم^۲

*- استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۲- دانشجوی دکتری گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

ایمیل نویسنده مسئول: sayyad.sasghari۲۱@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۱

چکیده

فرسایش خاک یک مشکل جهانی است که منابع آب و خاک را تهدید می کند و تغییرات کاربری اراضی یکی از عوامل مهم در فرسایش خاک است. هدف از این پژوهش ارزیابی و بررسی تاثیر تغییرات کاربری اراضی در یک دوره بیست سال بر میزان فرسایش و رسوب با استفاده از مدل RUSLE در حوضه آبخیز شفا رود در استان گیلان می باشد. به منظور اجرای این تحقیق ابتدا تصاویر ماهواره ای منطقه مورد مطالعه مربوط به سال های ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱ و ماه خرداد از مرکز تحقیقات زمین شناسی آمریکا دریافت و پس از تصحیحات اتمسفری و رادیومتریک با استفاده از روش طبقه بندی نظارت شده به شیوه ماشین بردار پشتیبان اقدام به تهیه نقشه کاربری اراضی در هر دو سال شد. سپس به منظور برآورد میزان فرسایش در هر دو سال از مدل RUSLE استفاده شد. جهت تجزیه و تحلیل و تولید نقشه ها در اجرای این تحقیق نیز از نرم افزارهای Excel، ArcGIS، ArcHydro، ENVI و ArcSWAT استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که در طول بیست سال اخیر کاربری های اراضی زراعی و مراتع در منطقه کاهش و در مقابل سطح مناطق مسکونی افزایش یافته است. همچنین نتایج بررسی تغییرات فرسایش نشان داد میزان فرسایش از سال ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۱ از ۵/۶۳ به ۸/۳۷ تن در هکتار در سال رسیده که روندی افزایشی داشته است.

کلمات کلیدی

"فرسایش خاک"، "ماشین بردار پشتیبان"، "RUSLE"، "شفا رود".

۱- مقدمه

فرسایش خاک و بازده رسوب پاسخ دهد (اویانگ و همکاران^۲، ۲۰۱۸). زیرا کاربری اراضی بازتاب کنش های میان انسان و محیط زیست و نیز توصیف کننده نحوه بهره برداری متنوع انسان از فضا است (رن و همکاران^۳، ۲۰۱۹). تاکنون مطالعات متعددی در رابطه با موضوع تغییر کاربری ها و تاثیر آن بر فرسایش خاک در مناطق مختلف به انجام رسیده است. وایسگ^۴ و همکاران (۲۰۱۳)، با استفاده از تصاویر ماهواره ای و به کمک نتایج کمکی موجود مثل نقشه های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ و عکس های هوایی و نقشه های موجود و تصاویر ماهواره ای لندست TM و ETM+، به شناسایی تغییرات رخ داده در سطح زمین در حوضه کاگرا در دریاچه ویکتوریا در طول یک قرن گذشته پرداختند. همچنین برای ارزیابی صحت طبقه بندی نیز از ضریب کاپا استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که بین سال های ۱۹۰۱ تا ۲۰۱۰ سطح اراضی کشاورزی و غلات افزایش، چوب زارها کاهش،

فرسایش خاک، یک فرآیند طبیعی است که سطح از دست رفتگی خاک توسط عوامل محیطی مختلف نظیر آب و هوا، خاک، توپوگرافی و پوشش گیاهی را موجب می شود (عبیات و همکاران، ۱۴۰۰). با این حال، مداخلات انسانی از طریق تغییر کاربری زمین و فعالیت های کشاورزی و ساختمانی می تواند این جریان را تسریع بخشد (ونکر و همکاران^۱، ۲۰۱۹). از این جهت امروزه فرسایش خاک ناشی از تغییر کاربری زمین به مهم ترین مسئله تخریب زمین در سراسر جهان تبدیل شده که دگرگونی فرم اراضی و اختلال کارکردهای اصلی اکوسیستم از پیامدهای این واکنش های ژئومورفیکی آن است (پائول و همکاران^۲، ۲۰۱۹). این واکنش های ژئومورفولوژیکی تشدید فرسایش خاک و افزایش تعداد مناطق آسیب پذیر را به همراه دارد (آسیس و همکاران، ۲۰۲۱). در مطالعات اخیر بیان شده که خصوصیات چشم انداز حوضه های آبخیز می تواند حدود ۵۶ تا ۴۷ درصد تغییرات کاربری را در

۳- Ouyang et al

۴- Ren et al

۵- Wasige

۱- Vanacker et al

۲- Paul et al

مراعات روندی کاهشی را در بازه زمانی مورد مطالعه داشته است. اراضی کشاورزی آبی و باغات نیز تا سال ۱۳۸۵ روند کاهشی و در بازه زمانی بعدی تا سال ۱۳۹۲ روندی افزایشی داشته است. واعظی و همکاران (۱۳۹۶)، به ارزیابی مدل RUSLE همراه شده با سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در عرصه‌های زهکش کوچک در منطقه نیمه‌خشک شمال غربی ایران پرداختند. نتایج نشان داد میانگین هدررفت خاک برآوردی $43/68$ تن در هکتار در سال در عرصه‌های زهکش بود. بر اساس نتایج به نظر رسید که از یک سو عوامل‌های فرسایش‌پذیری خاک، شیب و عملیات حفاظت خاک نقش موثری در بیش برآورد مدل دارند و از سوی دیگر متغیرهایی مانند شکل شیب و خصوصیات آبراهه وجود داشته باشند در تعیین هدررفت خاک در منطقه موثر می‌باشند. فیضی‌زاده (۱۳۹۷)، تغییرات کاربری اراضی و نقش آن در فرسایش حوضه سد علویان در شهرستان مراغه استان آذربایجان شرقی را مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفت که تبدیل اراضی مرتعی پر تراکم به مرتع کم تراکم و زراعت دیم مهم‌ترین عامل در فرسایش منطقه است. محمدنژاد و همکاران (۱۳۹۹)، به بررسی روند تغییرات کاربری اراضی شهرستان نیر واقع در استان اردبیل و تاثیر آن بر فرسایش خاک (بین سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۶) با استفاده از تکنیک سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی پرداختند. نتایج نشان داد که به‌طور عمده مناطق با طبقه بسیار پر خطر و پر خطر در هر دو دوره زمانی در کاربری‌های زراعت دیم و زراعت آبی - باغات قرار دارند. اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۹)، به بررسی تغییر کاربری اراضی با استفاده از روش‌های پیکسل‌پایه و شی‌گرا و تحلیل اثرات تغییر کاربری‌ها بر فرسایش خاک در شهرستان مراغه استان آذربایجان شرقی پرداختند. با توجه به نتایج پهنه‌بندی خطر فرسایش سال ۲۰۰۰ به ترتیب $9/08$ و $15/88$ درصد و با توجه به پهنه‌بندی فرسایش سال ۲۰۱۷ به ترتیب $13/66$ و $29/76$ درصد از مساحت شهرستان در دو طبقه بسیار پر خطر و پرخطر قرار دارند. همچنین نتایج نشان داد که در دوره مذکور افزایش کاربری باغات متراکم، باغات کم تراکم، مسکونی و صنعتی، تخریب و تبدیل شدن اراضی مرتعی و اراضی دیم در سطح قابل توجهی صورت گرفته است که نقش مهمی در افزایش آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه در مقابل فرسایش خاک دارد. امانپور و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه رامهرمز با استفاده از طبقه‌بندی شی‌گرا و

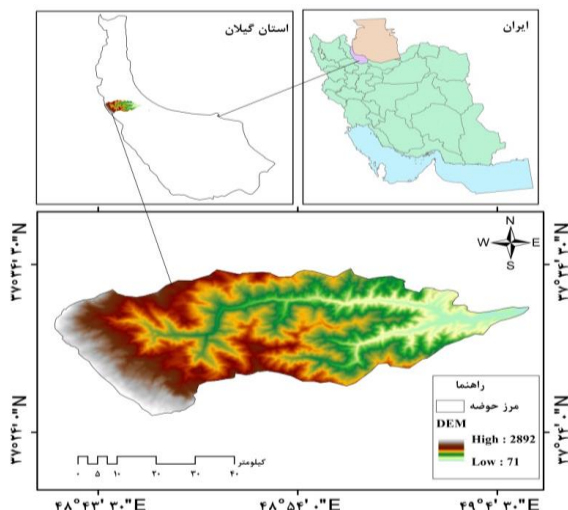
اراضی جنگلی کاهش و اراضی ساوان نیز با کاهش روبرو بوده است. سانتوس و همکاران (۲۰۱۷)، به بررسی تغییرات کاربری اراضی و نقش آن در فرسایش خاک در کشور برزیل پرداختند و نتایج نشان داد که سطح زمین‌های کشاورزی و مراعات کاهش یافته و میزان فرسایش در این مناطق ۱۰ برابر افزایش یافته است. راوات^۱ و همکاران (۲۰۱۸)، به منظور ارزیابی و اندازه‌گیری میزان آسیب‌پذیری فرسایش خاک در حوضه آبریز ناحیه الله‌آباد از ایالت اوتار پرادش هند را با استفاده از RUSLE و GIS انجام دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که پوشش گیاهی فرسایش خاک را متوقف می‌کند. سپینگ (۲۰۲۰)، به بررسی تغییرات کاربری اراضی بر روی تالاب‌ها را در ایالت پنجاب کشور هندوستان پرداخت و نتایج نشان داد که در طی بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۸ تأثیرات منفی عوامل انسانی هم‌چون کشت بی رویه و عدم اختصاص حق‌آبه مورد نیاز تالاب سبب کاهش وسعت پهنه آبی و نیز فرسایش خاک شده است. سرباج^۲ و همکاران (۲۰۲۳) پیش‌بینی میزان فرسایش خاک در جنوب عراق را با استفاده از مدل RUSLE انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که میزان فرسایش خاک منطقه در دامنه بین ۰ تا ۱۸۹ تن در هکتار در سال متغیر است همچنین از نظر توزیع فضایی میزان هدررفت خاک در قسمت‌های شمالی و شمال شرقی (کوه‌ها و تپه‌ها) زیرحوضه‌هایی که شیب آن تندتر است میزان فرسایش بیش‌تری نسبت به ناحیه دشتی در بخش‌های جنوبی و جنوب شرقی دارد که نشان می‌دهد شیب علاوه بر فرسایش بارندگی، تأثیر غالب بر سرعت فرسایش خاک دارد. لاکو^۳ و همکاران (۲۰۲۳)، به منظور ارزیابی فرسایش خاک با مدل راسل در کوه گورا را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که میزان فرسایش در این منطقه به طور متوسط بین $0/01$ و $2967/90$ تن در هکتار در سال تغییر می‌کند. همچنین با توجه به داده‌های به‌دست آمده دلیلی برای تعجب در مورد آینده این محیط شکننده وجود دارد که احتمالاً در کوتاه مدت مشکلات زیست محیطی را تجربه خواهد کرد. در ایران نیز فارسی و یوسفی (۱۳۹۲)، به منظور آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از داده‌های سنجش از دور در دشت بجنورد پرداختند. نتایج نشان داد که تغییرات گسترده‌ای در منطقه مورد مطالعه بوده است به‌طوری‌که اراضی دیم و

۱- Rawat

۲- Serbaji

۳- Laougue

حوضه آبخیز شفارود بین ۴۸ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۶ دقیقه و ۳۰ ثانیه از نصف النهار گرینویچ در نیمکره شرقی و بین ۳۷ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۱ دقیقه و ۳۰ ثانیه از خط استوا و در نیمکره شمالی و در غرب استان گیلان و منطقه تالش واقع شده است. بلندترین قله این حوضه بنام شرف در شمال غرب محدوده مورد مطالعه ۲۸۹۲ متر ارتفاع و پایین‌ترین نقطه آن در محل پایاب حوضه حدود ۷۱ متر از سطح آب‌های آزاد بلندی دارند. بخش وسیعی از این حوضه کوهستانی است و حدود ۸۰ درصد سطح آن را درختان جنگلی می‌پوشاند. این حوضه جزء واحد مورفوتکتونیکی البرز - تالش است. حوضه‌های منطقه تالش عموماً کشیدگی غربی - شرقی دارند و حوضه شفارود نیز چنین وضعیتی دارد. پایاب این حوضه حدوداً در ۱۰۰ کیلومتری شمال غرب رشت قرار گرفته است و با شهرستان رضوانشهر حدوداً ۳/۵ کیلومتر و با کارخانه صنایع چوب و کاغذ ایران چوکا حدوداً یک کیلومتر فاصله دارد. این حوضه از جنوب به شهرستان ماسال (حوضه شاندرمن)، از شمال به شهر پره سر (حوضه لمیر)، از غرب به شهرستان خلخال (حوضه شاهرود)، و نهایتاً از سمت شرق به جاده سراسری انزلی آستارا و دریای خزر محدود می‌گردد. زهکش اصلی حوضه که شفارود نام دارد در محلی به نام پونل (نزدیک جاده سراسری انزلی - آستارا) وارد جلگه میشود و پس از طی ۵ کیلومتر وارد دریای خزر می‌گردد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز شفا رود در سطح کشور و استان گیلان

مدل RUSLE پرداختند و نتایج این تحقیق نشان داد که مناطق مسکونی، اراضی بایر و زراعت دیم در منطقه افزایش داشته و در مقابل پهنه‌های آبی، مراتع و زراعت آبی در منطقه کاهش یافته‌اند. نتیجه تغییر این مساحت‌ها کاهش پوشش طبیعی خاک و افزایش فرسایش در منطقه مورد مطالعه بود. مددی و همکاران (۱۴۰۲)، به منظور بررسی و ارزیابی میزان هدررفت خاک در کاربری‌های اراضی حوضه آبخیز آتشگاه با استفاده از مدل تجربی فرسایش خاک جهانی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که متوسط فرسایش خاک در حوضه مورد مطالعه بین ۰/۰۹ تا ۱۱/۰۲ تن در هکتار در سال متغیر است. همچنین کاربری کشاورزی دیم با متوسط فرسایش خاک ۰/۴۸ و کاربری مراتع خوب با میانگین ۰/۲۱ تن در هکتار سال به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین هدررفت خاک را در بین سایر کاربری‌ها به خود اختصاص داده‌اند. نور و عرب‌خردی (۱۴۰۲)، برآورد فرسایش خاک و نسبت تحویل رسوب را با استفاده از مدل RUSLE در پایگاه تحقیقات حفاظت خاک سنگانه مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که برآوردهای مدل RUSLE از وضعیت فرسایش و رسوب با نتایج داده‌های کرت‌های فرسایشی تطابق نداشت. اما پس از اعمال ضریب اصلاحی، این مدل توانست میزان متوسط فرسایش کل دوره را با خطای بین ۲ الی ۱۷ درصد برآورد نماید که در دامنه قابل قبول مدل‌سازی فرسایش خاک است. نسبت تحویل رسوب برای حوضه‌های E₁، E₄ و E₆ به ترتیب ۲/۴۲، ۵/۴۱ و ۷/۳۹ درصد به دست آمد. در مجموع نتایج این تحقیق نشان داد که با استفاده از مدل اصلاح شده RUSLE امکان برآورد متوسط فرسایش خاک منطقه و همچنین تخمین نسبت تحویل رسوب وجود دارد. بر اساس بررسی‌های انجام‌شده می‌توان نتیجه‌گیری نمود که تاثیرات عوامل مختلف همچون داده‌های بارش، خاک، توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای، مدل رقومی ارتفاعی در شناسایی و برآورد فرسایش منطقه با استفاده از مدل RUSLE مورد مطالعه قرار گیرد. لذا با توجه به موارد ذکر شده و همچنین اهمیت مطالعه تغییر کاربری‌ها و نقش آن در فرسایش خاک در گذر زمان بررسی تاثیر تغییرات کاربری اراضی در یک دوره بیست سال بر میزان فرسایش و رسوب حوضه شفا رود مورد مطالعه قرار گرفت.

۲- روش انجام تحقیق

• محدوده مورد مطالعه

• مواد و روش‌ها

پراکندگی^۳ اپتیکی می‌شوند. سیگنال دریافتی در ماهواره، تابش نوری^۴ از سطح زمین و اتمسفر است که به صورت مستقیم از طریق سنسور ثبت می‌شود. تابش اندازه‌گیری شده در سنسور به تابش^۵ TOA معروف است. هدف از تصحیحات اتمسفری تبدیل تابش TOA اشیاء به بازتاب از سطح زمین است (کانتاکومار و نلامستی^۶، ۲۰۱۵). زمانی که از تصاویر چندزمانه جهت طبقه‌بندی کاربری اراضی استفاده می‌گردد، توصیه شده است که تصحیح اتمسفری تصاویر انجام گردد (کانتاکومار و نلامستی، ۲۰۱۵) و از طرف دیگر برای محاسبه شاخص NDVI، تصحیح رادیومتریکی ضرورت دارد (نگوین و فام^۷، ۲۰۱۶). بنابراین ابتدا جهت تصحیح رادیومتریکی، مقادیر DN^۸ تصویر به تابش^۹ کالیبره شد (تاکران^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۷)، سپس با استفاده از ماژول FLAASH^{۱۱} تصحیح اتمسفری اعمال شد (کانتاکومار و نلامستی، ۲۰۱۵). این ماژول توانایی اصلاح طول موج در ناحیه مرئی و مادون قرمز نزدیک^{۱۲} و مادون قرمز نزدیک موج کوتاه^{۱۳} تا بالای ۳ میکرومتر را دارا است (کانتاکومار و نلامستی، ۲۰۱۵). پارامترهای مورد نیاز برای تصحیح اتمسفری هم‌چون تاریخ و ساعت تصویربرداری از اطلاعات فایل متنی^{۱۴} که ضمیمه تصاویر است استخراج شد. در نهایت تصویر ماهواره‌ای با استفاده از فایل وکتوری مرز حوضه شفا رود جدا شد. طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان: با توجه به ویژگی‌های روش‌های مختلف، قابلیت‌های SVM به‌عنوان روشی کارا برای ارزیابی داده‌های طیفی مورد بررسی قرار گرفته است. این روش با استفاده از داده‌های آموزشی کم از خواص هندسی داده‌ها برای طبقه‌بندی استفاده می‌کند. هم‌چنین SVM از توابع کرنلی برای انتقال داده‌های غیرخطی در فضای ورودی به داده‌های خطی در فضای ویژگی استفاده می‌کند (زلفی باروق، ۱۳۹۰). این الگوریتم پس از یک طبقه‌بندی اولیه، با استفاده از کلاس هر پیکسل و همسایه‌هایش به صورت سلسله مراتبی تصمیم‌گیری می‌کند. تصمیم‌گیری در هر یک از سطوح این

در این پژوهش، جهت تجزیه تحلیل داده‌های بارش ازداده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی مجاور و داخل حوضه استفاده شد. لازم به ذکر است که کیفیت داده‌ای مورد استفاده قبل از وارد شدن در مراحل تجزیه و تحلیل آماری، مورد بررسی قرار گرفت و پس از رفع نواقص آماری احتمالی و هم‌چنین بررسی پرت بودن داده‌ها، وارد مرحله تجزیه و تحلیل آماری شد. در پردازش تصاویر ماهواره‌ای، انتخاب زمان مناسب تصاویر اخذ شده جهت تهیه نقشه کاربری اراضی، بسیار مهم است، بنابراین در پژوهش حاضر تصاویر چندزمانه سری لندست در شرایط بدون ابرناکی (باسکولا و همکاران، ۲۰۱۷) در اواسط خرداد (ماه June) سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱ شمسی (۲۰۰۴ و ۲۰۲۲ میلادی) از طریق سایت نقشه‌برداری زمین‌شناسی آمریکا (USGS) دریافت شد. با توجه به فصل رویش گیاهان مرتعی و زمان‌بندی کشت و برداشت محصولات زراعی، به نظر می‌رسد که تصاویر مربوط به اواسط خرداد، برای تهیه نقشه کاربری اراضی مناسب باشد. در این پژوهش اطلاعات تمامی باندهای طیفی تصاویر مذکور جهت طبقه‌بندی کاربری اراضی مورد استفاده قرار گرفت. هم‌چنین در این پژوهش از نرم‌افزارهای Arc، Excel، GIS، Archydo و ENVI^{۱۵} جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها و تهیه نقشه‌ها استفاده شد.

• پیش‌پردازش تصاویر

تصحیحات رادیومتریکی شامل آن دسته از تصحیحات می‌باشند که تنها روی درجات خاکستری اعمال شده و فقط با تغییر مقادیر آن‌ها به صورت مجزا (به صورت پیکسل به پیکسل)، سعی در جبران بعضی خطاهای موجود دارند. از عمده موارد خطاهای رادیومتریکی عبارت‌اند از: خطوط جا افتاده، خطای نوار نوار شدن، خطاهای اتمسفری، خطاهای دستگاهی و نویزها (کانتاکومار و نلامستی، ۲۰۱۵). پس از دریافت تصاویر ماهواره‌ای مذکور، کنترل کیفیت داده‌ها، وجود خطاهای اتمسفری، هندسی و رادیومتری با برنامه ENVI^{۱۵} مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به این که تصاویر دریافتی دارای سیستم مختصات بود و از صحت هندسی بالایی برخوردار بود، بنابراین نیازی به تصحیح هندسی نبود. در تمامی تصاویر دریافتی تصحیح رادیومتریکی انجام شد. به منظور اطمینان از بازیابی دقیق اطلاعات طیفی تصاویر، جهت تصحیح اتمسفری اعمال شد. اتمسفر زمین از ذرات مایع، جامد و گاز تشکیل شده است که بسیاری از این ذرات سبب جذب^۱، انتشار^۲ و

۳- Scattering

۴- Emergent Radiation

۵- Top of Atmosphere

۶- Kantakumar and Neelamsetti

۷- Nguyen and Pham

۸- Digital Numbers

۹- Radiance

۱۰- Thakkar

۱۱- Fast Line of sight Atmospheric Analysis of Spectral Hyper cubes

۱۲- Near-Infrared

۱۳- Shortwave Infrared

۱۴- MTL

۱- Absorption

۲- Dffusion

شاخص‌هایی مبتنی بر مقادیر بارش‌های سالانه و ماهانه مثل شاخص فورنیه در مدل‌های USLE و RUSLE استفاده می‌شود (رنارد و فرموند، ۱۹۹۴). بنابراین شاخص اصلاح شده فورنیه بر اساس رابطه ۲ برای تمامی ایستگاه‌ها محاسبه، سپس با جاگذاری این شاخص در رابطه‌های بعدی که برای مناطق فاقد داده‌های تفصیلی شدت بارندگی پیشنهاد شده است (رنارد و فریموند، ۱۹۹۴)؛ مقدار فاکتور R برای ایستگاه‌های هواشناسی برآورد شد. ابتدا انتخاب ایستگاه‌های مناسب از نظر طول دوره آماری، انتخاب پایه زمانی مشترک، کنترل کیفی، همگن‌سازی و رفع نواقص قبل از محاسبه شاخص مبتنی بر مقدار بارندگی در ایستگاه‌های باران‌سنجی انجام شد. برای انجام این تحقیق داده‌های بارش از دوره آماری ۲۰ ساله ایستگاه باران‌سنجی موجود در داخل و اطراف حوضه کسب شد. سپس با استفاده از روابط (۴، ۳ و ۲) مقدار R مورد محاسبه قرار گرفت.

$$MFI = \sum_{i=1}^n P_i^V / P \quad (2)$$

که در این رابطه P_i متوسط بارندگی به میلی‌متر در ماه i و P متوسط بارندگی سالیانه (میلی‌متر) است.

$$R = 0.07397 \times MFI^{1.847} \quad MFI < 50 \text{ mm} \quad (3)$$

$$R = (95.77 - 6.081 \times F + 0.477 \times MFI^2) / 1 \quad MFI \geq 50 \text{ mm} \quad (4)$$

در این رابطه R متوسط فرساینده‌گی بر حسب $Mj.mm.ha^{-1}$ در h^{-1} برای دوره آماری، n تعداد سال‌های آماری، m_j تعداد حوادث فرساینده برای ماه j و EL^{30} میزان فرساینده‌گی باران برای رخداد K است. فرساینده‌گی باران برای هر رخداد بارش بر اساس رابطه ۷ به دست می‌آید: پس از محاسبه عامل R در ایستگاه‌های باران‌سنجی مورد مطالعه، تغییرات مکانی آن با استفاده از روش درون‌یابی عکس فاصله وزنی (IDW^4) مورد بررسی و نقشه تغییرات مکانی عامل R تهیه شد.

طبقه‌بندی‌کننده به وسیله یک ماشین بردار پشتیبان انجام می‌شود (مانترو^۱ و همکاران، ۲۰۰۵). الگوریتم SVM در واقع یک الگوریتم طبقه‌بندی‌کننده است که دو کلاس را با استفاده از یک مرز خطی از هم جدا می‌کند. در این روش با استفاده از تمامی باندها و یک الگوریتم بهینه‌سازی، نمونه‌هایی که مرزهای کلاس‌ها را تشکیل می‌دهند به دست می‌آورند، این نمونه‌ها را بردارهای پشتیبان گویند. تعدادی از نقاط آموزشی که کم‌ترین فاصله تا مرز تصمیم‌گیری را دارند می‌توانند به عنوان زیر مجموعه‌ای برای تعریف مرزهای تصمیم‌گیری و به عنوان بردار پشتیبان در نظر گرفته شوند (واپنیک و چرونونکیس^۲، ۱۹۹۱).

• ارزیابی فرسایش خاک

در این پژوهش جهت برآورد میانگین سالانه فرسایش خاک از مدل RUSLE استفاده شد. مدل RUSLE تابعی از ۶ فاکتور ورودی شامل فرساینده‌گی باران (R)، فرسایش‌پذیری خاک (K)، طول و درجه شیب (LS)، مدیریت پوشش گیاهی (C) و عملیات حفاظتی (P) است. حساسیت خاک به فرسایش، تابعی از خصوصیات خاک است و تغییر خصوصیات خاک با کاربری اراضی و توپوگرافی در ارتباط است. فرسایش خاک بر اساس مدل RUSLE با استفاده از رابطه ۱، محاسبه می‌شود (ویشمایر و اسمیت^۳، ۱۹۷۸):

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

در این رابطه A میانگین فرسایش خاک در واحد سطح (تن در هکتار در سال)، R فاکتور فرساینده‌گی باران ($mm h^{-1}$ در هکتار در سال)، K فاکتور فرسایش‌پذیری خاک ($t h MJ^{-1} y^{-1}$)، LS فاکتور توپوگرافی، C فاکتور پوشش گیاهی و P فاکتور عملیات حفاظتی خاک است. LS و C و P بدون واحد می‌باشند. عامل فرساینده‌گی باران (R): مفهوم فرساینده‌گی باران توسط ویشمایر و اسمیت به منظور لحاظ تاثیر اقلیم بر فرسایش خاک ارائه شد. پتانسیل باران در ایجاد فرسایش، فرساینده‌گی باران نامیده می‌شود که تابعی از خصوصیات فیزیکی بارندگی است و با انرژی مستقیم باران، انرژی جنبشی بارندگی و حداکثر شدت بارندگی ۳۰ دقیقه‌ای در ارتباط است (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸). در منطقه مورد مطالعه ایستگاه‌های مجهز به باران‌نگار وجود ندارد، در صورت عدم وجود چنین ایستگاه‌هایی معمولاً از

۱- Mantero

۲- Vapnik and Chervonenkis

۳- Wischmeier and Smith

۴- Inverse distance weighting

فاکتور پوشش گیاهی (C): فاکتور پوشش گیاهی بیانگر نسبت مقدار خاک از بین رفته از زمین زیرکشت، به خاک فرسوده شده از همان قطعه زمین در طی آیش مداوم و عاری از پوشش یا بقایای گیاهی است. مقدار عامل پوشش گیاهی از رابطه ۶، محاسبه می‌شود (ویشمیر و اسمیت، ۱۹۷۸).

$$C = \exp(-\alpha \text{ NDVI} / \beta - \text{NDVI}) \quad (6)$$

که در آن NDVI شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده α^{-2} و β^{-1} پارامترهایی هستند که شکل رابطه منحنی بین NDVI و C را مشخص می‌کنند. در پژوهش حاضر نقشه عامل پوشش گیاهی (C) با استفاده از شاخص پوشش گیاهی سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱ و رابطه ۶ تهیه شد. عامل عملیات حفاظتی خاک (P): در مدل RUSLE عامل P نشان‌دهنده نسبت هدررفت خاک در شرایط اجرای عملیات حفاظتی (کشت روی خطوط تراز، کشت نواری، ترانس‌بندی و زهکشی زیرسطحی) به هدررفت خاک تحت زراعت شخم در جهت شیب است (ویشمیر و اسمیت، ۱۹۷۸). این عملیات حفاظتی به دلیل تأثیر بر سرعت رواناب، زمان تمرکز و نیروی هیدرولیکی رواناب بر خاک سبب کاهش فرسایش می‌شوند و ارزش عددی این عامل از صفر (نشان‌دهنده عملیات حفاظتی کامل) تا یک (بدون عملیات حفاظتی) متغیر است (ویشمیر و اسمیت، ۱۹۷۸). بنابراین با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه هیچگونه عملیات حفاظتی انجام نشده است ارزش P برای حوضه مورد مطالعه برابر یک در نظر گرفته شد.

پس از تهیه نقشه‌های ۵ عامل مدل RUSLE، با ترکیب مقادیر عامل‌های مذکور نقشه فرسایش خاک در سال ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱ تهیه شد.

• بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک

جهت ارزیابی اثر تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک، نقشه کاربری اراضی هر سال با نقشه فرسایش خاک همان سال مقایسه شده و برای هر طبقه پوشش، میزان فرسایش و مساحت طبقه فرسایش مشخص شد.

۳- نتایج

تغییرات کاربری اراضی: پس از دریافت تصاویر ماهواره‌ای سری لندست و انجام اصلاحات مربوط به پیش‌پردازش‌های اولیه تصاویر ماهواره‌ای، با استفاده از نقشه مرز حوزه آبخیز شفا رود، تمامی باندهای طیفی تصاویر برش داده شد. همان‌طور که عنوان شد جهت تفکیک اراضی بایر، مرتع ضعیف، متوسط و خوب از

عامل فرسایش‌پذیری خاک (K): عامل فرسایش‌پذیری خاک بیانگر حساسیت ذاتی خاک به فرسایش است و سهولت جدا شدن ذرات خاک بر اثر انرژی جنبشی قطرات باران و انتقال آن‌ها به وسیله نیروی رواناب را نشان می‌دهد (کیانی هرچگانی و همکاران، ۱۳۹۷). مورگان برای ضریب فرسایش‌پذیری خاک‌های مختلف اعدادی را پیشنهاد نموده است که در جدول (۱)، نشان داده شده است (احمدی، ۱۳۸۸). به منظور تهیه نقشه عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) از نقشه بافت خاک ۱:۲۵۰۰۰۰ ایران و اطلاعات جدول (۱)، استفاده شد.

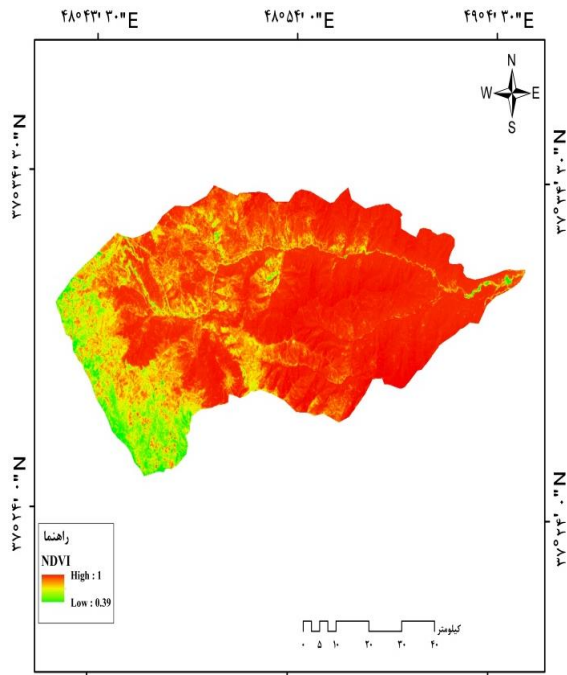
جدول ۱: ضریب فرسایش‌پذیری خاک (K)، منبع: احمدی، ۱۳۸۸.

وضعیت خاک	K	وضعیت خاک	K
خاک سطحی با پوشش سنگریزه‌ای	۰/۵	اراضی مقاوم به فرسایش	۰/۱
خاک‌های ماسه‌ای	۰/۱۶	خاک‌های ماسه‌ای نرم	۰/۴۲
خاک‌های لومی سنی	۰/۱۲	خاک‌های لومی با ماسه بسیار ریز	۰/۴۲
خاک‌های سیلتی لومی	۰/۴۸	خاک‌های لومی	۰/۳۷
خاک‌های سیلتی رسی	۰/۲۵	خاک‌های لومی رسی	۰/۳۷

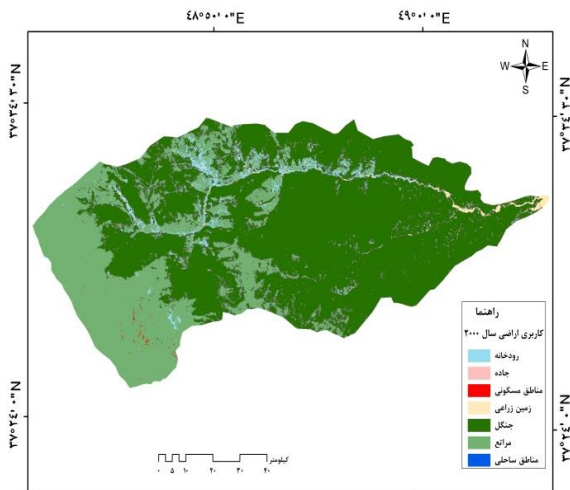
فاکتور توپوگرافی (LS): فاکتور درصد شیب، تابعی از درجه شیب و منعکس‌کننده اثر درجه شیب بر مقدار فرسایش است. فاکتور طول شیب نیز تابعی از طول شیب اندازه‌گیری شده برحسب متر است. حاصل ضرب دو فاکتور یاد شده، به‌عنوان فاکتور توپوگرافی شناخته می‌شود. برای تهیه نقشه فاکتور توپوگرافی، از مدل رقومی ارتفاعی منطقه استفاده شد. فاکتور توپوگرافی نیازمند نقشه‌های تجمیع جریان و شیب است که از نقشه مدل رقومی ارتفاعی استخراج می‌شوند و در نهایت با استفاده از رابطه ۵، فاکتور توپوگرافی به‌دست می‌آید.

$$LS = [(Flow \ accumulation \ grid) \times (cell \ size / 22,13)]^{1,4} \times [Sin \ (slope \ grid \ \times \ 0,01745) / 0,0896]^{1,3} \quad (5)$$

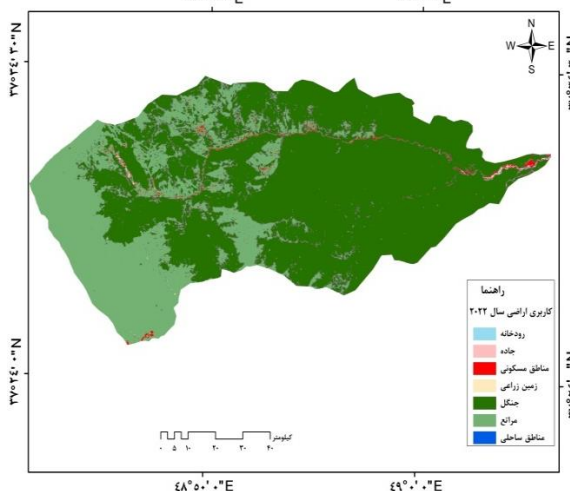
که در آن Flow Accumulation تجمیع جریان به سمت بالای شیب برای هر سلول، Cell Size اندازه سلول‌های شبکه و Slope شیب، به‌دست آمده از نقشه شیب است. از عدد ۰/۰۱۷۴۵ برای تبدیل واحد به رادیان در محیط GIS استفاده می‌گردد.



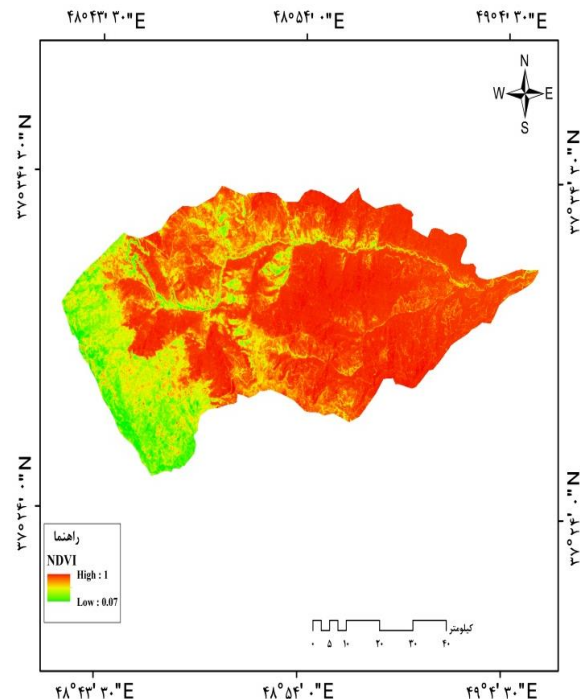
شکل ۳- نقشه شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) حوضه آبخیز شفا رود برای سال ۱۴۰۱



شکل ۴- نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز شفا رود برای سال ۱۳۸۱

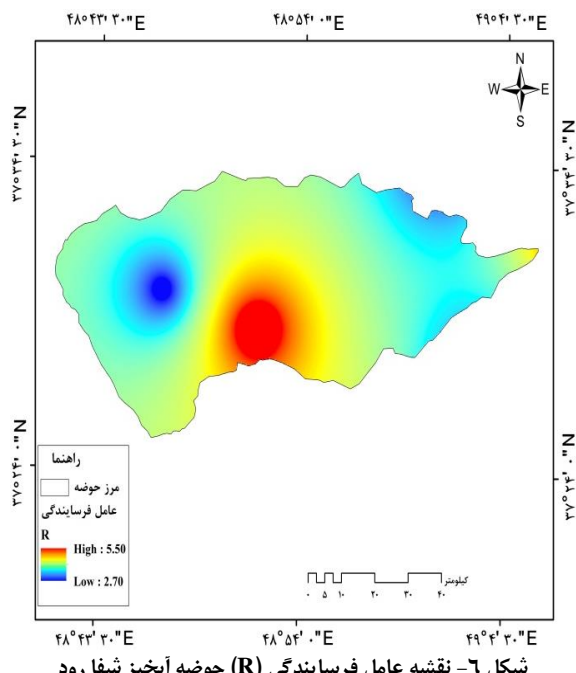


شاخص گیاهی NDVI استفاده شد. در شکل‌های (۲) و (۳) به ترتیب شاخص NDVI سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱ نشان داده شده است. این اشکال امکان بررسی بصری تغییرات پوشش گیاهی را طی سال‌های مذکور فراهم می‌کند. پس از برداشت نقاط آموزشی، نقشه کاربری اراضی از طریق روش طبقه‌بندی نظارت شده ماشین بردار پشتیبان تهیه شد. با توجه به این‌که در نقشه‌های طبقه‌بندی شده، در اثر تشابه بازتاب طیفی برخی کاربری‌ها، به‌ویژه کاربری اراضی مسکونی و کاربری اراضی بایر داری اختلاط طیفی و در نتیجه خطای قابل ملاحظه‌ای بود، بنابراین ایرادات نقشه‌های طبقه‌بندی شده، در محیط برنامه ArcGIS ۱۰٫۴ تا حد امکان اصلاح شد. سپس نقشه اصلاح شده و طبقه‌بندی کاربری اراضی با نمونه‌های واقعیت زمینی مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. در جدول ۱، صحت کل و ضریب کاپا در هر یک از سال‌ها نشان داده شده است. با توجه به نتایج حاصل شده نقشه‌های کاربری اراضی دارای دقت مطلوبی است، به طوری که صحت کل در سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱ به ترتیب ۰/۸۷ و ۹۲/۷۹ درصد و ضریب کاپا به ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۸۹۶۸ است. شکل‌های (۴) و (۵) نقشه کاربری اراضی را به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱ نشان می‌دهد که در جدول ۲ مقادیر ضریب کاپا و صحت کلی و در جدول ۳ مساحت و تغییرات هر یک از کاربری‌ها برای حوضه مورد مطالعه ارائه شده است.



شکل ۲- نقشه شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) حوضه آبخیز شفا رود برای سال ۱۳۸۱

دست آمده مقدار شاخص فرسایش پذیری خاک در منطقه مورد مطالعه بین ۰/۱۲ تا ۰/۴۲ متغیر است. در شکل (۷) نقشه توزیع مکانی فاکتور (K) ارائه شده است. عامل پوشش گیاهی (C): نقشه فاکتور پوشش گیاهی با استفاده از شاخص NDVI و بر اساس رابطه برای منطقه مورد مطالعه محاسبه شد. در واقع این فاکتور به طور کامل رابطه معکوسی با شاخص NDVI دارد. نقشه فاکتور پوشش گیاهی برای سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱ در شکل ۸ و ۹ ارائه شده است. بر اساس این شکل مقدار فاکتور C برای سال ۱۳۸۱ برابر با ۰/۱۸- تا ۰/۳۶+ و برای سال ۱۴۰۱ ۰/۱۸- تا ۰/۱۷+ متغیر می‌باشد. نقشه این فاکتور نشان می‌دهد که بیشترین مقدار این فاکتور در مناطق غربی و جنوب غربی است. و در قسمت‌های مرکزی و شرقی حوضه دارای مقدار کمتری می‌باشد. فاکتور توپوگرافی (LS): نقشه فاکتور توپوگرافی با استفاده از مدل رقومی ارتفاع منطقه و بر اساس رابطه ۵ با در نظر گرفتن کنش متقابل بین توپوگرافی و تجمع جریان آب برای منطقه مورد مطالعه محاسبه شد که در شکل ۱۰ ارائه شده است. بر اساس این شکل مقدار فاکتور LS در منطقه مورد مطالعه بین ۰ تا ۹۰/۴۳ متغیر است.



شکل ۶- نقشه عامل فرسایش پذیری (R) حوضه آبخیز شفا رود

شکل ۵: نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز شفا رود برای سال ۱۴۰۱

جدول ۲: مقادیر ضریب کاپا و صحت کلی برای تصاویر سال‌های ۲۰۲۲ و ۲۰۰۰، منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲

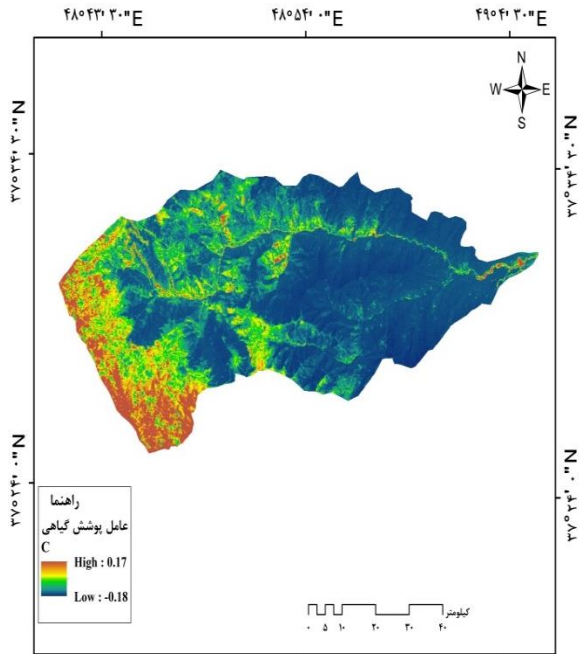
الگوریتم طبقه‌بندی	ضریب کاپا (درصد)	صحت کلی (درصد)	ضریب کاپا (درصد)	صحت کلی (درصد)
ماشین بردار پشتیبان (SVM)	۰/۸۹	۰/۸۷	۰/۹۱	۹۲/۷۹

جدول ۳: مقایسه مساحت و درصد تغییرات کاربری‌ها طی دوره زمانی ۲۰ ساله حوضه آبخیز شفا رود، منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲

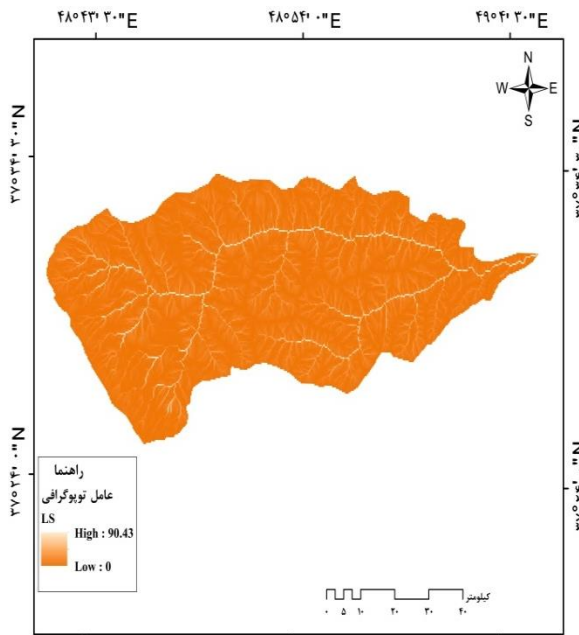
نوع کاربری	سال ۲۰۰۰ مساحت (کیلومتر مربع)	درصد	سال ۲۰۲۲ مساحت (کیلومتر مربع)	درصد	تغییرات
زمین زراعی	۲	۰/۹۲	۰/۱۸	۱۱/۶۱	کاهش
منطقه ساحلی	۰/۱	۰/۵۵	۰/۰۴	۰/۶۳	افزایش
جاده	۰/۳	۰/۰۸	۰/۶۷	۳/۸۸	افزایش
رودخانه	۱۳/۲	۰/۷۵	۰/۳۴	۰/۵۹	کاهش
مراکز	۱۰۳	۰/۸۹	۱۰۶/۹	۰/۹۷	کاهش
مناطق مسکونی	۰/۴۵	۰/۸۸	۴/۶۷	۱۹/۶۶	افزایش
جنگل	۲۲۴	۰/۹۸	۲۳۰/۳	۶۲/۶۳	افزایش
جمع	۳۴۳	۱۰۰	۳۴۳	۱۰۰	

تهیه نقشه فاکتورهای مدل RUSLE

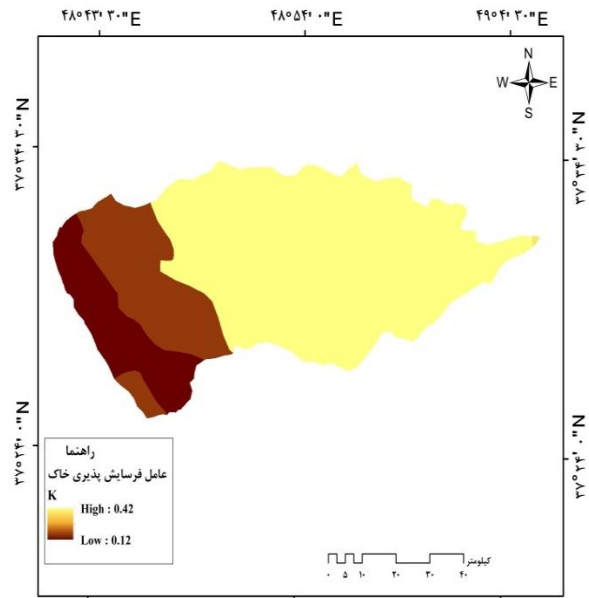
فاکتور فرسایش‌پذیری باران (R): نتایج حاصل از محاسبه میزان شاخص فرسایش‌پذیری باران (R) برای ایستگاه هواشناسی مورد مطالعه در جدول ۴ ارائه شده است. همچنین به دلیل نرمال نبودن داده‌های بارندگی نقشه فاکتور فرسایش‌پذیری با روش درون‌یابی IDW در محیط نرم افزار GIS برای دوره آماری ۱۳۸۱-۱۴۰۱ تهیه شد که در شکل آورده شده است. مطابق این شکل مقدار فاکتور R از ۲/۷۰ تا ۵۰/۵۰ در مگازول بر میلی‌متر در هکتار در سال متغیر است. در شکل (۶) نقشه عامل فرسایش‌پذیری ارائه شده است. فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K): بر مبنای نتایج به



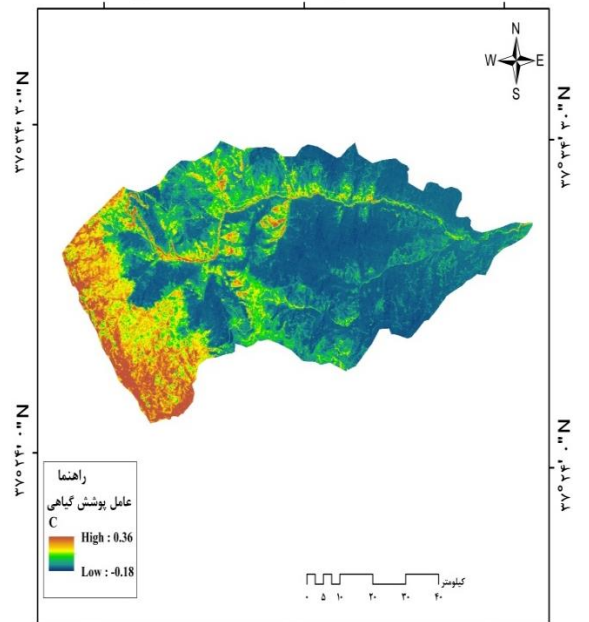
شکل ۹- نقشه عامل پوشش گیاهی (C) حوضه آبخیز سفید رود برای سال ۱۴۰۱



شکل ۱۰- نقشه عامل توپوگرافی (LS) حوضه آبخیز سفید رود



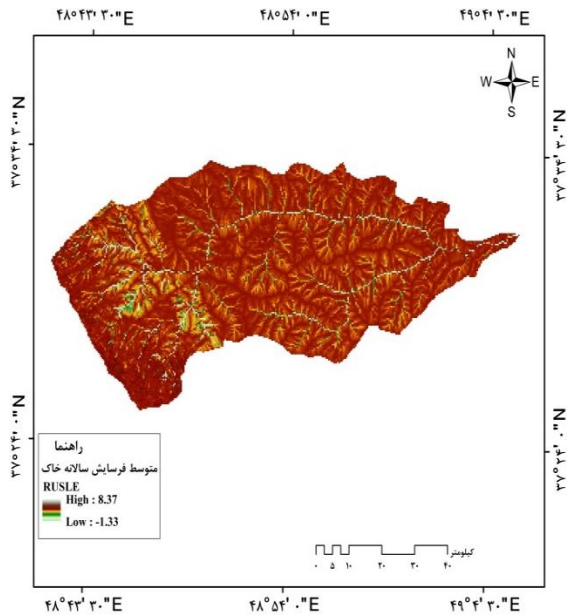
شکل ۷- نقشه عامل فرسایش پذیری خاک (K) حوضه آبخیز سفید رود



شکل ۸- نقشه عامل پوشش گیاهی (C) حوضه آبخیز سفید رود برای سال ۱۳۸۱

جدول ۴: مقادیر شاخص اصلاح شده فورنیه (MIF) و فرساینده‌گی باران (R)

نام ایستگاه	اصلاح شده فورنیه (MIF)	فرساینده‌گی باران (R)
استه سر	۲۹/۸۰	۲/۲۵
آب ویر	۲۹/۹۵	۲/۲۶
آق مسجد	۳۳	۲/۷
دره بند	۳۹/۷۵	۳/۸۷
برنی کل	۴۸/۳۰	۵/۵۴



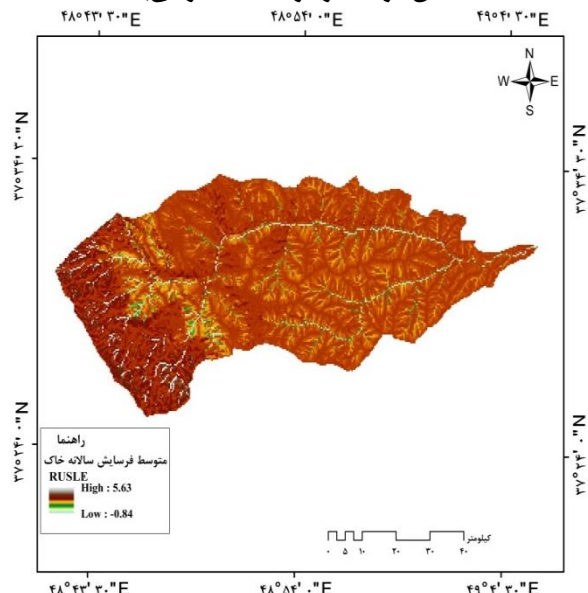
شکل ۱۲: نقشه متوسط فرسایش سالانه خاک در حوضه آبخیز شفا رود برای سال ۱۴۰۱

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای پایش تغییرات رخ داده در طول دوره ۲۰ ساله از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و روش طبقه‌بندی ماشینی بردار پشتیبان که دارای دقت بالایی می‌باشد استفاده شد. دقت طبقه‌بندی هر دو تصویر با شاخص کاپا و صحت کلی بررسی شد و با توجه به تحقیقات ماتر (۲۰۰۵) نتایج پژوهش حاضر از لحاظ آماری، دقت و صحت طبقه‌بندی قابل قبول است. بر اساس نتایج حاصل از بررسی دقت طبقه‌بندی در دو تصویر میزان دقت طبقه‌بندی به ترتیب تاریخ دریافت تصویر، روند افزایشی داشت که با توجه به بروز بودن اطلاعات منطقه برای تصویر سال ۲۰۲۲ و امکان دسترسی مستقیم به کاربری فعلی اراضی در منطقه برای انتخاب نمونه‌های تعلیمی طبیعی بود. علاوه بر این دقت به دست آمده در هر دو تصویر قابل قبول بوده و نشان از قابلیت بالای تصاویر لندست برای تهیه نقشه کاربری اراضی با دقت قابل قبول دارد که این امر با نتایج تحقیقات (سنجری و برومند، ۱۳۹۲؛ ال کاوی و همکاران، ۲۰۱۱) مطابقت دارد. البته باید اشاره نمود که دقت بالای طبقه‌بندی تنها حاصل اجرای فرایند طبقه‌بندی نبوده علاوه بر این موارد، برداشت نمونه‌های تعلیمی با پراکنش و تعداد مناسب در سطح حوضه نقش قابل توجهی در بهبود فرایند طبقه‌بندی داشته است. در مجموع دقت نتایج حاصل از دو تصویر برای تمام کاربری‌ها نتایج مشابهی داشت، که این مهم را می‌توان به برداشت نمونه‌های تعلیمی مناسب و همزمانی تاریخ برداشت دو تصویر (خرداد) ارتباط داد. نتایج بررسی تغییرات کاربری اراضی

چاره سو	۴۲/۱	۴/۱
چاله رانکو	۴۲/۸۹	۴/۲۲
رضوانشهر	۴۹/۱	۵/۵۳

فرسایش سالانه خاک RUSLE: جهت تهیه نقشه فرسایش سالانه خاک، نقشه فاکتورهای فرساینده (R)، فرسایش‌پذیری خاک (K)، توپوگرافی (LS)، پوشش گیاهی (C) و عملیات حفاظتی (P) که برابر ۱ است در محیط نرم افزار GIS براساس رابطه ۱ تلفیق شده و مقادیر هدررفت سالانه خاک (A) به دست آمد. نقشه سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۴۰۱ در شکل ۱۱ و ۱۲ ارائه شده است. بر اساس نقشه به دست آمده مقدار متوسط فرسایش سالانه خاک برای حوضه مورد مطالعه برای سال ۱۳۸۱ بین ۸۴-/+ تا ۵/۶۳ و برای سال ۱۴۰۱ برابر با ۱/۳۳- تا ۸/۷۳ تن در هکتار در سال متغیر می‌باشد.



شکل ۱۱: نقشه متوسط فرسایش سالانه خاک در حوضه آبخیز شفا رود برای سال ۱۳۸۱

کشاورزی در تحقیق ایشان به دلیل افزایش ساخت و سازهای مسکونی در اراضی کشاورزی منطقه بوده است. از طرفی دیگر سطح اراضی مسکونی در منطقه افزایش یافته است که با توجه به افزایش جمعیت در منطقه و ساخت و ساز جدید در روستاها این فرایند طبیعی به نظر می‌رسد. نتایج به دست آمده میزان فرسایش در سال ۱۳۸۱ از ۸۴-۰/ تا ۵/۶۳ تن بر هکتار در سال و در سال ۱۴۰۱ از ۳۳-۱/ تا ۸/۳۷ تن بر هکتار در سال متغیر است این نتایج نشان می‌دهد که میزان فرسایش در این حوضه در طی ۲۰ سال به میزان اندکی افزایش یافته است.

در طی ۲۰ سال در منطقه نشان داد (جدول ۳)، اراضی زراعی و مراتع در منطقه کاهش یافته است. علت این امر می‌تواند در ارتباط با خشک‌سالی‌های دهه‌های اخیر در منطقه و همچنین کاهش سطح سفره‌های آب زیرزمینی باشد که میزان آب در دسترس کشاورزان را کاهش را کاهش داده است. این نتیجه هم‌سو با نتایج تحقیق (سلطانیان و همکاران، ۱۳۹۳) است ولی با نتایج تحقیق (نظری سامانی و همکاران، ۱۳۸۹ و راجش و یوجی، ۲۰۰۶) که اراضی کشاورزی در یک دوره کاهش داشته است مخالف می‌باشد، البته به نظر می‌رسد کاهش اراضی

منابع

- احمدی، ح. ۱۳۸۸. ژئومورفولوژی کاربردی (فرسایش آبی)، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران.
- امانپور، س.، عیبات، م.، عیبات، م.، عیبات، م. ۱۴۰۰. بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه رامهرمز با استفاده از طبقه‌بندی شی‌گرا و مدل RUSLE، تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۲(۳)، ۶۴۹-۶۳۵.
- زلفی‌باروق، م. ۱۳۹۰. بررسی و پیاده‌سازی روش SVM برای تصاویر ماهواره‌ای، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران - سنجش از دور، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه اصفهان، ۲۵(۵): ۴-۲.
- سنجری، ص.، برومند، ن. ۱۳۹۲. پایش تغییرات کاربری/ پوشش اراضی در سه دهه گذشته با استفاده از تکنیک سنجش از دور (مطالعه ی موردی: منطقه ی زرنداستان کرمان)، کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، ۴(۱)، ۵۶-۶۷.
- عیبات، م.، عیبات، م.، عیبات، م. ۱۴۰۰. بررسی تغییرات کاربری اراضی و اثر آن بر روند فرسایش خاک در حوضه باغملک با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و مدل RUSLE، محیط شناسی، ۴۷(۱): ۹۱-۷۳.
- فارسی، ج.، یوسفی، م. ۱۳۹۲. آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از داده‌های سنجش از دور (مطالعه موردی: دشت بجنورد)، جغرافیا و مطالعات محیطی، ۲(۷): ۱۰۶-۹۵.
- فیضی‌زاده، ب. ۱۳۹۶. مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و اثرات آن بر سیستم فرسایش در حوضه سد علویان با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS، هیدروژئومورفولوژی، ۳(۱۱): ۳۸-۲۱.
- کیانی‌هرچگانی، م.، صادقی، س.ح.، فلاحت‌کار، س. ۱۳۹۸. تحلیل مقایسه‌ای عامل فرسایش‌پذیری خاک در حوضه آبخیز سازند، اکوهیدرولوژی، ۱(۶): ۱۶۳-۱۵۳.
- واعظی، ع.ر.، عباسی، م.، حاجی‌ملکی، خ. ۱۳۹۶. ارزیابی مدل RUSLE همراه شده با سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در عرصه‌های زهکش کوچک در منطقه نیمه خشک، شمال‌غربی ایران. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۱۱(۳۸): ۱۰-۱.
- مددی، ع.، پاسبان، ا.ح.، نظافت تکه، ب. ۱۴۰۲. بررسی و ارزیابی میزان هدررفت خاک در کاربری‌های اراضی حوضه آبخیز آتشگاه با استفاده از مدل RUSLE و تصاویر ماهواره‌ای لندست (سنجنده OLI)، مطالعات علوم محیط زیست، ۸(۲): ۶۶۲۵-۶۶۱۲.
- اصغری سراسکانرود، ص.، محمدنژاد آروق، و.، امامی، ه. ۱۳۹۸. بررسی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش‌های بیکسل‌پایه و شی‌گرا و تحلیل اثرات تغییر کاربری‌ها بر فرسایش خاک (مطالعه موردی: شهرستان مراغه)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۸(۱): ۱۷۸-۱۶۰.
- Assis, K. G. O., da Silva, Y. J. A. B., Lopes, J. W. B., Medeiros, J. C., Teixeira, M. P. R., Rimá, F. B., Singh, V. P. ۲۰۲۱. Soil loss and sediment yield in a perennial catchment in Southwest Piauí, Brazil. Environmental Monitoring and Assessment, ۱۹۳(۱), ۱-۱۱.

- Basukala, A.K., Oldenburg, C., Schellberg, J., Sultanov M., Dubovyk, O. (۲۰۱۷). Towards improved land use mapping of irrigated croplands: performance assessment of different image classification algorithms and approaches. *European Journal of Remote Sensing*, ۵۰(۱), ۱۸۷-۲۰۱.
- El Cavy, O., Rod, J., Ismail, H., Suliman, A. (۲۰۱۱). Land use and land cover changes detections in the western Nile delta of Egypt using remote sensing data, *applied geography*, ۳۱(۲۰۱۱), pp ۴۸۳-۴۹۴.
- Kantakumar, L.N., Neelamsetti, P. (۲۰۱۵). Multi-temporal land use classification using hybrid approach. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, ۱۸(۲), ۲۸۹-۲۹۵.
- Mantero, P., Moser, G., Sebastiano, B., Serpico, s. ۲۰۰۵. Partially supervised classification of remote sensing images through SVM-based probability density estimation, *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, ۴۳(۳), ۵۵۹-۵۷۰.
- Nguyen, T.T.H, Pham, T.T.T. (۲۰۱۶). Incorporating ancillary data into Landsat ۸ image classification process: a case study in Hoa Binh, Vietnam. *Environmental Earth Sciences*, ۷۵(۵), ۴۳۰.
- Ouyang, W., Wu, Y., Hao, Z., Zhang, Q., Bu, Q., & Gao, X. ۲۰۱۸. Combined impacts of land-use and soil property changes on soil erosion in a mollisol area under long-term agricultural development. *Science of the total environment*, ۶۱۳, ۷۹۸-۸۰۹.
- Paul, S. S., Li, J., Li, Y., & Shen, L, ۲۰۱۹. Assessing land-use/land-cover change and soil erosion potential using a combined approach through remote sensing, RUSLE and random forest algorithm. *Geocarto International*, ۳۶, ۱-۱۵.
- Rawat, K. S., Singh, S. K. (۲۰۱۸). Appraisal of Soil Conservation Capacity Using NDVI Model-Based C Factor of RUSLE Model for a Semi Arid Ungauged Watershed: a Case Study, *Water Conservation Science and Engineering*, ۳(۱), ۴۷-۵۸.
- Ren, Y., Lü, Y., Comber, A., Fu, B., Harris, P., & Wu, L. ۲۰۱۹. Spatially explicit simulation of land-use/landcover changes: Current coverage and future prospects. *Earth Science Reviews*, ۱۹۰, ۳۹۸-۴۱۵.
- Renard, K.G., and Freidmund, J.R. ۱۹۹۴. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the RUSLE, National Agricultural Library, *Journal of Hydrology*, ۱۵۷: ۲۸۷-۳۰۶.
- Santos, J.C.N., Andrade, E.M., Medeiros, P.H.A., and Joao, M. (۲۰۱۷). Land use impact on soil erosion at different scales in the Brazilian semi-arid. *Revista Ciencia Agronomica*. ۴۸(۲), ۲۵۱-۲۶۰.
- Singh, S., Bhardwaj, A., and Verma, V. (۲۰۲۰). Remote sensing and GIS based analysis of temporal land use/land cover and water quality changes in Harike wetland ecosystem, Punjab, India. *Journal of Environmental Management*. ۲۶۲, ۱۱۰۳۵.
- Thakkar, A.K., Venkappayya, R.D., Patel, A., Madhukar, B.P. (۲۰۱۷). Post-classification corrections in improving the classification of Land Use/Land Cover of arid region using RS and GIS: The case of Arjuni watershed, Gujarat, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, ۲۰(۱), ۷۹-۸۹.
- Laougue, I., Mbaindogoum, D., Mahamat, A. ۲۰۲۳. Evaluation of Soil Erosion by RUSLE Model in Mount Guera, *Open Access Library Journal*, ۱۰: ۱-۱۹. DOI: ۱۰.۴۲۳۶/oalib.۱۱۰۹۸۸۸.
- Serbaji, M., Bouaziz, M., Weslati, O. ۲۰۲۳. Soil Water Erosion Modeling in Tunisia Using RUSLE and GIS Integrated Approaches and Geospatial Data, *Land*, ۱۲(۵۴۸): ۱۳-۲۲.
- Vanacker, V., Ameijeiras-Mariño, Y., Schoonejans, J., Cornélis, J. T., Minella, J. P., Lamouline, F., Vermeire, M. L., Campforts, B., Robinet, J., Van de Broek, M., Delmelle. P., & Opfergelt, S. ۲۰۱۹. Land-use impacts on soil erosion and rejuvenation in Southern Brazil. *Catena*, ۱۷۸, ۲۵۶-۲۶۶.
- Vapnik, V., Chervonenkis, A. ۱۹۹۱. The necessary and sufficient conditions for consistency in the empirical risk minimization method, *Pattern Recognition and Image Analysis*, ۱(۳), ۲۸۳-۳۰۵.
- Wasige, J., Groen, T., Smaling, E., Jetter, V. (۲۰۱۳). Monitoring basin scale land cover changes in kagera basin of lake victoria using ancillary and remote sensing, *international*

journal of applied earth observation and geoinformation ۲۱(۲۰۱۳), ۳۲-۴۲.

- Wischmeier WH, Smith DD. ۱۹۷۸. Predicting rainfall erosion, losses: a guide to conservation planning. United States Department of Agriculture Handbook, Washington, ۵۳۷, ۱۳-۲۷.

Evaluation and investigation of the impact of land use changes in a period of twenty years on the amount of soil erosion in the Shafaroud Basin using the RUSLE model

Sayyad Asghari saraskanrod^{۱*} ; Tayebe Babaei olam^۲

^۱ Professor Department of Physical Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: sayyad.sasghari^۲@gmail.com

^۲ PhD Student in Physical Geography Department, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email:

Abstract

Introduction

Soil erosion is a natural process that causes soil loss due to various environmental factors such as weather, soil, topography and vegetation (Obayat et al., ۱۴۰۰). However, human interventions through land use change and agricultural and construction activities can accelerate this flow (Wenker et al., ۲۰۱۹). For this reason, soil erosion caused by land use change has become the most important problem of land degradation all over the world, and the transformation of the land form and the disruption of the main functions of the ecosystem are the consequences of these geomorphic reactions. Therefore, the purpose of this research is to investigate the impact of land use changes in a period of twenty years on the amount of erosion and sedimentation in Shafa Roud basin.

Methodology

Shafaroud watershed is between ۴۸ degrees and ۴۱ minutes to ۴۹ degrees and ۶ minutes and ۳۰ seconds from the Greenwich meridian in the eastern hemisphere and between ۳۷ degrees and ۲۵ minutes to ۳۷ degrees and ۴۱ minutes and ۳۰ seconds from the equator and in the northern hemisphere and in It is located in the west of Gilan province and Talash region. The highest peak of this basin called Sharaf in the northwest of the studied area is ۲۸۹۲ meters high, and its lowest point is about ۷۱ meters above the surface of open water. In this research, the data of rain gauge stations nearby and inside the basin were used to analyze the rainfall data. It should be noted that the quality of the data used was checked before entering the statistical analysis stages, and after removing the possible statistical deficiencies and also checking the outliers of the data, it entered the statistical analysis stage. In the processing of satellite images, it is very important to choose the right time of the images taken to prepare the land use map, so in the present study, the multi-temporal images of the Landsat series in cloudless conditions (Bascula et al., ۲۰۱۷) in the middle of June ۲۰۱۱ and ۱۴۰۱ Shamsi (۲۰۰۴ and ۲۰۲۲ AD) was obtained through the United States Geological Survey (USGS) website. Considering the growing season of pasture plants and the timing of planting and harvesting crops, it seems that the images from mid-June are suitable for preparing land use maps. In this research, the information of all the spectral bands of the mentioned images was used for land use classification. Also, in this research, Excel, Arc GIS, Archydo and ENVI software were used to analyze data and prepare maps. In this research, the RUSLE model was used to estimate the annual average soil erosion. RUSLE model is a function of ۶ input factors including rain erosion (R), soil erodibility (K), slope length and degree (LS), vegetation management (C) and conservation operations (P).

Conclusion

In this research, the supervised classification method and the support vector machine classification method, which has high accuracy, were used to monitor the changes that occurred during the ۲۰-year period. The classification accuracy of both images was evaluated with the Kappa index and overall accuracy, and according to the research of Mather (۲۰۰۵), the results of the current research are statistically acceptable. Based on the results of the classification accuracy in the two images, the classification accuracy in the order of the date of receiving the image had an increasing trend, which is due to the up-to-date information of the region for the ۲۰۲۲ image and the possibility of direct access to the current land use in the region for selecting educational samples. It was natural. In addition, the accuracy obtained in both images is acceptable and shows the high ability of Landsat

images to prepare land use maps with acceptable accuracy, which is in line with the research results (Sengari and Broumand, ۲۰۱۳; El Kawi et al., ۲۰۱۱). Correspond. Of course, it should be noted that the high accuracy of classification is not the only result of the implementation of the classification process, in addition to these cases, the collection of educational samples with appropriate distribution and number at the basin level has played a significant role in improving the classification process. In general, the accuracy of the results obtained from the two images had similar results for all applications, which can be attributed to the collection of suitable educational samples and the simultaneous date of the collection of the two images (June). The results of the survey of land use changes during ۲۰ years in the region showed (Table ۲), agricultural lands and pastures have decreased in the region. The reason for this can be related to the droughts of recent decades in the region and also the decrease in the level of underground water tables, which has reduced the amount of water available to farmers. This result is in line with the research results (Sultanian et al., ۲۰۱۳), but it is against the research results (Nazari Samani et al., ۲۰۰۶ and Rajesh and Yoji, ۲۰۰۶) that the agricultural land has decreased in a period, of course, It seems that the reduction of agricultural lands in his research was due to the increase of residential constructions in the agricultural lands of the region. On the other hand, the level of residential land in the region has increased, which seems natural due to the increase in population in the region and new construction in the villages. The obtained results show that the amount of erosion in ۲۰۱۱ varies from -۰,۸۴ to ۰,۶۳ tons per hectare per year and in ۱۴۰۱ from -۱,۳۳ to ۸,۳۷ tons per hectare per year. These results show that the amount of erosion in This basin has increased slightly in ۲۰ years.

Keywords

Soil erosion; Support Vector Machine; RUSLE; Shafarood.