

ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و اثرات آن بر فرسایش خاک در حوضه بالادست سد یامچی اردبیل، با استفاده از الگوریتم تصمیم‌گیری چند معیاره ARAS و روش‌های نوین سنجش از دور

عقیل مددی* - استاد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
مهدی فعال نذیری - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
الناز پیروزی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۸/۱۲ تأیید نهایی: ۱۴۰۱/۰۴/۱۸

چکیده

تغییرات کاربری اراضی، یکی از عوامل مهم در ایجاد فرسایش خاک است و در سال‌های اخیر، تاثیر متقابل تغییر کاربری اراضی و فرسایش خاک به یک نگرانی عمده زیست‌محیطی تبدیل شده است. از این رو، هدف پژوهش حاضر، بررسی تغییرات کاربری‌های مختلف و ارزیابی اثرات تغییرات کاربری ها بر فرسایش خاک، در حوضه بالادست سد یامچی، می‌باشد. در راستای دستیابی به اهداف پژوهش، ابتدا نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش شی‌گرا برای دو دوره‌ی ۲۰۰۰ و ۲۰۲۱، تهیه شده است. در مرحله بعد لایه‌های اطلاعاتی سایر عوامل مؤثر برای فرسایش خاک حوضه در محیط GIS تهیه گردید. ارزش‌گذاری و استانداردسازی لایه‌ها با استفاده از تابع عضویت فازی و وزن‌دهی معیارها، با بهره‌گیری از روش CRITIC انجام شد. تحلیل و مدل‌سازی نهایی با استفاده از الگوریتم چند معیاره ARAS، صورت پذیرفت. نتایج این پژوهش نشان داد، بیشترین میزان مساحت در سال ۲۰۰۰ مربوط به مراتع خوب و متوسط، به ترتیب با ۲۳۷/۴۲ و ۱۳۷/۲۷ کیلومتر مربع و در سال ۲۰۲۱، مربوط به مراتع ضعیف و خوب به ترتیب با ۱۹۹/۹۸ و ۱۰۹/۹۸ کیلومتر مربع می‌باشد. با توجه به نقشه پهنه‌بندی فرسایش سال ۲۰۰۰ به ترتیب ۱۰/۶۵ و ۲۹/۵۹ درصد و طبق پهنه‌بندی فرسایش ۲۰۲۱ به ترتیب ۱۱/۳۷ و ۳۱/۵۲ درصد از مساحت شهرستان در دو طبقه بسیار پرخطر و پرخطر قرار دارند. به طور کلی می‌توان گفت، عمده دلایل افزایش مقدار فرسایش در سطح حوضه مورد مطالعه، افزایش اراضی زراعی (دیم و آبی)، اراضی بایر، مراتع ضعیف و نواحی انسان ساخت و کاهش سطح مراتع خوب و متوسط می‌باشد.

واژگان کلیدی: فرسایش، تغییرات کاربری، MCDM، روش شی‌گرا.

مقدمه

یکی از مخاطرات محیطی و بحران‌های اکولوژیکی که امروزه جهان با آن روبرو است، پدیده تغییر کاربری اراضی می‌باشد (موسوی و همکاران، ۱۳۹۴، ۶۴) و آگاهی از تغییر و تحولات کاربری اراضی در طول یک دوره زمانی برای برنامه ریزان و مدیران بسیار حائز اهمیت است (تاچیزوکا و همکاران^۱، ۲۰۰۲، ۲۱). روش‌های متعددی برای آشکارسازی تغییرات محیطی به کار گرفته می‌شود که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به استفاده از تکنیک‌های دورسنجی و سیستم اطلاعات جغرافیایی اشاره نمود (جبار و ژو^۲، ۲۰۰۱، ۱۵؛ وسلس و همکاران^۳، ۲۰۰۴، ۳۲؛ رضایی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۹، ۲۳). نکته‌ای که قابل توجه هست؛ این امر می‌باشد که، روش‌های سنتی برای محققین زمانبر و پرهزینه است، ولی تکنیک‌های سنجش از دور با استفاده از تصاویر چند زمانه، حجم عظیمی از اطلاعات را در اختیار محقق می‌گذارد (کنس و همکاران^۴، ۲۰۱۲، ۵۴). در نتیجه، استفاده از داده‌های سنجش از دور در محیط GIS، می‌تواند شناخت مناسبی از چگونگی تغییرات کاربری اراضی و راهکارهای مناسبی جهت مدیریت را ارائه دهد (مندوز و همکاران^۵، ۲۰۱۱، ۲۱؛ کوپین و همکاران^۶، ۲۰۱۴، ۶۸). از سوی دیگر، خاک یکی از مهمترین منابع طبیعی است که در تولید محصولات کشاورزی و ایجاد امنیت غذایی نقش مهمی دارد (مقدسی و همکاران، ۱۳۹۷، ۸) که طی فرایند فرسایش، ذرات خاک از بستر اصلی خود جدا و به کمک یک عامل انتقال دهنده به مکان دیگری حمل می‌شوند (ماسلینک و همکاران^۷، ۲۰۱۷، ۳۲؛ پژوهش و همکاران، ۱۳۹۰، ۱۹). فرسایش خاک سطحی، باعث کاهش عمق، کاهش گنجایش رطوبتی و هدررفت مواد آلی و عناصر غذایی و در نتیجه کاهش باروری خاک می‌شود (پرویزی و همکاران، ۱۳۹۹، ۴۰). به منظور کاهش اثرات زیان بار ناشی از فرسایش خاک، شناخت عوامل موثر در فرایند فرسایش و پهنه‌بندی سطح حوضه آبخیز بسیار اهمیت دارد (ژانگ و همکاران^۸، ۲۰۱۰، ۱۰). از آنجایی که مدل‌های مبتنی بر معادله جهانی فرسایش موفق به در نظر گرفتن وابستگی متقابل عوامل موثر بر فرسایش خاک نمی‌باشند (نخای^۹ و همکاران، ۲۰۰۹، ۴۹). لذا، برای کشف طیف وسیعی از گزینه‌ها از نظر درگیری‌های عینی و معیارهای چندگانه، از روش MCDM استفاده می‌شود (آهر و همکاران^{۱۰}، ۲۰۱۳، ۵۹). در این روش‌های تصمیم‌گیری برای بهینه‌سازی مدل، از معیارهای مختلفی برای افزایش صحت تصمیمات استفاده می‌شود (جورجیو و همکاران^{۱۱}، ۲۰۱۵، ۱۶؛ عرب‌عامری و همکاران^{۱۲}، ۲۰۱۸، ۳۶). در نتیجه می‌توان گفت، با توجه به محدودیت‌های روش‌های سنتی، که عمدتاً وقت‌گیر و هزینه‌بر بوده و اغلب با خطا همراه است، استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و سیستم‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، با یک رویکرد تلفیقی، علاوه بر سودآوری می‌تواند باعث تسریع در روند برنامه‌ریزی در تشخیص موارد بحرانی و اضطرابی شده و منجر به صدور نتایج مناسبی گردد. مطالعات گسترده‌ای پیرامون تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، پهنه‌بندی فرسایش و نیز نقش کاربری در فرسایش انجام شده است که به طور مثال؛ صفاری و همکاران (۱۳۹۷)، به بررسی تاثیر تغییرات پوشش و کاربری زمین در قابلیت فرسایش خاک حوضه قره‌سو گرگانرود طی سه بازه زمانی ۱۹۹۵، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵ پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که سطوح کشاورزی، زمین‌های بدون پوشش و سکونت‌گاه‌های انسانی

¹. Tachizuka et al

². Jabbar and Zhou

³. Wessels et al

⁴. Kenneth et al

⁵. Mendoza et al

⁶. Coppin et al

⁷. Masselink et al

⁸. Zhang et al

⁹. Nekhay et al

¹⁰. Aher et al

¹¹. Georgiou et al

¹². Arab Ameri et al

در طی بازه سی ساله افزایش یافته است و همچنین رشد نواحی غیرقابل نفوذ بوسیله فعالیت‌های انسانی، رشد مناطق شهری و روستایی، تغییرات الگوی کشت و تخریب پوشش گیاهی و مراتع منجر به افزایش پتانسیل فرسایش در سطح حوضه شده است. اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۸)، مطالعه‌ای تحت عنوان بررسی اثرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک با الگوریتم WLC در حوضه آبخیز آق‌لاقان‌چای انجام دادند داده اند که نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد، در طی بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸، به طور عمده مناطق بسیار پرخطر و پرخطر در کاربری‌های کشاورزی و باغات واقع گردیده و تغییر مراتع و تبدیل آن به مناطق کشاورزی و انسان‌ساخت، بیشترین میزان تاثیر را بر فرسایش خاک داشته است. میاچی و همکاران (۱۴۰۰)، اثر تغییر کاربری اراضی بر فرسایش خاک تالاب هور العظیم را در طی سال‌های ۱۳۶۵ و ۱۳۹۵ مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد، در بازه زمانی مورد بررسی، از مساحت طبقات دارای کلاس فرسایشی کم کاسته و به مساحت کلاس‌های فرسایشی زیاد افزوده شده است و کاهش پوشش گیاهی و مناطق آبی به همراه افزایش اراضی بایر نقش مهمی در افزایش درصد فرسایش خاک، در محدوده داشته است. سانتوس و همکاران^۱ (۲۰۱۷)، به بررسی تغییرات کاربری اراضی و نقش آن بر فرسایش در مناطق نیمه خشک برزیل، در بازه زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۱، پرداختند و نتایج به دست آمده، نشان داد که سطح اراضی جنگلی و مراتع کاهش و میزان فرسایش در این مناطق ۱۰ برابر افزایش یافته است. کیدن و همکاران^۲ (۲۰۱۹)، تاثیر استفاده از زمین بر فرسایش خاک و عملکرد رسوب، در ایتوپیا، طی سال‌های ۱۹۷۳ تا ۲۰۱۵، مورد مطالعه قرار دادند نتایج نشانگر تبدیل سریع کاربری‌های با پوشش گیاهی طبیعی به کاربری‌های اصلاح شده بشر می‌باشد. کوجو و همکاران^۳ (۲۰۲۰)، به بررسی تاثیر کاربری زمین بر فرسایش خاک در کنیا غربی، در سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۱۷ پرداختند. نتایج نشان داد که ۵۰ درصد از تلفات و فرسایش خاک در زمین‌های زراعی، به ویژه در مزارعی که در اثر پاکسازی و تخریب جنگل‌ها به وجود آمده اند، دیده می‌شود و مناطق دارای پوشش علفی/درختچه ای، در رتبه دوم قرار دارند. لی و همکاران^۴ (۲۰۲۱)، به بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر فرسایش رودخانه ای در شهرستان Kedong، واقع در شمال شرقی چین بین سال‌های ۱۹۶۵ تا ۲۰۱۵ پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد، زمین‌های زیر کشت، در بازه زمانی مورد مطالعه به طور چشم‌گیری، افزایش یافته و کشت زمین در دامنه‌ها، به ویژه در دامنه‌های بزرگتر از ۴ درجه، ممکن است سرعت فرسایش رودخانه را تشدید کند.

لازم به ذکر است، بخش اعظمی از مساحت حوضه بالادست سد یامچی، کوهستانی و پر شیب بوده و اغلب کاربری اراضی به صورت زمین‌های کشاورزی، باغات و مراتع می‌باشد که استفاده غیراصولی و بی‌رویه از اراضی، باعث افزایش میزان فرسایش حوضه می‌گردد. رسوبات ناشی از فرسایش خاک در حوضه‌های آبخیز، علاوه بر هدر رفتن و کاهش حاصلخیزی خاک، موجب کاهش کیفیت آب و کاهش عمر مفید سد یامچی بر روی این رودخانه به دلیل انباشت رسوبات در مخزن آن می‌شود. بنابراین، در تحقیق حاضر، با توجه به اهمیت مطالعه تغییرات کاربری‌ها و نقش آن در فرسایش خاک در گذر زمان و نیز با تاکید بر بررسی کارایی و دقت نتایج حاصل از بکارگیری داده‌های سنجش از دور (RS)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و فنون تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)، با یک رویکرد تلفیقی، تغییرات کاربری اراضی در حوضه بالادست سد یامچی و نقش آن در خطر فرسایش (بین سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۱)، مورد مطالعه قرار گرفت تا با شناسایی مناطق اولویت‌دار از نظر خطر فرسایش، اقدامات لازم جهت کنترل فرسایش، برنامه‌ریزی و بهره‌برداری بهینه از خاک و استراتژی‌های مدیریت پایدار زمین به عمل آید.

شایان ذکر است استفاده از روش شی گرا در امر تهیه نقشه کاربری اراضی در طی چند سال اخیر با استقبال فراوانی روبرو شده است و از روش‌های نوین سنجش از دور محسوب می‌گردد. از سوی دیگر، اهمیت پژوهش حاضر در این امر می

1. Santos et al

2. Kiden et al

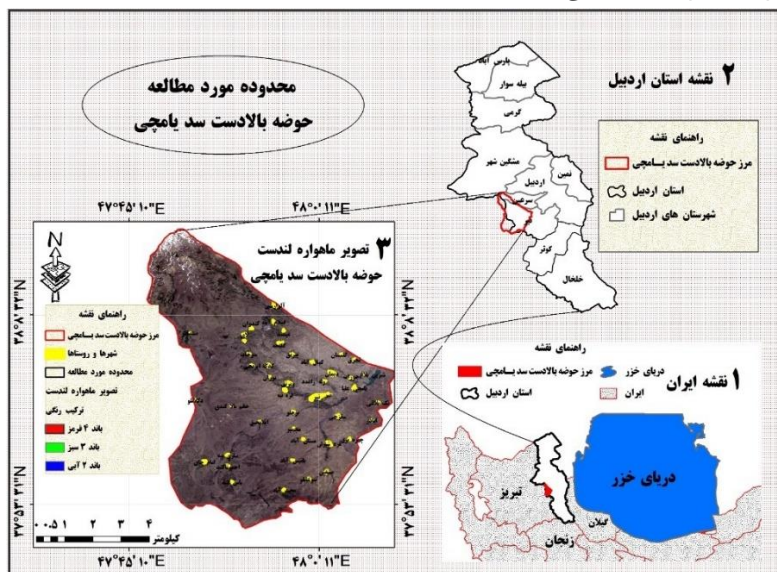
3. Kogo et al

4. Li et al

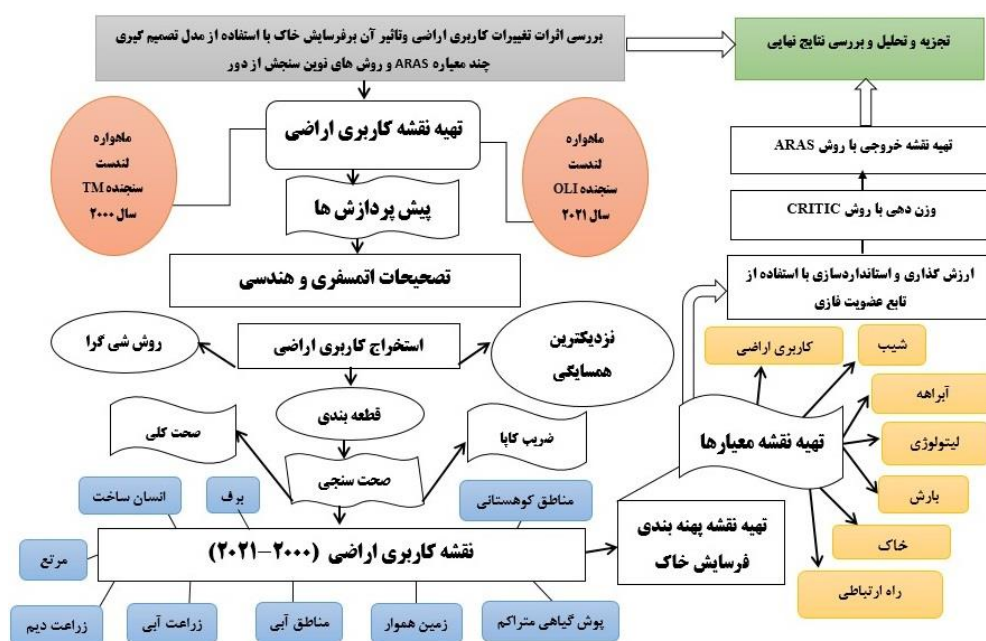
باشد که تاکنون مطالعه ای در زمینه بررسی نقش تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک در طی بازه زمانی مورد مطالعه در سطح حوضه بالادست سد یامچی انجام نشده است و با توجه به ضرورت و اهمیت موضوع، بررسی این امر در سطح این حوضه ضروری می باشد. ضمناً در سطح حوضه بالادست سد یامچی موضوع و روش مورد استفاده در پژوهش حاضر مورد مطالعه قرار نگرفته است. همچنین بایستی اشاره داشت که تاکنون با استفاده از روش تحلیل چند معیاره آراس موضوع فرسایش خاک در هیچ مطالعه ای مورد بررسی قرار نگرفته و به جرات می توان بیان داشت نوآوری اصلی این مقاله در به کارگیری این روش برای نخستین بار می باشد.

روش تحقیق

این حوضه با مساحت ۶۹۸ کیلومتر مربع بین مدارهای ۳۷ درجه و ۵۱ دقیقه و ۳۸ تا ۳۸ درجه ۱۵ دقیقه و ۲۴ ثانیه شمالی و نصف النهارهای ۴۷ درجه و ۶۴ دقیقه و ۳۵ ثانیه و ۴۸ درجه و ۶ دقیقه و ۱۵ ثانیه شرقی واقع شده است (شکل ۱). این حوضه بین توده‌ی آتشفشانی سبلان در شمال و کوه‌های بزغوش در جنوب غربی قرار گرفته است که بلندترین نقطه‌ی حوضه، قله‌ی هرم کوه با حداکثر ارتفاع ۴۵۰۵ متر از سطح دریا و حداقل ارتفاع، ۱۵۰۶ متر در محل سد یامچی می باشد. زهکش اصلی این حوضه از جنوب غربی به شمال شرقی جریان دارد و شاخه‌ای از شبکه‌ی زهکشی رودخانه‌ی قره سو می باشد که خود آن نیز جزیی از سیستم رود ارس محسوب می گردد. حوضه آق لاقان چای، قره شیران، کمال آبادچای و امام چای، واحدهای هیدرولوژیکی حوضه بالادست یامچی می باشد. شهرستان نیر مهم ترین مرکز استقرار جمعیت انسانی در این حوضه بوده که در منتهی الیه شرقی این حوضه واقع شده است. با استفاده از طبقه بندی دومارتن اقلیم منطقه از نوع نیمه خشک و با توجه به ضریب اقلیمی آمبرژه از نوع نیمه خشک خیلی سرد می باشد. از نظر زمین ساختی منطقه مورد مطالعه در زون زمین ساختی البرز غربی - آذربایجان قرار دارد. واحدهای مختلف سنگ شناسی منطقه به صورت آتشفشانی و رسوبی گسترده شده است. جریان‌های گدازه‌ای بر جای مانده از فعالیت‌های آتشفشانی دوره‌ی ائوسن در منتهی الیه جنوب غربی حوضه، قدیمی ترین و رسوبات آبرفتی جدید Q^{12} که بر روی پادگانه‌های قدیمی قرار گرفته اند (شامل؛ مواد ریزدانه‌ای مانند رس، سیلت و آهک‌های آب شیرین)، جدیدترین سازندهای زمین شناسی، حوضه می باشد. همچنین شایان ذکر می باشد، سد یامچی در ۵ کیلومتری شهر نیر و در حوضه مورد مطالعه قرار گرفته است. حجم آب ذخیره شده در این سد ۹۵ میلیون مترمکعب می باشد و از آب این سد برای تامین آب شرب شهر اردبیل و آبیاری اراضی پائین دست سد استفاده می شود. روند پژوهش در شکل ۲، قابل مشاهده می باشد.



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه



شکل ۲: فلوچارت مراحل پژوهش

داده‌ها و ابزارهای مورد استفاده

تحقیق مورد نظر از نوع تحقیقات کاربردی می‌باشد و نتیجه آن بررسی تغییرات کاربری زمین و تحلیل پتانسیل فرسایش خاک در حوضه بالادست سد یامچی استان اردبیل می‌باشد. این پژوهش مبتنی بر استفاده از روش‌های سنجش از دور برای رسیدن به تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی ۲۱ ساله‌ی مورد مطالعه و استفاده از روش تحلیل چند معیاره ARAS، در محیط GIS به منظور پهنه‌بندی پتانسیل فرسایش‌پذیری خاک حوضه بالادست سد یامچی، می‌باشد. جهت پردازش تصاویر و تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز از نرم‌افزارهای Arc GIS، ENVI، Ecognition، Idrisi، Excel و بهره‌گیری شده است. به منظور بررسی خطر فرسایش در مرحله جمع‌آوری داده‌ها، ابتدا با توجه به شرایط طبیعی و انسانی منطقه، عوامل شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، بارش، فاصله از راه ارتباطی، فاصله از آبراهه و خاک، به عنوان عوامل مؤثر در فرسایش خاک حوضه شناسایی گردید. در مرحله بعد لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر یک از عوامل، در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه گردید. لایه‌های اطلاعاتی راه‌های ارتباطی و شبکه آبراهه، با استفاده از نقشه‌ی خطوط ارتباطی و رودخانه‌های استان اردبیل، تهیه و مورد سنجش قرار گرفت. لایه‌ی شیب با استفاده از مدل رقمی ارتفاعی ۱۲/۵ متر، ماهواره‌ی Alos، سنجنده Palsar، اخذ شده از سایت (vertex.daac.asf.alaska.edu) تهیه شد. جهت استخراج لایه‌ی اطلاعاتی مربوط به لیتولوژی (مقاومت سنگ‌ها)، از نقشه زمین‌شناسی استان اردبیل؛ با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ استفاده شد. نقشه بارش حوضه نیز، با توجه به داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی و با بهره‌گیری از معادله گرادیان بارش (P:0.227H-85.04)، ترسیم شد. بدین صورت که در نرم‌افزار Arc map، با استفاده از دستور Calculator، نقشه طبقات ارتفاعی جایگزین مولفه H شده و سپس نقشه بارش استخراج گردید.

تهیه نقشه کاربری اراضی

در تحقیق حاضر با هدف استخراج کاربری اراضی حوضه بالادست سد یامچی اردبیل، ابتدا تصاویر ماهواره‌ای لندست از سنجنده‌های (TM - OLI) برای سال‌های (۲۰۰۰ - ۲۰۲۱) در ماه آگوست از سایت زمین‌شناسی آمریکا اخذ شد (جدول ۱).

برای استخراج نقشه کاربری اراضی از ترکیب باندهای مرئی (آبی و سبز و قرمز) و مادون قرمز نزدیک ماهواره لندست، جهت طبقه‌بندی استفاده شد. لازم به ذکر است، بر خلاف طبقه‌بندی پیکسل پایه، در طبقه‌بندی شی‌گرا ترکیب چهار باند (۱-۲-۳-۴-۷) ماهواره لندست امکان‌پذیر می‌باشد. سپس به منظور آماده‌سازی تصاویر، تصحیحات هندسی و اتمسفری با استفاده از روش Flaash روی تصاویر و نرم‌افزار Envi5.3 اقدام شد. در نهایت طبقه‌بندی با روش شی‌گرا و با الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی توسط نرم‌افزار Ecognition صورت پذیرفت. طبقه‌بندی شی‌گرا فرایندی است که کلاس‌های پوشش اراضی را به اشیاء تصویری ارتباط می‌دهد این نوع از طبقه‌بندی بر اساس منطق فازی استوار است و ارزش عوارض را به ارزش فازی (بین صفر و یک) با درجه عضویت معین برای هر کلاس تبدیل می‌کند (رضائی‌مقدم و همکاران، ۱۳۸۹، ۱۹). مبنای طبقه‌بندی شی‌گرا فرایند قطعه‌بندی می‌باشد. لذا، در فرایند قطعه‌بندی مفسر می‌تواند با در نظر گرفتن پارامتر-های شکل، بافت، ضریب فشردگی و معیار نرمی، فرایند قطعه‌بندی تصویر را انجام داده و بر اساس نسبت اهمیت هر یک از این عوامل در خصوصیات کلاس‌های موردنظر برای استخراج از تصاویر ماهواره‌ای، نسبت اهمیت آن‌ها را در فرایند قطعه‌بندی اعمال نماید (فیضی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۷، ۴۲). قبل از انجام طبقه‌بندی به روش شی‌گرا لازم است، قطعه‌بندی تصویر صورت گیرد. پارامترهای مؤثر بر استخراج کلاس‌ها در طبقه‌بندی شی‌گرا در این پژوهش شامل ۱- انحراف معیار باندها: انحراف معیار یکی از شاخص‌های پراکندگی است که نشان می‌دهد به‌طور میانگین، داده‌ها چه مقدار، از مقدار متوسط فاصله‌دارند در این شاخص از سه پارامتر شامل، باند مادون قرمز و قرمز و سبز استفاده شد. ۲- شاخص NDVI^۱: در این پژوهش از شاخص NDVI به منظور جداسازی بهتر پوشش گیاهی از بقیه پدیده‌ها استفاده شد. ۳- شاخص PCI^۲ ۴- واریانس: واریانس برای محاسبه بافت بر پایه میانگین و پراکندگی در اطراف میانگین از ارزش سلول‌ها داخل GLCM^۳ به کار گرفته می‌شود. ۵- در شاخص هندسی، از پارامترهای مؤثری چون حداکثر اختلاف، درجه روشنایی، ضخامت، مساحت و فشردگی استفاده می‌شود. در تحقیق حاضر برای قطعه‌بندی از روش قطعه‌بندی چند مقیاسه استفاده شد. بدین منظور با تجزیه و تحلیل، جهت قطعه‌بندی، مقیاس ۱۲۸، شکل ۰/۸ و ضریب فشردگی ۰/۲ برای سال ۲۰۰۰ و مقیاس ۹۵، شکل ۰/۵ و ضریب فشردگی ۰/۵ برای سال ۲۰۲۱، انتخاب شد.

جدول ۱: خصوصیات تصاویر سنجنده (TM-OLI) از ماهواره لندست (منبع: متادیتا)

تصویر	تاریخ اخذ	ردیف/گذر	تعداد باند	قدرت تفکیک	زاویه ازیموت خورشید	زاویه ارتفاع خورشید
لندست TM	۱۹/۰۸/۲۰۰۰	۱۶۷/۳۴	۶ باند	۳۰ متر	۱۱۲/۱۰	۵۴/۹۴
لندست OLI	۱۶/۰۸/۲۰۲۱		۷ باند		۱۷/۴۲	۵۹/۲۴

تهیه نقشه پهنه‌بندی فرسایش با استفاده از روش ARAS^۴ (ارزیابی نسبت جمعی)

روش ARAS مبتنی بر این استدلال است که با استفاده از مقایسه‌های ساده نسبی می‌توان پدیده‌های دنیای پیچیده را درک کرد (علیزاده و همکاران، ۱۴۰۰، ۲۹). این تکنیک، روشی قدرتمند در ارائه نرخ عملکرد و درجه مطلوبیت گزینه

¹ Normalized Difference Vegetation Index

² Precipitation Concentration Index

³ Gray Level Co Gray Level Co-Occurrence Matrix

⁴ Additive Ratio Assessment

های مختلف نسبت به وضع بهینه است و از سهولت کاربرد نسبی نیز برخوردار است (آنامرادنژاد و همکاران، ۱۳۹۷، ۱۲). مراحل الگوریتم پیاده‌سازی آراس به شرح ذیل می‌باشد:

۱: تشکیل ماتریس تصمیم: ماتریس تصمیم در این روش به صورت معیار-گزینه است. یعنی یک ماتریسی که ستون‌های آن را معیارهای مساله و سطرها را گزینه‌ها تشکیل می‌دهند و هر سلول نیز در واقع امتیاز هر گزینه نسبت به هر معیار است (جدول ۲).

جدول ۲: ماتریس معیارهای مطرح در پهنه‌بندی فرسایش حوضه مطالعاتی

بارش	فاصله از جاده	فاصله از آبراهه	خاک	لیتولوژی	کاربری	شیب	معیار پیکسل
X1n	...	X15	X14	X13	X12	x11	پیکسل ۱
X2n	...	X25	X24	X23	x22	X21	پیکسل ۲
.
.
xmn	...	Xm5	Xm4	Xm3	Xm2	Xm1	m پیکسل

۲: نرمال کردن ماتریس تصمیم یا استانداردسازی: در پیاده‌سازی تمامی الگوریتم‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر و جهت دستیابی به الگوی پهنه‌بندی مکانی خطر فرسایش خاک، مرحله استانداردسازی، با توجه به تابع عضویت فازی صورت پذیرفت (جدول ۳). استاندارد نمودن داده‌ها به معنی همسان کردن دامنه تغییرات داده‌ها بین صفر و یک و یا یک دامنه مشخص دیگر است. در مجموعه‌های فازی، بیشترین ارزش یعنی مقدار یک به حداکثر عضویت و کمترین ارزش یعنی صفر به حداقل عضویت در مجموعه تعلق می‌گیرد (بایوم‌گرتل و همکاران^۱، ۲۰۱۹؛ حسینی و همکاران، ۲۰۱۹، ۱۳).

جدول ۳: نوع توابع فازی ساز لایه‌های موضوعی تأثیرگذار بر خطر فرسایش خاک حوضه بالادست سد یامچی

متغیر	توضیحات	نوع تابع فازی
شیب	کلاسه‌بندی مجدد و اختصاص کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع خطر فرسایش و سپس فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
کاربری اراضی	اختصاص کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع خطر فرسایش و سپس فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
فاصله از راه ارتباطی	در مناطق مجاور راه ارتباطی، پتانسیل وقوع مخاطره فرسایش افزایش می‌یابد.	تابع نزدیک فازی
لیتولوژی	اختصاص کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع خطر فرسایش و سپس فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
خاک	اختصاص کدها بر اساس اهمیت آن در وقوع خطر فرسایش و سپس فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
فاصله از رودخانه	در مناطق مجاور رودخانه، پتانسیل وقوع مخاطره فرسایش افزایش می‌یابد.	تابع نزدیک فازی
بارش	با افزایش مقدار بارش، خطر فرسایش افزایش می‌یابد.	تابع خطی افزایشی

¹ Baumgartel et al

۳: وزن دار کردن ماتریس نرمال: جهت وزن دار کردن ماتریس نرمال برای استخراج پهنه بندی روش های متعددی مانند CRITIC، AHP، ANP وجود دارد اما در این پژوهش، جهت وزن دهی عوامل از روش CRITIC استفاده شده است. در این روش، داده‌ها بر اساس میزان تداخل و تضاد موجود بین عوامل یا معیارها مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد و بعد از محاسبه انحراف معیار عوامل، ماتریس مقارنی به ابعاد $m \times m$ ایجاد می‌گردد که شامل ضرایب همبستگی بین بردارهای تشکیل شده است. با تعیین پارامترهای بالا، تضاد موجود بین معیار j با معیارهای دیگر با استفاده از رابطه ۱، محاسبه می‌گردد.

$$C_{jk} = \sum_{k=1}^m (1 - r_{jk}) \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن C_{jk} معرف مجموع تضاد معیار j با معیارهای k است که از $k = 1$ شروع شده و تا $k = m$ ادامه دارد و r_{jk} همبستگی بین دو معیار k و j را نشان می‌دهد. میزان اطلاعات عامل j را می‌توان با استفاده از رابطه ۲، محاسبه نمود.

$$C_j = \delta_j \sum_{k=1}^m (1 - r_{jk}) \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن C_j ، معرف میزان اطلاعات معیار j و انحراف معیار در مقادیر مربوط به عامل یا معیار j را نشان می‌دهد. با توجه به روابط یادشده، معیارهایی که دارای C_j بیشتری باشند وزن زیادی به خود اختصاص خواهند داد. وزن هر عامل مانند j از رابطه ۳، تعیین می‌گردد.

$$W_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^m C_k} \quad \text{رابطه ۳}$$

که در آن W_j معرف وزن معیار j و C_k نشانگر میزان اطلاعات مجموع معیارهای k است که از $k = 1$ شروع شده و تا $k = m$ ادامه دارد. لذا، وزن نهایی هر معیار، از تقسیم میزان اطلاعات هر معیار بر مجموع میزان کل اطلاعات تمامی معیارها بدست می‌آید (علی‌نژاد خلیلی، ۲۰۱۹، ۱۱؛ تاش و آیتک آدالی^۱، ۲۰۱۹، ۸۳).

۴- محاسبه مطلوبیت کل هر گزینه: برای به دست آوردن تابع بهینگی S_i ، اعداد نرمال شده وزن (X_{ij}) را به صورت سطری با هم جمع می‌کنیم (رابطه ۴). بزرگترین مقدار S_i بهترین است، و کمترین آن بدترین. با توجه به روند محاسبه شده، تابع بهینگی S_i دارای یک رابطه مستقیم و متناسب با مقادیر X_{ij} و وزن های W_j از معیارهای بررسی شده و تأثیر نسبی آنها بر روی نتیجه ی نهایی است.

$$S_i = \sum_{j=1}^n \hat{x}_{ij}; i = \overline{0.m}. \quad \text{رابطه ۴}$$

۵- محاسبه مطلوبیت نسبی هر گزینه و رتبه بندی گزینه ها: درجه ی مطلوبیت هر گزینه (آلترناتیو) به وسیله مقایسه متغیری که تجزیه و تحلیل شده است با حالت ایده آل یعنی S_0 مشخص می‌گردد. معادله مورد استفاده برای محاسبه درجه ی مطلوبیت K_i از یک گزینه a_i به صورت رابطه (۵) است (دیانی و همکاران، ۱۳۹۷، ۵۲؛ زاوادسکاس و تورسکیس، ۲۰۱۰، ۴۷).

^۱. Tuş & Aytac Adali

$$K_i = \frac{S_i}{S_0}; i = \overline{0.m.}$$

رابطه ۵

بحث و یافته‌ها

تهیه نقشه کاربری اراضی

کاربری‌های مورد نظر با پوشش اراضی آن‌ها در یازده کلاس شامل: مناطق مسکونی، آب (رودخانه‌ها و دریاچه‌ها)، زراعت دیم، زراعت آبی، پوشش گیاهی متراکم، اراضی کوهستانی و رخنمون سنگی، مراتع خوب، مراتع متوسط، مراتع ضعیف، اراضی هموار و برف طبقه‌بندی شدند. در این پژوهش به منظور بررسی صحت طبقه‌بندی، از نرم افزار 5.3 Envi استفاده شد. لذا جهت محقق نمودن این عمل از روش پیکسل پایه و الگوریتم بیشترین فراوانی بهره گرفته شد. بدین صورت که ابتدا برای هر کاربری به تعداد ۸۰ نمونه (به طور میانگین) از سطح محدوده برداشت و سپس در مرحله بعد، الگوریتم نزدیک ترین همسایگی تک به تک کاربری‌ها با یکدیگر مقایسه و بررسی گردید. نتایج جدول ۴، نشان می‌دهد که در سال ۲۰۰۰ صحت کلی ۸۷ درصد و ضریب کاپا برابر با ۰/۸۹ می‌باشد و در سال ۲۰۲۱ صحت کلی ۹۶ درصد و ضریب کاپا برابر ۰/۹۴ می‌باشد و با توجه به صحت کلی و ضریب کاپا ناستخراج شده و مقایسه منابعی نظیر (لایل‌سند^۱، ۲۰۰۸، ۹۲؛ کنگالتن^۲، ۲۰۰۹، ۱۳۹) که ضرایب صحت کلی بزرگ‌تر از ۸۵ درصد را قابل قبول عنوان کرده‌اند، نتایج حاصله از طبقه‌بندی کاربری‌ها چه از نظر تک‌تک کاربری‌ها و چه از نظر مجموع صحت و آمار کاپا از صحت قابل قبولی در ارتباط با اطلاعات تولید شده برخوردار می‌باشد. در نهایت، جهت محاسبه مساحت کاربری‌ها و همچنین استخراج نقشه خروجی مناسب از نرم افزار arc gis بهره گرفته شد.

جدول ۴: صحت طبقه‌بندی کاربری اراضی

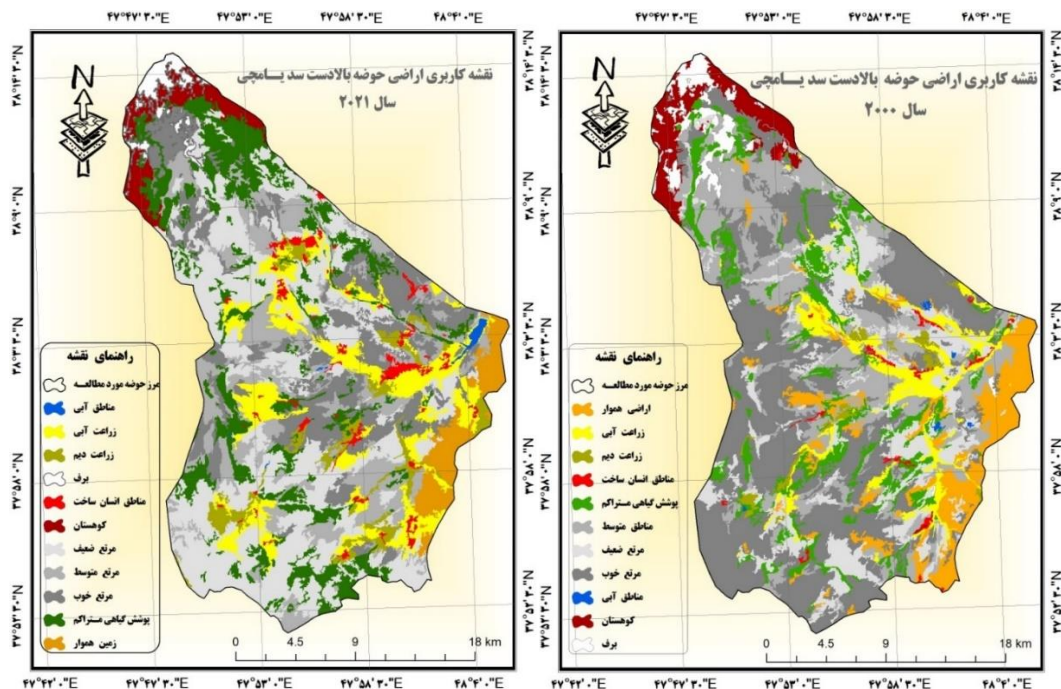
ضریب کاپا	صحت کلی	ماه	سال
س	۸۷٪	آگوست	۲۰۰۰
۰/۹۴	۹۶٪	آگوست	۲۰۲۱

بیشترین میزان مساحت کاربری اراضی، در سال ۲۰۰۰ مربوط به مراتع خوب با ۲۳۷/۴۲ کیلومترمربع و مراتع متوسط با ۱۳۷/۲۷ کیلومترمربع می‌باشد (شکل ۳). در نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۱، به ترتیب کاربری‌های مراتع ضعیف با مساحت ۱۹۹/۴۶ کیلومترمربع، مراتع خوب با مساحت ۱۰۹/۹۸ کیلومترمربع و مراتع متوسط با مساحت ۴۶ ۱۰۸/۷۰ کیلومترمربع، بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۴). به علاوه شایان ذکر می‌باشد که در سال ۲۰۰۰، مناطق با پوشش آبی، نواحی انسان ساخت و زراعت دیم کمترین میزان مساحت را داشته‌اند. هرچند که در سال ۲۰۲۱ نیز کاربری‌های با پوشش آبی، نواحی انسان ساخت و زراعت دیم کمترین مقدار از مساحت حوضه را به خود اختصاص دادند، ولی مساحت این کاربری‌ها در سال ۲۰۲۱، نسبت به سال ۲۰۰۰، افزایش داشته است. به طور کلی، بررسی تغییرات پوشش زمین با استفاده از ابزار سنجش از دور در حوضه بالادست سد یامچی، در طی بازه زمانی مورد بررسی، کاهش مساحت مراتع متوسط و مراتع خوب و در مقابل، افزایش کاربری‌های؛ زراعت آبی، زراعت دیم، مراتع ضعیف، پوشش گیاهی متراکم به صورت باغات، نواحی انسان ساخت (مناطق شهری و روستایی)، مناطق با پوشش آب و زمین‌های بایر و هموار را نشان می‌دهد (جدول ۵). قابل ذکر می‌باشد در پژوهش حاضر، به جهت تفکیک بهتر با دقت بالاتر عوارض مراتع با توجه به

1. Lillesand

2. Congalton

میزان پوشش گیاهی با بررسی ndvi به سه بخش مرتع ضعیف-مرتع متوسط و مرتع خوب تقسیم گردیده است، که در مطالعات مختلف به منظور بررسی مرتع ضعیف-مرتع متوسط و مرتع خوب، از تصاویر لندست به عنوان داده اصلی استفاده شده است. به عنوان مثال؛ می توان به مطالعات، شافعیان، ۱۳۹۳؛ تولید نقشه ی پوشش گیاهی و طبقه بندی وضعیت مراتع طالقان با استفاده از سنجش از دور، امامقلی معروف و همکاران، ۱۳۹۳؛ بررسی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تکنیک های GIS و RS و ارزیابی اقتصادی آن در مقایسه با تغییرات هدررفت خاک (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سد آزاد)، کاظمی نیا ۱۳۹۶؛ کاربرد سنجش از دور و GIS در بررسی پوشش گیاهی، شهیدی و همکاران ۱۴۰۰؛ پایش تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از RS و GIS در مراتع چهارباغ استان گلستان طی یک دوره ۳۰ ساله، اشاره داشت.



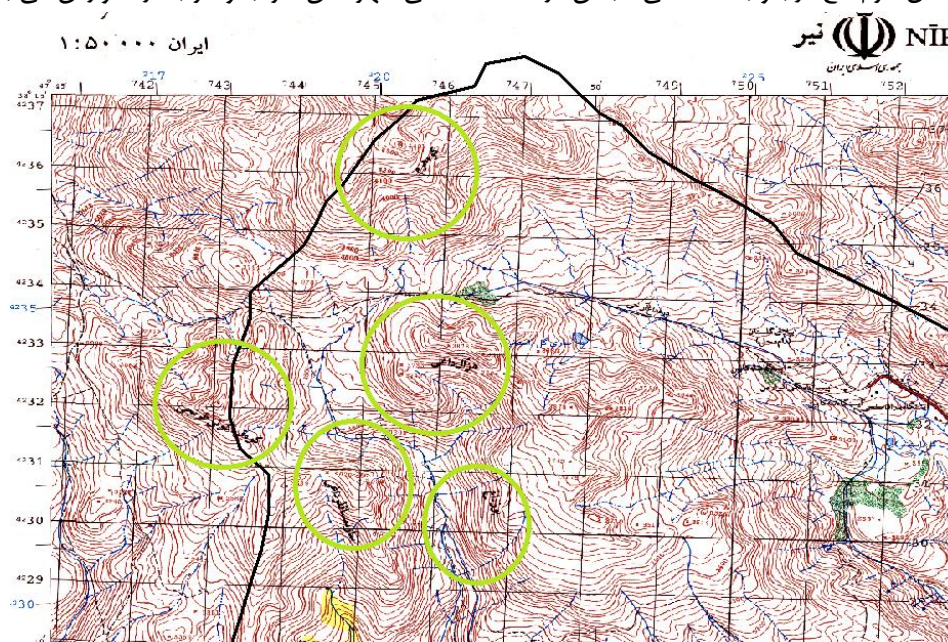
شکل ۳: نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۰۰ حوزه بالادست سد یامچی شکل ۴: نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۱ حوزه بالادست سد یامچی

جدول ۵: مساحت و میزان تغییرات هر نوع از کاربرهای اراضی در سطح حوزه در سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱)

نوع کاربری	در سال ۲۰۰۰ مساحت به کیلومتر مربع	در سال ۲۰۰۰ مساحت به درصد	در سال ۲۰۲۱ مساحت به کیلومتر مربع	در سال ۲۰۲۱ مساحت به درصد	میزان تغییرات به کیلومتر-مربع	روند تغییرات
زراعت آبی	۳۸/۶۵	۵/۵۴	۷۰/۶۳	۱۰/۱۲	۳۱/۹۸	افزایشی
زراعت دیم	۸/۶۲	۱/۲۴	۲۷/۸۷	۴	۱۹/۲۵	افزایشی
پوشش گیاهی متراکم	۶۶/۶۵	۹/۵۵	۱۰۳/۳۷	۱۴/۸۱	۳۶/۷۲	افزایشی
مناطق انسان ساخت	۴/۸۶	۰/۶۹	۱۳/۷۱	۱/۹۶	۸/۸۵	افزایشی
مراتع خوب	۲۳۷/۴۲	۳۴/۰۱	۱۰۹/۹۸	۱۵/۷۶	۱۲۷/۴۴	کاهشی
مراتع متوسط	۱۳۷/۲۷	۱۹/۶۷	۱۰۸/۷	۱۵/۵۷	۲۸/۵۷	کاهشی
مراتع ضعیف	۹۶/۰۶	۱۳/۷۶	۱۹۹/۴۶	۲۸/۵۷	۱۰۳/۴	افزایشی
مناطق آبی	۰/۹۹	۰/۱۴	۲/۰۱	۰/۲۹	۱/۰۲	افزایشی

زمین هموار	۵۹/۳۹	۸/۵۱	۲۷/۴۸	۳/۹۴	۳۱/۹۱	کاهش
اراضی کوهستانی	۲۷/۴۹	۳/۹۴	۲۱/۷	۳/۱۱	۵/۷۷	کاهش
اراضی پوشیده از برف	۲۰/۶۰	۲/۹۵	۱۳/۰۷	۱/۸۷	۷/۵۳	کاهش

شایان ذکر می‌باشد که حوضه بالادست سد یامچی بین توده‌ی آتشفشانی سبلان در شمال و کوه‌های بزغوش در جنوب غربی قرار گرفته است. بلندترین نقطه‌ی حوضه، قله‌ی هرم کوه با حداکثر ارتفاع ۴۵۰۵ متر از سطح دریا، در توده‌ی آتشفشانی سبلان واقع می‌باشد که ریزش‌گاه اصلی رود آق‌لاقان از زیر شاخه‌های مهم این حوضه است. به بیان دیگر، به استناد نقشه‌های توپوگرافی بخش کوهستانی مرتفع واقع در شمال غرب حوضه، قسمت‌هایی از بخش جنوبی توده‌ی آتشفشانی سبلان را شامل می‌شود و در بر گیرنده‌ی ارتفاعات هرم داغی، کوه قره‌گونی طرنجی، قرخ بلاغ داغی، بوز داغی و ساریمساقلو داغی به ترتیب با ارتفاع ۴۵۰۵، ۳۸۸۲، ۳۸۷۸، ۴۲۰۰، ۳۶۹۸ متر از سطح دریا می‌باشد که در طول سال، پوشش برف در این ارتفاعات موجود می‌باشد و لذا بر روی تصاویر ماهواره‌ای نیز قابلیت شناسایی و بررسی را دارند و امضای طیفی تصاویر نیز تایید کننده این موضوع می‌باشد. در شکل ۴، بخشی از نقشه توپوگرافی محدوده مورد مطالعه، شامل ارتفاعات بخش شمالی حوضه که در طول سال دارای پوشش برفی هستند، نمایش داده شده است و شکل ۵ نمایشگر قله هرم داغ در جنوب قله اصلی سبلان در قسمت شمالی شهرستان سراب و غرب دره آوارس می‌باشد.



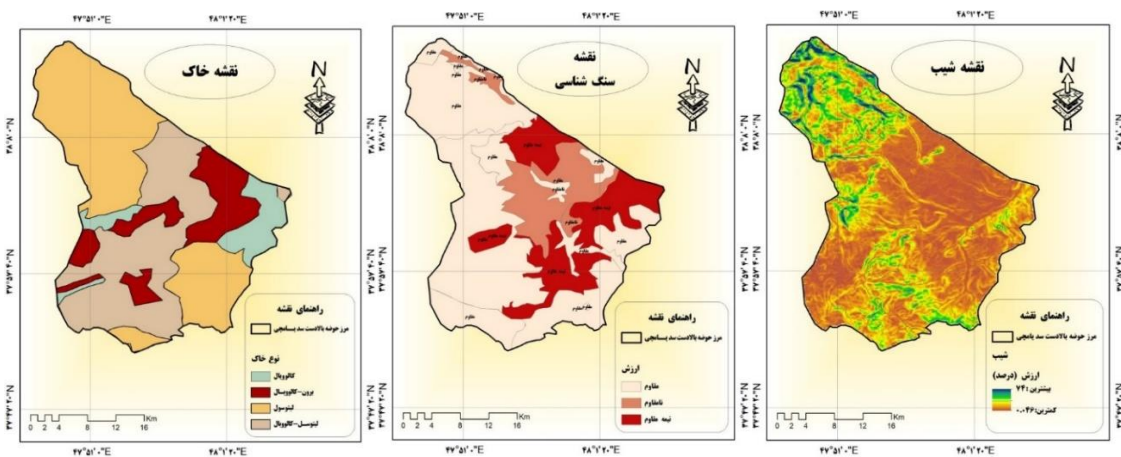
شکل ۴: بخشی از نقشه توپوگرافی محدوده مورد مطالعه، شامل ارتفاعات بخش شمالی حوضه

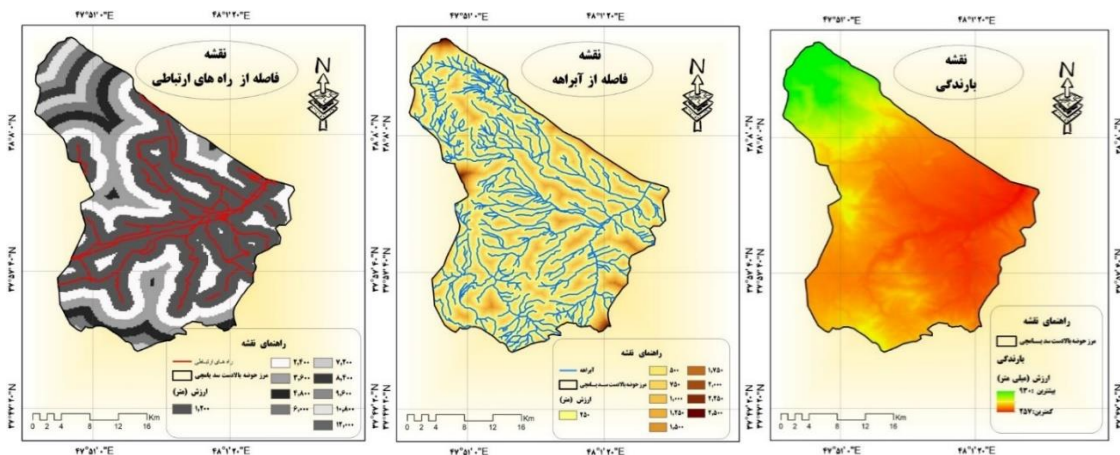


شکل ۵: قله هرم داغ در جنوب قله اصلی سبلان

پهنه‌بندی فرسایش خاک

به منظور پهنه‌بندی فرسایش، با توجه به نقشه کاربری مربوط به دو دوره زمانی و نیز نقشه سایر معیارهای مطرح (شکل ۶)، ابتدا وزن‌دهی معیارها انجام گردید. مفروضات پایه‌ای (ماتریس همبستگی، ماتریس تضاد، انحراف معیار، میزان اطلاعات) و همچنین، وزن نهایی حاصل از وزن‌دهی کرتیک در بین معیارهای مطرح در پهنه‌بندی خطر فرسایش خاک حوضه بالادست سد یامچی، در جدول ۶ آورده شده است. با توجه به نتایج حاصله، به ترتیب معیارهای شیب، کاربری ارضی، خاک و لیتولوژی در هر دو دوره مورد مطالعه، بیشترین وزن و اهمیت را به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به اینکه در وزن‌دهی CRITIC، وزن معیارها، با توجه به نقشه‌های معیار و میزان همبستگی، تضاد و انحراف معیار بین لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده، تعیین می‌گردد، می‌توان بیان داشت که استفاده از این روش، در وزن‌دهی معیارها در پژوهش حاضر می‌تواند معضل استقلال صفات از یکدیگر که به هنگام مقایسه زوجی در چارچوب روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی و فرایند تحلیل شبکه‌ای وجود دارد را برطرف نماید. سپس با انجام مراحل روش ARAS، نقشه‌ی پهنه‌بندی فرسایش حوضه بالادست سد یامچی، در ۵ طبقه بسیار پرخطر تا بسیار کم خطر، و بازه زمانی ۲۰۰۰ و ۲۰۲۱، استخراج گردید (شکل ۷ و شکل ۸). مساحت و تعداد پیکسل‌های مربوط به هر یک از طبقات خطر نیز در جدول ۷، ذکر شده است.

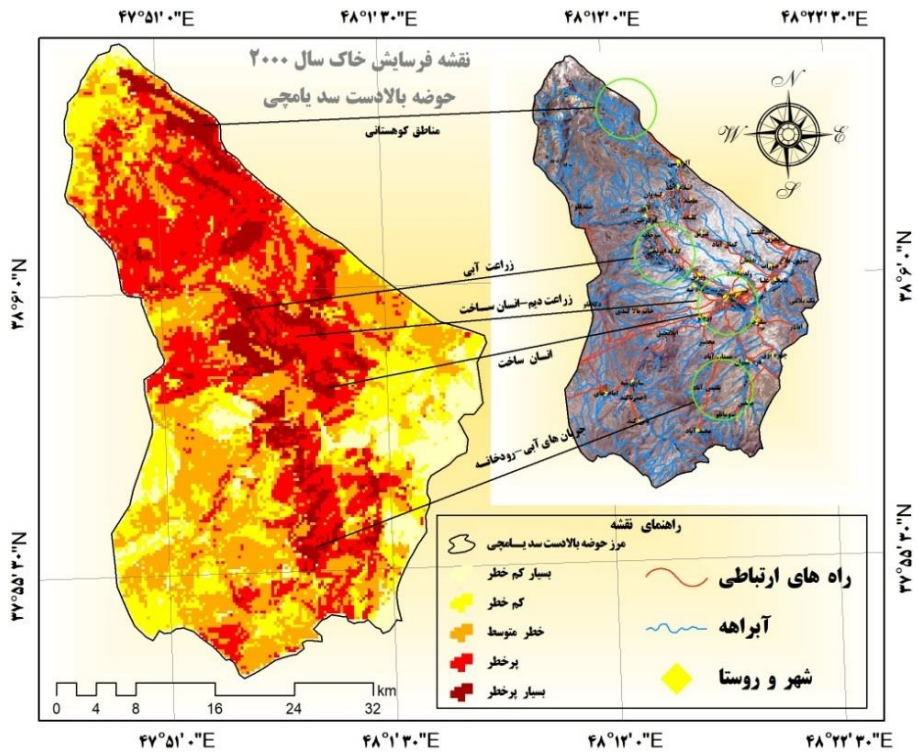




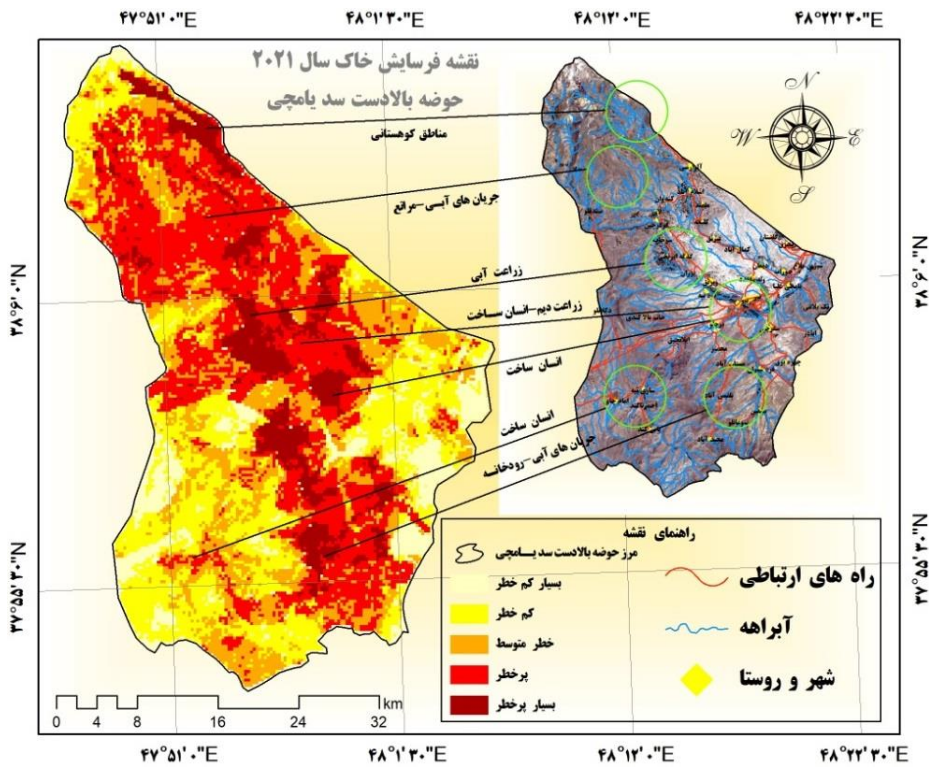
شکل ۶: نقشه معیارهای مطرح در پهنه‌بندی فرسایش حوضه بالادست سد یامچی

جدول ۶: مجموع تضاد، انحراف معیار، میزان اطلاعات و وزن نهایی معیارهای مطرح در پهنه‌بندی فرسایش حوضه بالادست سد یامچی

وزن نهایی	میزان اطلاعات	انحراف معیار	مجموع تضاد	معیار	سال
۰/۱۷۱	۱/۰۰۴	۰/۲۹۲	۳/۴۳۸	شیب	۲۰۰۰ با استفاده از نقشه کاربری اراضی سال
۰/۱۴۰	۰/۸۲۴	۰/۳۴۲	۲/۴۰۹	لیتولوژی	
۰/۱۶۰	۰/۹۴۱	۰/۳۳۰	۲/۸۴۶	کاربری اراضی	
۰/۱۵۶	۰/۹۱۸	۰/۳۶۱	۲/۵۴۲	خاک	
۰/۱۲۲	۰/۷۱۵	۰/۲۴۲	۲/۹۵۱	بارش	
۰/۱۳۱	۰/۷۷۳	۰/۳۷۴	۲/۰۶۷	فاصله از رودخانه	
۰/۱۱۶	۰/۶۸۰	۰/۳۱۱	۲/۱۸۸	فاصله از راه ارتباطی	
۰/۱۶۴	۱/۰۰۶	۰/۲۹۲	۳/۴۴۵	شیب	۲۰۲۱ با استفاده از نقشه کاربری اراضی سال
۰/۱۳۳	۰/۸۱۴	۰/۳۴۲	۲/۳۷۹	لیتولوژی	
۰/۱۷۶	۱/۰۷۷	۰/۳۴۱	۳/۱۵۳	کاربری اراضی	
۰/۱۵۹	۰/۹۷۰	۰/۳۶۱	۲/۶۸۸	خاک	
۰/۱۱۸	۰/۷۲۱	۰/۲۴۲	۲/۹۷۳	بارش	
۰/۱۳۲	۰/۸۱۱	۰/۳۷۴	۲/۱۶۹	فاصله از رودخانه	
۰/۱۱۴	۰/۶۹۹	۰/۳۱۱	۲/۲۴۸	فاصله از راه ارتباطی	



شکل ۷: نقشه پهنه‌بندی فرسایش سال ۲۰۰۰ حوضه بالادست سد یامچی با استفاده از روش ARAS



شکل ۸: نقشه پهنه‌بندی فرسایش سال ۲۰۲۱ حوضه بالادست سد یامچی با استفاده از روش ARAS

جدول ۷: اطلاعات طبقات خطر فرسایش سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۱ بالادست سد یامچی

سال	طبقه خطر	بسیار پرخطر	پرخطر	خطر متوسط	کم خطر	بسیار کم خطر
سال	مساحت به کیلومتر مربع	۷۴/۳۵	۲۰۶/۵۱	۲۲۹/۲۳	۱۳۴/۰۶	۵۳/۸۵
۲۰۰۰	مساحت به درصد	۱۰/۶۵	۲۹/۵۹	۳۲/۸۴	۱۹/۲۱	۷/۷۱
سال	مساحت به کیلومتر مربع	۷۹/۴۰	۲۱۹/۹۸	۱۶۳/۵۸	۱۷۱/۴۹	۶۳/۵۵
۲۰۲۱	مساحت به درصد	۱۱/۳۷	۳۱/۵۲	۲۳/۴۴	۲۴/۵۷	۹/۱۰

می‌توان گفت که در نقشه فرسایش هر دو دوره‌ی مطالعاتی، به طور عمده مناطق با طبقه بسیار پرخطر و پرخطر در کاربری‌های زراعی، مراتع ضعیف و متوسط، مناطق انسان ساخت و اراضی بایر قرار دارند. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی فرسایش در محدوده مطالعاتی، در سال ۲۰۰۰ مساحت طبقه بسیار پرخطر و پرخطر، ۷۴/۳۵ و ۲۰۶/۵۱ کیلومتر مربع بوده است که مقدار این طبقات خطر در سال ۲۰۲۱ به ترتیب؛ ۷۹/۴۰ و ۲۱۹/۹۸ کیلومتر مربع افزایش یافته است. علت افزایش مناطق دارای احتمال خطر فرسایش را می‌توان در کاهش مراتع خوب، مراتع متوسط و اراضی کوهستانی و تبدیل آن‌ها به مناطق کشاورزی، مراتع ضعیف و نواحی انسان ساخت دانست. صفاری و همکاران (۱۳۹۷)، اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۸)، میاحی و همکاران (۱۴۰۰)، سانتوس و همکاران (۲۰۱۷)، کیدن و همکاران (۲۰۱۹)، کوجو و همکاران (۲۰۲۰)، لی و همکاران (۲۰۲۱)، نیز افزایش مساحت اراضی کشاورزی، اراضی بایر و مناطق مسکونی و در مقابل کاهش مراتع را از دلایل اصلی افزایش پتانسیل خطر فرسایش خاک، مطرح کرده‌اند.

در سطح حوضه مورد مطالعه، به وسیله‌ی روستاییان منطقه، بیشتر اراضی مرتعی؛ به اراضی کشاورزی و به خصوص، به دیم‌زارهای کم‌بازده، تغییر کاربری داده‌اند. هرچند کشت‌زارهای دیم نقشی مهم در افزایش محصولات کشاورزی و تأمین غذا دارند، اما تغییر کاربری به دلیل تأثیر بر پوشش گیاهی و به هم خوردگی سطح خاک، سبب تشدید هدررفت خاک و جاری شدن رواناب سطحی شده و در نتیجه کیفیت خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این تغییر کاربری، در صورتی که با عدم توجه به قابلیت اراضی و رعایت اصول صحیح خاک‌ورزی توأم باشد، منجر به تولید روان آب سطحی و در نتیجه تشدید فرسایش می‌گردد که نتیجه نهائی آن کاهش حاصلخیزی و کاهش محصول است. بر اساس تلفیق نقشه شیب و کاربری، عمده دیم‌زارهای شیب‌دار حوضه که کانون فرسایش‌اند، در نیمه میانی و تا حدودی در بخش‌های جنوبی در شیب‌های ۱۵ تا ۳۵ درصد پراکنده‌اند. با توجه به این که اغلب اراضی کشاورزی به ویژه؛ دیم‌زارهای منطقه بر روی دامنه‌های شیب‌دار قرار گرفته‌اند، بنابراین انجام شخم در جهت شیب به خصوص در زمان وقوع بارندگی‌های با شدت زیاد، منجر به فرسایش خاک می‌شود. بدین صورت که، در شخم موازی شیب، آب حاصل از بارندگی در شیارهای کشت با سهولت بیشتری جریان یافته و از زمین زراعی خارج شده و در نتیجه هدررفت آب و خاک افزایش می‌یابد. از طرفی برداشت بی رویه‌ی علوفه از مراتع برای تغذیه‌ی دام، در فصل سرد و چرای زودرس در فصل بهار باعث گردیده تا از میزان مراتع کاسته شده و با شروع فصل بارش، رواناب تشدید گردد و این امر بر مورفولوژی رودخانه‌ای نیز تأثیر مستقیمی گذاشته و به تغییر رفتار بستر نیز منجر می‌گردد. نکته حائز اهمیت دیگر در مورد سکونتگاه مسکونی است که رشدی بیش از دو ونیم برابری داشته است. افزایش مناطق مسکونی و رشد زمین‌های غیر قابل نفوذ بر فرآیندهای حاکم بر حوضه تأثیرگذار بوده و به افزایش سطوح پرخطر، از نظر فرسایش خاک، در سطح حوضه منجر شده است.

همچنین، سطح زیادی از اراضی پرخطر در حواشی رودخانه‌های اصلی موجود در حوضه (آق‌لاقان‌چای، کمال آبادچای، کاظم چای، امام‌چای) قرار دادند و رودخانه‌های دائمی و پرآب به راحتی می‌توانند، مواد سطحی و خاک را شسته و با خود حمل نمایند. از طرفی بارندگی نسبتاً زیاد در ماه‌های فروردین و اردیبهشت، نقش مهمی را در تشدید و توسعه‌ی فرسایش خطی رواناب‌ها در سطح حوضه مورد مطالعه، بر عهده دارد. از سوی دیگر احداث جاده در منطقه مطالعاتی، با از بین بردن پوشش مرتعی در دامنه‌های پرشیب باعث شده، در هنگام بارش بهاری و ذوب برف، زمینه جهت فرسایش‌پذیری

خاک فراهم گردد. به علاوه، ۱۸/۶ درصد از سطح حوضه به واحدهای نامقاوم که کمترین مقاومت را در برابر فرسایش داشته (شامل؛ مارن‌های ژپیس‌دار و ماسه سنگ‌های نئوژن به همراه آبرفت‌های جوان و نهشته‌های یخچالی) اختصاص پیدا کرده است و سالانه حجم قابل توجهی از رسوبات آبرفتی درشت‌دانه و ریزدانه بر اثر فرسایش به همراه سیلاب‌ها وارد بستر رودخانه می‌شوند و رسوبات مذکور نهایتاً به سمت مخزن سد یامچی زهکشی و هدایت می‌شوند که این مسئله منجر به کاهش عمر مفید سد می‌گردد. در شکل (۹)، نمونه‌هایی از عوامل دخیل در افزایش پتانسیل فرسایش‌پذیری خاک در سطح حوضه بالادست سد یامچی اردبیل، نمایش داده شده است.



شکل ۹: (a) فرسایش دامنه‌ای به علت وجود شیب زیاد و نبود پوشش گیاهی مناسب و محافظ. (b) فرسایش کنار رودخانه به علت وجود مواد سست و فرسایش‌پذیر و زیربری توسط رودخانه. (c) چرای بی‌رویه دام‌ها در مراتع

نتیجه‌گیری

اطلاع از نسبت کاربری‌ها و نحوه تغییرات آن در گذر زمان یکی از مهم‌ترین موارد در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری می‌باشد. به علاوه، می‌توان فرسایش خاک را یکی از بزرگ‌ترین موانع برای دستیابی به توسعه پایدار در کشاورزی و استفاده از منابع طبیعی دانست. به همین جهت مقابله با پدیده‌ی فرسایش در سطح جهانی مورد توجه قرار گرفته است. می‌توان ادغان داشت که، تغییرات کاربری اراضی یکی از عوامل مهم در ایجاد فرسایش خاک است. لذا، در پژوهش حاضر نیز بررسی تغییرات کاربری اراضی و نقش آن در میزان فرسایش خاک با استفاده از تکنیک‌های دورسنجی و تحلیل چند معیاره ARAS، برای دو دوره زمانی ۲۰۰۰ و ۲۰۲۱، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که در سال ۲۰۰۰، غالب‌ترین مقدار مساحت کاربری‌ها مربوط به کاربری‌های مراتع خوب و متوسط به ترتیب با پوشش ۳۴/۰۱ و ۱۹/۶۷ درصد از مساحت حوضه، می‌باشد و در سال ۲۰۲۱ بیشترین میزان مساحت، به کاربری‌های مراتع ضعیف، مراتع خوب و متوسط، به مقدار ۲۸/۵۷، ۱۵/۷۶ و ۱۵/۵۷ درصد از سطح حوضه، اختصاص دارد. با توجه به نتایج مطالعه در طی بازه‌ی زمانی مورد مطالعه، از مهم‌ترین تغییرات در این مدت می‌توان به افزایش زمین‌های کشاورزی، افزایش مساحت سکونتگاه‌های انسانی، زمین‌های بایر و در مقابل کاهش مراتع متوسط و ضعیف اشاره کرد.

با توجه به نتایج مطالعه، میزان پهنه‌های خطر فرسایش بسیار زیاد و زیاد در طی بازه زمانی مورد مطالعه با افزایش نسبی روبرو بوده است. در نتیجه، می‌توان بیان داشت که وجود عواملی مانند؛ بهره‌برداری غیر اصولی از مراتع، تخریب پوشش گیاهی در اثر تبدیل اراضی مرتعی به زراعی، کشت دیم در اراضی شیب‌دار (از جمله کشت غلات به صورت دیم در اراضی شیب‌دار و خصوصاً کشت روی شیب‌های بالای ۱۵ درصد) و شخم خوردن مراتع در شیب‌های تند، عدم رعایت تناوب زراعی، استفاده‌ی نامناسب از بستر و حریم رودخانه‌ها، افزایش مناطق مسکونی و انسان ساخت، در کنار وجود سایر عوامل، از قبیل؛ سازندهای حساس و فرسایش‌پذیر که عمدتاً سازندهای سست کواترنر هستند، ارتفاع زیاد و کوهستانی بودن حوضه، شیب زیاد، بارندگی مناسب و فراوانی شبکه آبراهه، مهم‌ترین عوامل دخیل در فرسایش خاک در سطح حوضه بالادست سد یامچی اردبیل، می‌باشند.

در نهایت؛ می‌توان بیان داشت، تقویت و احیاء پوشش گیاهی مراتع و ممیزی مراتع، تعیین ظرفیت چرا و جلوگیری از چرای بی‌رویه دام‌ها، مدیریت شیب زمین و کاهش طول شیب‌های تند، راهکارهایی است که در جهت کاهش پتانسیل

فرسایش خاک و تولید رسوب در سطح حوضه مورد مطالعه، توصیه می‌گردد. به علاوه، بدان جهت که، افزایش پتانسیل فرسایش خاک در اغلب موارد در نتیجه دخالت عوامل انسانی بوده است و این روند تغییر نخواهد کرد، مگر با تغییر در تعامل انسان با طبیعت و نحوه استفاده از زمین. لذا، آشناسازی کشاورزان با اقدامات و فعالیت‌های حفاظتی در اراضی شیب‌دار و نحوه کشت در این اراضی و روش‌های مقابله با فرسایش خاک می‌تواند راهکار مناسبی جهت بهبود شرایط اراضی کشاورزی از لحاظ پایداری باشد. انتظار می‌رود، این مطالعه و نتایج حاصل از این تحقیق، راه‌گشایی برای اعمال مدیریت بهتر و علمی‌تر مدیران و برنامه‌ریزان ذی‌صلاح در این زمینه گردد.

منابع

- اصغری، ص.، فعال نذیری، م.، اردشیر پی، ع. (۱۳۹۸). بررسی اثرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک با الگوریتم WLC (مطالعه موردی: حوضه آبخیز آق‌لاقان‌چای)، پژوهش‌های فرسایش محیطی، سال نهم، شماره ۲، صص ۷۱-۵۳.
- مرادنژاد، آ.، حسنی، ز.، (۱۳۹۷). تحلیل کالبدی- فضایی نواحی شهری بر اساس شاخص‌های رشد هوشمند شهری (مطالعه موردی: شهر بابل)، فصلنامه علمی - پژوهشی پژوهش و برنامه ریزی شهری، ۹ (۳۴)، صص ۱۹-۳۰.
- پرویزی، ی.، بیات، رضا، عربخوری م.، فاتحی، ش. (۱۳۹۹). تعیین عوامل مؤثر بر سیمای فرسایش خاک در دیم‌زارهای استان کرمانشاه بر پایه شبیه‌سازی میدانی بارندگی. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۴ (۴۹)، صص ۷۰-۸۲.
- منوچهر، م.، گرجی، م.، طاهری، ف.، سرمیدان، ج.، محمدی، ح. (۱۳۹۰). اثر کاربری اراضی مختلف حوضه سد زاینده رود علیا در تولید رسوب با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، مجله پژوهش آب ایران، سال پنجم/ شماره هشتم، صص ۱۵۲-۱۴۳.
- دیانی، ل.، پورطاهری، م.، رکن‌الدین افتخاری، ع.، احمدی، ح. (۱۳۹۷). رتبه بندی سازه های اصلی ساماندهی بافت های فرسوده روستاهای پیرامون کلان شهرها با استفاده از روش ارزیابی نسبت تجمعی (ARAS) (مطالعه موردی: پیرامون کلان‌شهر تهران). برنامه‌ریزی و آمایش فضا؛ ۲۲ (۳): ۱۴۵-۱۸۱.
- رضائی‌مقدم، م.، مختاری، د.، سمندر، ن. (۱۳۹۹). استخراج و ارزیابی تغییرات کاربری اراضی با به‌کارگیری الگوریتم SVM با کرنل چندجمله‌ای و روش حداکثر احتمال در محدوده حوضه آبریز اوجان‌چای بستان‌آباد، جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۹، شماره ۴، صص ۴۴-۲۵.
- رضائی‌مقدم، م.، رضایی بنفشه درق، م.، فیضی‌زاده، ب.، نظم‌فر، ح. (۱۳۸۹). طبقه‌بندی پوشش اراضی/ کاربری اراضی بر اساس تکنیک شی‌گرا و تصاویر ماهواره‌ای، مطالعه موردی: استان آذربایجان غربی، پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)، دوره ۲۳، شماره ۲، صص ۳۲-۱۹.
- صفاری، ا.، نوری، ع.، کرمی، ع. (۱۳۹۷). بررسی تاثیر تغییرات پوشش و کاربری زمین در قابلیت فرسایش خاک - مطالعه موردی حوضه قره‌سو گرگانرود. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. ۵ (۱): ۸۳-۹۶.
- علیزاده، ر.، ایزدی، ح.، آراسته، م (۱۴۰۰). رتبه‌بندی ظرفیت گردشگری طبیعت‌محور در مناطق کوهستانی، نمونه موردی: منطقه شرقی استان لرستان. برنامه‌ریزی و آمایش فضا؛ ۲۵ (۱): ۱۱۷-۱۴۲.
- فیضی‌زاده، ب.، جعفری، ف.، نظم‌فر، ح. (۱۳۸۷). کاربرد داده‌های سنجنش از دور در آشکارسازی تغییرات کاربری- های اراضی شهری (مطالعه موردی فضای سبز شهر تبریز)، هنرهای زیبا، شماره ۳۴، صص ۲۴-۱۷.

- مقدسی, مریم, خداوردیزاده, م, هاشمی بناب, ص, سکوتی اسکوتی, ر. (۱۳۹۷). ارزیابی عوامل موثر بر پذیرش روشهای غیر مکانیکی حفاظت خاک در راستای حفظ پایداری (مطالعه موردی: شهرستان ارومیه). (دانش کشاورزی و تولید پایدار, ۲۸ (۴), ۲۳۹-۲۴۵).
- موسوی, ح, الف, رنجبر و م. حاصلی. (۱۳۹۴). پایش و روندیابی تغییرات کاربری اراضی حوضه ابرکوه با استفاده از تصاویر ماهواره ای (۲۰۱۴-۱۹۷۶), فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر), ۲۵(۹۷): ۱۴۶-۱۳۹.
- میاحی, ج, اسکندری دامنه, ه, زراسوندی, ع. (۱۴۰۰). ارزیابی اثر تغییر پوشش اراضی بر روی روند فرسایش خاک تالاب هور العظیم در جنوب غرب ایران, مخاطرات محیط طبیعی, دوره ۱۰, شماره ۲۷, صص ۱۲۲-۱۰۷.
 - Aher P, Adinarayana J, Gorantiwar SD. 2013. Prioritization of watersheds using multi-criteria evaluation through the fuzzy analytical hierarchy process. *Agric Eng Int CIGR J*, 15(1): 11-1.
 - Aiello A, Adamo M, Canora, F. 2015. Remote sensing and GIS to assess soil erosion with RUSLE3D and USPED at river basin scale in southern Italy. *Catena*, 131: 174-185.
 - Alinezhad A, Khalili J. 2019. *New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision Making (MADM)*. International Series in Operations Research & Management Science, vol 277, Springer, Cham.
 - Arab-Ameri A, Pourghasemi H.R, Cerda A. 2018. Erodibility prioritization of sub-watersheds using morphometric parameters analysis and its mapping: A comparison among TOPSIS, VIKOR, SAW, and CF multi-criteria decision making models, *Science of The Total Environment*, 613-614: 1385-1400.
 - Baumgertel A, Luki'c S, Belanovi'c Simi'c S, Kadovi'c, R. 2019. Identifying Areas Sensitive to Wind Erosion—A Case Study of the AP Vojvodina (Serbia). *Appl. Sci.*, 9: 1-12.
 - Congalton R.G, Green K. 2009. *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. CRC Press, Boca Raton, Florida, 137.
 - Coppin P, Jonckheere I, Nackaerts K, Muys B, Lambin E. 2004. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: A review. *International Journal of Remote Sensing*, 25(9): 1565-1596.
 - Georgiou D, Mohammed E.S, Rozakis, S. 2015. Multi-criteria decisionmaking on the energy supply configuration of autonomous desalination units. *Renew. Energy* 75: 459-467.
 - Hoseini H. 2019. Use fuzzy interface systems to optimize land suitability evaluation for surface and trickle irrigation, *Information Processing in Agriculture*, 6 (1): 11-19.
 - Jabbar M.T, Zhou X. 2011. Eco-environmental change detection by using remote sensing and GIS techniques: a case study Basrah province, south part of Iraq. *Journal of Environ Earth Sci*, 64: 1397-1407.
 - Kenneth M, Gunter, M. 2012. *Monitoring Land-Use Change in Nakuru Kenya Using Multi-Sensor Satellite Data*, *advance remote sensing*, 1: 74-78.
 - Kidane M, Bezie A, Kesete N, Tolessa T. 2019. The impact of land use and Oland cover (LULC) dynamics on soil erosion and sediment yield in Ethiopia. *Heliyon*, 5 (12): 1-13.
 - Kogo B.K, Kumar L, Koech R. 2020. Impact of Land Use/Cover Changes on Soil Erosion in Western Kenya. *Sustainability*, 12, 9740: 1-17.
 - Li M, Li T, Zhu L, Meadows ME, Zhu W, Zhang S. 2021. Effect of Land Use Change on Gully Erosion Density in the Black Soil Region of Northeast China from 1965 to 2015: A Case Study of the Kedong County. *Front. Environ. Sci*, 9: 652-933.
 - Lillesand T.M, Kiefer R.W, Chipman W.J. 2008. *Remote sensing and Image Interpretation*, New York: John Wiley & Sons, Inc., 6th Ed, 812.

- Masselink R, Temme A.J.A.M, Giménez R, Casali J, Keesstra, S.D. 2017. *Assessing hillslope-channel connectivity in an agricultural catchment using rare-earth oxide tracers and random forests models. Cuadernos de Investigación Geográfica.*
- Mendoza M.E. 2004. *Analysing land cover and land use change processes at watershed level: A multitemporal study in the Lake Cuitzeo Watershed, Mexico (1975-2003). Applied Geography, 31(1): 237-250.*
- Nekhay O, Arriaza M, Boerboom L. 2009. *Evaluation of erosion risk using Analytic Network Process and GIS: a case study from Spanish mountain olive plantations. J Environ Manag, 90(10): 3091-3104.*
- Santos J. C. N, Andrade E. M, Medeiros P. H. A, Joao M. 2017. *Land use impact on soil erosion at different scales in the Brazilian semi-arid. Revista Ciencia Agronomica, 48(2): 251-260.*
- Tachizuka S, Hung T, Ochi S, Yasuoka Y. 2002. *Monitoring of Long-term Urban Expansion by the use of Remote Sensing Image from Different Sensor, Asian conference on Remote sensing, Kathmandu, Nepal, November 2002: 25 – 29.*
- Tuş A, Aytaç Adalı E. 2019. *The new combination with CRITIC and WASPAS methods for the time and attendance software selection problem, opsearch, 56: 528-538.*
- Wessels K.J, Prince S.D, Frost P.E, Van Z. D. 2004. *Assessing the effects of human induced land degradation in the former homelands of northern South Africa with a 1 km AVHRR NDVI time-series. Journal of Remote Sensing Environment, 9 (1): 47–67*
- Zavadskas, E.; Turskis, Z. (2010). *a new additive ratio assessment (ARAS) method in multicriteria decision-making, Technological and Economic Development of Economy, 16, 2, pp. 159-172*
- Zhang, X., WU, B., Zeng, Y., Yan, N., Yuan, C., 2010. *Identification of priority areas for controlling soil erosion. Catena, 83: 76–86*