

بررسی رابطه غلظت رسوب معلق ایستگاه‌های هیدرومتری دوآب مرگ و پل چهر با پوشش گیاهی در مناطق بالادست با استفاده از تصاویر Sentinel-2 MSI

سارا پرویزی^۱، سید زین العابدین حسینی^۲، علی طالبی^۳، سمیه طالبی اسفندارانی^۴، هادی جلیلی^۵ و رضا ذاکری نژاد^۶

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب‌خیزداری، گروه مرتع و آب‌خیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، ایران
۲- دانشیار، گروه مرتع و آب‌خیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، ایران، (نویسنده مسوول: zhosseini@yazd.ac.ir)
۳- استاد، گروه مرتع و آب‌خیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
۴- استادیار، پژوهشگاه فضای ایران، تهران، ایران
۵. دانشیار، پژوهشگاه فضای ایران، تهران، ایران
۶- استادیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۹/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۳۰ صفحه: ۲ تا

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: شناخت روابط مکانی پوشش گیاهی بالادست با رسوب‌دهی حوضه‌ها جهت کنترل و مدیریت بهینه منابع آب و خاک ضروری است. پژوهش حاضر باهدف تعیین روابط بین پوشش گیاهی با غلظت رسوب معلق در دو حوزه آب‌خیز دوآب مرگ و گاماسیاب انجام گرفت.
مواد و روش‌ها: در ابتدا به منظور بررسی همبستگی میان بازتاب طیفی باندهای تصاویر سنتینل-۲ و غلظت رسوب از آمار غلظت رسوبات معلق ایستگاه دوآب مرگ واقع در رودخانه قره‌سو و ایستگاه پل چهر واقع در رودخانه گاماسیاب در دوره پنج ساله (۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰) همزمان با آن‌ها استفاده شد. در ادامه شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) برای دو فصل اردیبهشت و خرداد با استفاده از تصاویر سنتینل-۲ استخراج شد و رابطه پوشش گیاهی و غلظت رسوب معلق ثبت شده در ایستگاه و استخراج شده از تصاویر به صورت مجزا برآورد شد.

یافته‌ها: نتایج تحلیل همبستگی غلظت رسوب معلق نشان داد که بهترین نتیجه برای ایستگاه دوآب مربوط به باند ۴ ($R^2=0.86$) و برای ایستگاه پل چهر مربوط به باند ۵ ($R^2=0.83$) بود. بهترین مقادیر ضریب تبیین (R^2) شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده برای دو ایستگاه دوآب و پل چهر به ترتیب ۰/۹۸ و ۰/۶۴ بدست آمد که نشان‌دهنده این است که با افزایش پوشش گیاهی مقادیر رسوب کاهش می‌یابد. میانگین مقادیر متوسط شاخص گیاهی برای حوزه آب‌خیز مرگ برابر با ۰/۳۵ است و برای حوزه آب‌خیز گاماسیاب برابر ۰/۲۸ بدست آمد که نشان از پوشش گیاهی نسبتاً تنگ منطقه دارد. کمترین مقدار میانگین پوشش گیاهی در فصل مورد بررسی (بهار) در حوزه آب‌خیز مرگ خرداد ماه برابر ۰/۱۱ و برای حوزه آب‌خیز گاماسیاب اواخر اردیبهشت ماه برابر ۰/۲۱ بدست آمد.

نتیجه‌گیری: وجود رابطه معکوس و نزدیک بین متوسط شاخص گیاهی NDVI با رسوب اشاره به تأثیر مثبت پوشش گیاهی بر حفاظت خاک و کاهش تولید و انتقال رسوب در داخل حوزه‌های آب‌خیز دارد. در کل، نتایج نشان داد که پوشش گیاهی به طرز مؤثری در کمیت و کیفیت تغییرات مکانی میزان رسوب دهی حوضه‌ها مؤثر افتاده و شاخص گیاهی NDVI به‌عنوان نماینده پوشش گیاهی به طرز موفقیت آمیزی برای ایجاد یک مدل آماری از تغییرات میزان رسوب‌دهی می‌تواند مورد استفاده واقع شود، و احیا پوشش گیاهی در برنامه‌های توسعه‌ای قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: رابطه همبستگی، سنجش از دور، فرسایش خاک، NDVI

مقدمه

نمونه‌بردارهای دستی انجام می‌شود که در موارد خاص می‌توانند داده‌های پیوسته را ارائه دهند (Edwards & Glysson, 2018). این روش می‌تواند اندازه‌گیری دقیق رسوبات معلق را در یک مکان معین در زمان معین ارائه دهد. با این حال، دسترسی به تغییرات مکانی و زمانی در مقیاس بزرگتر به دلیل توزیع مکانی و فواصل طولانی بین مکان‌های مورد بررسی می‌تواند دشوار باشد. از این رو، استفاده از تکنیک‌های دقیق، گسترده و مقرون به صرفه، مانند سنجش از دور، جهت بهبود برآورد رسوب و در نتیجه بررسی کیفیت آب، ارزش زیادی دارد، برخلاف روش‌های سنتی، سنجش از دور ماهواره‌ای امکان جمع‌آوری داده‌ها را برای مناطق بزرگ به صورت مکرر و منظم فراهم می‌کند. در واقع، مقدار رسوب در آب به‌طور مستقیم بر بازتاب تابش خورشیدی در بخش‌های مرئی و مادون قرمز نزدیک طیف تأثیر می‌گذارد، به‌طور کلی، هر چه غلظت رسوب معلق بیشتر باشد، بازتاب آب سطحی نیز بیشتر می‌شود (Ritchie et al., 2000). با این حال، عرض رودخانه سبب محدودیت در تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای می‌شود. برای جلوگیری از اختلاط اطلاعات طیفی، عرض رودخانه باید بزرگتر از اندازه پیکسل باشد (Wackerman et

فرسایش خاک و رسوب‌دهی در زمره مهم‌ترین معضلات و چالش‌های زیست‌محیطی حوزه‌های آب‌خیز محسوب می‌شود. بار رسوب رودخانه مشکلات زیادی از جمله رسوب‌گذاری در مخازن سدها، تغییر مسیر رودخانه‌ها به دلیل رسوب‌گذاری در بستر آن‌ها، کاهش ظرفیت آنگذری آبراهه‌ها و تأسیسات انتقال آب و تغییر کیفیت آب به لحاظ مصارف شرب و کشاورزی به وجود می‌آورد (Grauso et al., 2007). رودخانه‌ها گیرنده و انتقال‌دهنده اصلی رسوبات ناشی از فرسایش خاک هستند. با این حال، در بیشتر جریان‌های آبی جهان، آمار رسوبات در حال شکل‌گیری به دلیل عدم بررسی به آسانی در دسترس نیستند (Syvitski et al., 2000). رسوبات معلق در آب رودخانه‌ها مورد توجه دانشمندان، محققان و مدیران منابع آب هستند زیرا می‌توان از آن برای بررسی رسوب، فرسایش و اثرات بالقوه بر فرآیندهای بیولوژیکی استفاده کرد (Asselman, 1999). بنابراین، بررسی و ارزیابی غلظت رسوب معلق در تعیین کیفیت آب و عملکردهای هیدرولوژیکی ضروری است. برای بررسی انتقال غلظت رسوب معلق در رودخانه‌های بزرگ، اندازه‌گیری‌ها معمولاً با استفاده از

al., 2017). پژوهش‌های زیادی در ارتباط با برآورد غلظت رسوب معلق با استفاده از تکنیک سنجش از دور انجام گرفته است که در ادامه به ذکر چند مورد پرداخته شده است. کابلی‌زاده و همکاران (2017) به برآورد غلظت متغیرهای کیفیت آب کل مواد جامد محلول و گل‌آلودگی در سدهای کرخه و دز و رودخانه کارون بزرگ با استفاده از تصاویر برداشت شده به وسیله ماهواره سنتینل-۲ پرداختند. برای ارزیابی دقت مدل‌سازی‌های انجام شده شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطا و خطای نسبی استفاده شد و مقادیر هر کدام از آن‌ها برای مدل‌سازی میان تصاویر ماهواره‌ای و پارامتر کل مواد جامد محلول به ترتیب برابر با $105/48$ (ppm) و $0/08$ و گل‌آلودگی برابر $3/1$ و $0/110$ به دست آمد. در نهایت نقشه پراکنندگی متغیرهای کیفیت آب برای سدهای کرخه و دز و رودخانه کارون بزرگ در مقطع ملائانی تا ایستگاه هیدرومتری فارسیات تهیه شد (Kabulizadeh et al., 2017). مارتینز و همکاران (2004) همبستگی غلظت رسوب را با داده‌های بازتاب ماهواره‌ای با استفاده از حسگرهای MERIS و مودیس (MODIS) تایید کرد (Martinez et al., 2004). نتایج مطالعه‌ای که ژانگ و همکاران (2014) جهت تعیین روند رسوبات رودخانه زرد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست انجام شد، بیانگر این است که با استفاده از الگوریتم اصلاح و بازیابی مدل جوی مناسب، می‌توان از TM ، ETM برای تعیین کمیت غلظت رسوب معلق در مصب رودخانه زرد استفاده کرد (Zhang et al., 2014). پالیستا و همکاران (2023) به تخمین غلظت رسوب معلق با استفاده از سنجش از دور برای رودخانه تلس پیرس، برزیل پرداختند. نتایج نشان داد که بهترین برآوردگر غلظت رسوب معلق، بازتاب باند چهار مربوط به محدوده قرمز طیف مرئی بود که در حالت مدل‌نمایی بهترین نتایج و دقت را نشان داد (Paulista et al., 2023). تحقیقات گسترده‌ای با استفاده از تصاویر سنتینل-۲ در مطالعات آب‌های سطحی از جمله مصب‌ها، دلتای رودخانه‌ها، مخازن طبیعی و مصنوعی آب، رودخانه‌های بزرگ، حوضه‌های جزر و مدی و دریاچه‌ها انجام شده است (Ambrose-Igho et al., 2021; Li et al., 2021). رسوب‌دهی حوضه‌ها ناشی از عوامل مختلفی از جمله: اقلیمی، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و ویژگی‌های مورفومتری حوضه بالادست است. در میان این عوامل، پوشش گیاهی نقش اساسی در تولید رسوب و انتقال آن دارد. پوشش گیاهی شاخص مهمی از شرایط اکولوژیکی و زیست‌محیطی است که از سطح زمین در برابر اثرات قطرات باران محافظت می‌کند و نرخ نفوذ را کنترل و رواناب سطحی را کاهش می‌دهد (Xin et al., 2011). در این خصوص، نقش پوشش جنگلی در کاهش رسوب‌دهی و رواناب به روشنی مشخص است. با این اوصاف، شناخت درست و علمی از کمیت و کیفیت تأثیر پوشش گیاهی بر میزان رسوب‌دهی حوضه‌های آبخیز ضروری است که نیازمند استفاده از داده‌های وسیع و به‌هنگام از کمیت پوشش گیاهی است. امروزه با توجه به پیشرفت‌ها در زمینه سنجش از دور، امکان ارزیابی بسیاری از متغیرها از جمله اختلاف پوشش

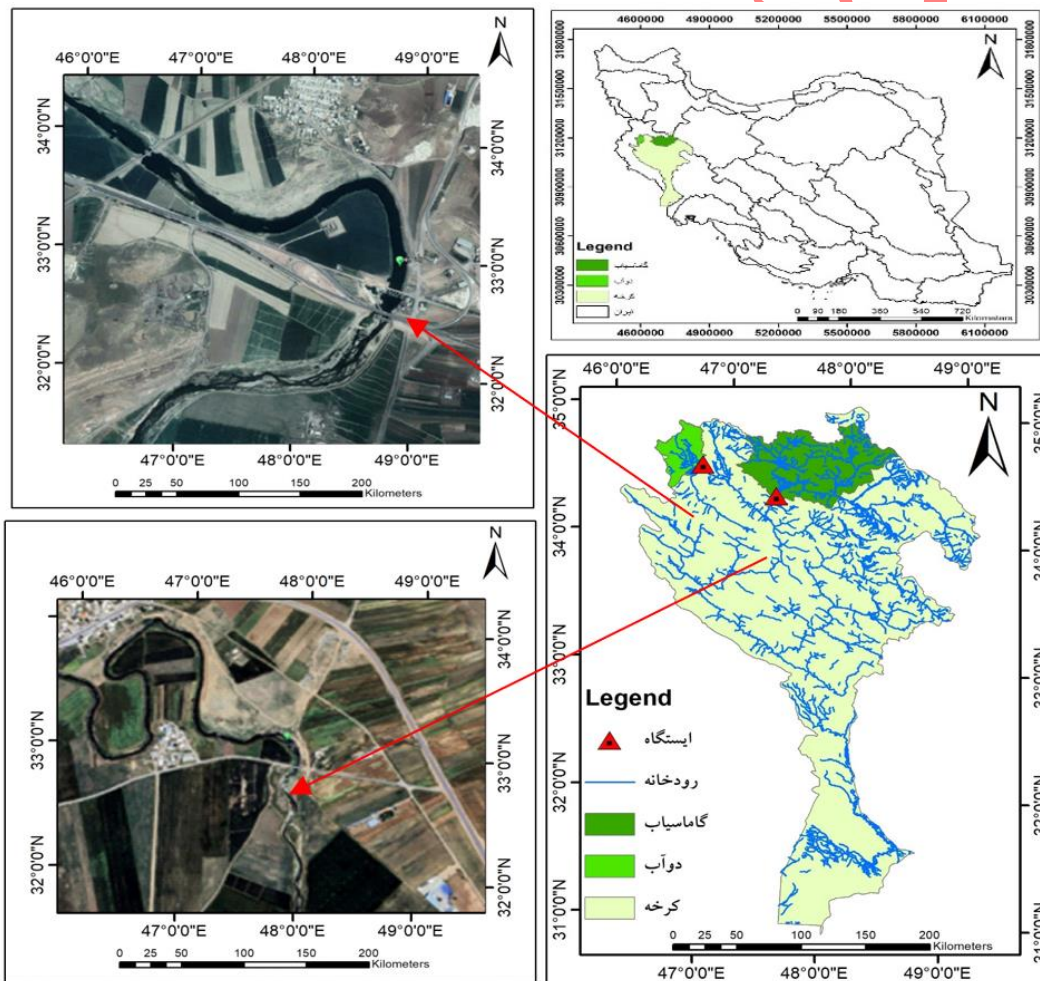
گیاهی نرمال شده با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای امکان‌پذیر است. در ارتباط پوشش گیاهی، شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده به‌طور گسترده‌ای برای تحلیل وضعیت پوشش گیاهی در مقیاس منطقه‌ای مورد استفاده واقع شده است (Du & Shi, 2013). مطالعات فراوانی در خصوص روابط بین پوشش گیاهی و فرسایش و رسوب‌دهی حوضه‌های آبخیز از گذشته تاکنون انجام شده است که در زیر به آن‌ها اشاره می‌شود. ژاو و همکاران (2016) ضمن مقایسه عوامل پوشش گیاهی و توپوگرافی با عوامل انسانی در قبال رسوب‌دهی حوضه‌های فلات لسی کشور چین پی بردند که نرخ فرسایش و رسوب‌دهی، همبستگی معنی‌داری با درصد پوشش گیاهی و شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده داشت (Zhao et al., 2016). لی و همکاران (2020) با استفاده از تحلیل همبستگی و رگرسیون خطی چندگانه به بررسی اثرات توأم بارندگی و پوشش گیاهی روی رواناب و رسوب‌دهی سالانه در حوضه‌های شمال شرق چین پرداختند. نتایج حاصل نشان از وجود رابطه معکوس شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده با رسوب‌دهی سالانه داشت (Li et al., 2016). فو (1989) نشان داد که ایجاد پوشش گیاهی چند ساله یکی از مؤثرترین روش‌ها برای تثبیت خاک و به حداقل رساندن فرسایش است (Fu, 1989). بررسی پیشینه تحقیق نشان داد که با بهره‌گیری فناوری سنجش از دور در کنار قابلیت‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌توان با استفاده از تصاویر غلظت رسوب معلق را برآورد کرد و در مناطقی که امکان اندازه‌گیری وجود ندارد از آن استفاده کرد. همچنین روابط بین رسوب‌دهی و پوشش گیاهی حوضه‌های آبخیز را شناخت و به کمیت و کیفیت تأثیر پوشش گیاهی بر میزان رسوب‌دهی حوضه‌ها دست پیدا کرد. در واقع در مطالعات پیشین معمولاً ارتباط پوشش گیاهی را با داده‌های زمینی رسوب برآورد شده است در این تحقیق ارتباط پوشش گیاهی با داده‌های زمینی ثبت شده در ایستگاه، و غلظت رسوب معلق استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای نیز بدست آمده است نتایج نشان دهنده روابط معنی‌دار بین شاخص پوشش گیاهی میزان غلظت رسوب معلق بود. هم چنین نتایج نشان داد که می‌توان با استفاده از تکنیک سنجش غلظت رسوب معلق در حوضه‌های فاقد آمار را برآورد نمود. نتایج پژوهش حاضر می‌تواند برای مدیران منابع آب و خاک که به دنبال کنترل و کاهش اثرات زیان‌بار فرسایش و رسوب‌دهی بر محیط زیست و پایداری منابع طبیعی هستند، مفید واقع شود.

مواد و روش‌ها منطقه مطالعاتی

در این مطالعه دو ایستگاه واقع در حوزه آبخیز مرگ و حوزه آبخیز گاماسیاب مورد بررسی قرار گرفت. حوزه آبخیز مرگ در محدوده $34^{\circ}01'11''$ تا $34^{\circ}05'25''$ عرض شمالی در استان کرمانشاه قرار دارد. حوزه آبخیز مرگ با مساحت $1466/15$ کیلومتر مربع یکی از سرشاخه‌های رودخانه کرخه در ایران و از مهمترین زیرحوضه‌های رودخانه قره‌سو است. حوضه مرگ منطقه‌ای

نهبوند سرچشمه می‌گیرد. در مسیر رودخانه‌ی گاماسیاب رشته های فرعی مختلفی به آن ملحق می‌شود در جنوب بیستون، شاخه‌ی فرعی رودخانه‌ی دینور به آن پیوسته و به نام گاماسیاب ادامه مسیر می‌دهد و در نزدیکی فرمان به رودخانه ی قره‌سو متصل شده و بعد از آن به نام سیمره وارد خاک لرستان می‌شود. حوزه‌ی آبخیز آن با مساحتی در حدود ۱۱۰۴۰ کیلومترمربع بین طول ۴۷۰۰۷' تا ۴۹۰۱۰' دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳۰۴۸' تا ۳۴۰۵۴' دقیقه شمالی واقع شده است. ارتفاع از سطح دریا در این حوضه بین ۱۲۷۵ تا ۳۶۸۰ متر می‌باشد. (شکل ۱) موقعیت عمومی منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.

نسبتاً کوهستانی است که ۳۷/۹ درصد اراضی آن را کوه‌ها و تپه‌ها تشکیل می‌دهد. ارتفاع متوسط این حوضه ۱۵۲۴ متر از سطح دریا است. مرتفع‌ترین قله آن ۲۷۶۰ متر و پست‌ترین نقطه آن ۱۳۱۵ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. شیب عمومی اراضی در حدود ۴/۶ درصد محاسبه شده و به سوی شمال غربی است. این منطقه با زمین‌های حاصلخیز کشاورزی و استفاده از آب‌های زیرزمینی، موقعیت ممتازی را از نظر اقتصادی در غرب ایران به وجود آورده است. بر این اساس، شغل اصلی مردم ناحیه کشاورزی و دامداری و کارهای جانبی وابسته به آن است (Maleki et al., 2017) حوزه‌ی آبخیز گاماسیاب در بخش شمال شرقی حوضه‌ی آبریز کرخه واقع شده است که از سراب سنگ سوراخ و چشمه‌سارهای اطراف



شکل ۱- موقعیت عمومی منطقه مورد مطالعه
Figure 1. General location of the study area

و مادون قرمز)، عرض رودخانه (بالتر از پیکسل تصویر - ۴۰ متر در ایستگاه دوآب و ۸۰ متر در ایستگاه پل‌چهر) و قدرت تفکیک مکانی سنجنده (۱۰ و ۲۰ متر) مد نظر قرار گرفته و پیکسل مربوط به ایستگاه هیدرومتری و اطراف آن انتخاب و انعکاس طیفی استخراج شد. سپس همبستگی بین انعکاس آب (متغیر مستقل) و غلظت رسوب معلق (متغیر وابسته) در

روش تحقیق

در این پژوهش در مرحله اول داده‌های ماهواره‌ای سنتینل - ۲ مورد بررسی قرار گرفت و در صورت وجود شرایط آبریز، ریزگردها یا سایر اشکالات رادیومتریکی از محاسبات خارج گردید. در ادامه برای انتخاب پیکسل مناسب تصویر (جهت اخذ انعکاس طیفی آب)، عواملی نظیر نوع باند (باندهای مرئی

در نهایت رابطه میان رسوب ایستگاه و رسوب استخراج شده از تصاویر سنتینل-۲ با شاخص پوشش گیاهی بدست آمد و مدل‌های بهینه استخراج شد.

داده‌های رسوب معلق ایستگاه

داده‌های دو ایستگاه اندازه‌گیری شامل دبی آب روزانه و مقادیر غلظت رسوب بود که توسط شرکت منابع آب ثبت شده است، مکان ایستگاه‌های اندازه‌گیری در (شکل ۱) نشان داده شده است. در این پژوهش غلظت مواد معلق ایستگاه‌های هیدرومتری از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰ به تعداد ۱۸ داده برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل استفاده شد.

جدول ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه و مقادیر حداکثر و حداقل غلظت مواد معلق منطبق بر تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده ذکر شده است
Table 1. The location of the studied stations and the values of the maximum and minimum concentration of suspended substances according to the used satellite images are mentioned

ایستگاه Station	Y	X	تعداد داده Number of data	بیشینه رسوب (میلی گرم بر لیتر) Maximum sediment (mg.liter)	کمینه رسوب (میلی گرم بر لیتر) Minimum sediment (mg.liter)	میانگین رسوب (میلی گرم بر لیتر) Average sediment (mg.liter)
دوآب مرگ	3825017	664125	18	76.45	0.17	10.77
پل چپر	3802124	723223	18	118.86	0.44	27.80

مدل‌سازی غلظت رسوب معلق با استفاده از داده‌های حاصل از بازتاب سطح باندهای سنتینل-۲ و مقادیر میانگین روزانه همزمان غلظت رسوب معلق انجام شد. در نهایت از مجموع تصویر ماهواره‌ای که در اختیار بود ۷۰ درصد داده‌ها جهت استفاده در مرحله واسنجی و ۳۰ درصد در مرحله اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفت. در این مطالعه ارزش‌های مربوط به پیکسل‌های تصاویر منطبق بر داده‌های موجود هیدرومتری در دو حالت تک باند، نسبت باند استخراج شد و مدل‌های رگرسیونی مناسب بدست آمد.

ارزیابی کمی

به منظور ارزیابی نتایج از معیارهای ارزیابی ضریب تعیین از (معادله ۲) و جهت برآورد ریشه میانگین مربعات خطا از (معادله ۳) استفاده شد.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{\sum_{t=1}^n (A_t - \bar{A})^2} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (3)$$

که در آن A_t به غلظت رسوب معلق اندازه‌گیری شده، F_t به غلظت رسوب معلق محاسبه شده. و N به اندازه نمونه اشاره دارد. مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا کوچکتر نشان‌دهنده دقت کلی بالاتر و خطای پیش‌بینی شده کمتر مدل است.

نتایج و بحث

در این تحقیق از ۸ باند ماهواره سنتینل-۲ با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ و ۲۰ متری به صورت تک باند و نسبت‌های باندی استفاده شد که نتایج در جدول ۲ ذکر شده است. با بررسی همبستگی میان باندهای مختلف مشخص شد بیشترین همبستگی در ایستگاه دوآب مرگ مربوط به باندهای B4 بوده است و برای ایستگاه پل چپر B5 می‌باشد که با نتایج مطالعات پیشین همخوانی دارد (Long & Pavelsky, 2013). نتایج به‌دست آمده نشان داد که غلظت رسوب معلق در ایستگاه دوآب مرگ ۰/۱۷ تا ۷۶/۴۵ و در ایستگاه پل چپر از ۰/۴۴ تا

طول دوره آماری تحقیق بدست آمد. در این ارتباط، علاوه بر استفاده از مقادیر انعکاس باندها (به تنهایی)، نسبت‌گیری طیفی باندها نیز به عنوان متغیر مستقل بررسی و در هر مورد میزان همبستگی رابطه استخراج شد. به منظور تعیین نوع مدل رگرسیونی (خطی یا غیرخطی بودن) و ضرائب به کار رفته در آن، با بررسی و مقایسه ضریب تعیین (R^2) بهترین الگوی رگرسیونی انتخاب شد. اعتبارسنجی مدل در نهایت با استفاده از پارامتر ریشه میانگین مربعات خطا بررسی شد. جهت برآورد شاخص پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر سنتینل-۲ استفاده شد و اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده برآورد شد.

جدول ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه و مقادیر حداکثر و حداقل غلظت مواد معلق منطبق بر تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده ذکر شده است

پردازش تصویر سنتینل-۲ جهت برآورد غلظت رسوب معلق و تهیه شاخص پوشش گیاهی

تصاویر سنتینل-۲ سطح ۱ (Level-1C) مربوط به دو رودخانه استان کرمانشاه (قره‌سو و گاماسیاب) از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰ با پوشش ابری کمتر از ۱۰٪ از سایت کوپرنیکوس تهیه شد و در مجموع، ۳۶ تصویر در این مطالعه جهت برآورد غلظت رسوب معلق به کار برده شد و برای شاخص پوشش گیاهی از تصاویر مربوط به ماه‌های اردیبهشت و خرداد استفاده شد.

۱- شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده: پرکاربردترین معیار رویش پوشش گیاهی، شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده است که با استفاده از فن‌آوری سنجنش از دور به دست می‌آید. این شاخص به صورت (رابطه ۱) محاسبه می‌شود.

$$NDVI = \frac{P_{nir} - P_{red}}{P_{nir} + P_{red}} \quad (1)$$

P_{red} و P_{nir} به ترتیب بازتابندگی در باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز است. مقادیر این شاخص بین -۱ تا ۱ است. این شاخص معرف انعکاس انرژی خورشیدی از سطح زمین است که انواع شرایط پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. مقادیر شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده بین -۱ و +۱ در نوسان است زمانی که پاسخ طیفی اندازه‌گیری شده از سطح زمین برای هر دو باند خیلی مشابه باشد، مقادیر شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده به صفر نزدیک می‌شود. پوشش گیاهی سالم در بخش طیفی مادون قرمز در مقایسه با بخش طیفی مرئی قرمز انعکاس بیشتری دارد. بنابراین مقادیر شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده برای پوشش گیاهی سبز مثبت خواهد شد. مناطق با پوشش گیاهی کم یا بدون پوشش گیاهی مانند مناطق شهری و اراضی بایر معمولاً مقادیر شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده بین -۱ و +۱ را نشان می‌دهند.

مدل‌سازی رسوب معلق

۱۱۸/۸۶ میلی گرم بر لیتر متغیر بوده است. در (جدول ۲ و ۳) استفاده ذکر شده است.

نیز تاریخ تصاویر مورد استفاده و انعکاس طیفی باندهای مورد

جدول ۲- میزان مواد معلق ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری دوآب و میانگین بازتاب باندهای طیفی مربوطه

Table 2. The amount of suspended matter recorded in the Doab hydrometric station and the average reflectance of the respective spectral bands

B8A	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	رسوب Sediment (mg.l)	دبی Q(m3.s)	تاریخ Date
0.0587	0.0143	0.053	0.0487	0.0507	0.04	0.0365	0.0001	0.031	7.92	71.3	13.6.2016
0.0606	0.0606	0.061	0.0606	0.0606	0.061	0.0606	0.0606	0.061	2.12	09.1	3.7.2016
0.4094	0.1118	0.178	0.1508	0.1574	0.088	0.0797	0.042	0.061	1.41	0.69	21.9.2016
0.1001	0.0672	0.101	0.0899	0.1148	0.113	0.1157	0.0719	0.041	20.506	8.66	9.5.2017
0.2273	0.1634	0.21	0.1968	0.1577	0.123	0.0975	0.033	0.062	2.48	0.76	18.6.2017
0.1893	0.2397	0.21	0.179	0.1545	0.12	0.1085	0.0805	0.069	3.175	1	3.7.2017
0.3458	0.3297	0.317	0.2815	0.1881	0.098	0.0992	0.0568	0.074	0.17	0.05	12.8.2017
0.244	0.2072	0.227	0.1957	0.1263	0.054	0.0638	0.0244	0.054	1.983	0.33	6.9.2017
0.2295	0.1932	0.222	0.1957	0.1752	0.119	0.0986	0.0676	0.045	1.29	0.40	31.10.2017
0.2434	0.2587	0.218	0.1968	0.1255	0.07	0.0702	0.0359	0.047	2.51	0.58	26.9.2018
0.1075	0.0552	0.543	0.368	0.436	0.356	0.221	0.154	0.111	76.453	7.76	29.5.2019
0.2295	0.1896	0.229	0.1927	0.1392	0.074	0.0802	0.053	0.076	24.25	5.81	3.7.2019
0.2343	0.2688	0.247	0.2125	0.1192	0.066	0.0697	0.0413	0.074	3.21	0.74	6.9.2019
0.1927	0.2332	0.223	0.159	0.1191	0.088	0.0828	0.055	0.082	4.712	1.21	26.9.2019
0.0727	0.0968	0.063	0.0534	0.0582	0.044	0.0384	0.0153	0.03	8.946	2.49	15.11.2019
0.2013	0.1323	0.183	0.1591	0.1088	0.077	0.0849	0.0563	0.046	24.827	5.75	13.5.2020
0.2768	0.3118	0.261	0.2376	0.1458	0.077	0.0871	0.058	0.08	4.735	1.1	27.6.2020
0.2824	0.3376	0.275	0.2489	0.1356	0.07	0.0886	0.0545	0.056	3.257	0.75	7.6.2020

جدول ۳- میزان مواد معلق ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری پل چهر و میانگین بازتاب باندهای طیفی مربوطه

Table 3. The amount of suspended matter recorded in Polchehr hydrometric station and the average reflectance of the respective spectral bands

B8A	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	رسوب Sediment (mg.l)	دبی Q(m3.s)	تاریخ Date
0.0375	0.0408	0.0376	0.032	0.0417	0.0491	0.073	0.0349	36.93	9.16	2016.6.20
0.0322	0.0323	0.0298	0.023	0.057	0.0784	0.114	0.0639	1.04	0.40	2016.7.10
0.0741	0.0815	0.0712	0.0671	0.1006	0.1028	0.128	0.0828	0.44	0.26	2016.8.19
0.0517	0.0533	0.0469	0.0445	0.0612	0.0668	0.083	0.0424	0.67	0.25	2016.9.28
0.1223	0.1192	0.1221	0.1119	0.1305	0.1292	0.146	0.0985	48.947	15.792	2017.5.16
0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0204	0.048	0.0073	2.341	0.862	2017.6.5
0.0454	0.0493	0.0485	0.0464	0.0503	0.0485	0.056	0.0279	0.95	0.31	2017.7.15
0.0167	0.0188	0.0207	0.0172	0.0206	0.026	0.038	0.0242	3.25	1.03	2017.11.17
0.0259	0.0312	0.0272	0.0245	0.0282	0.0395	0.051	0.032	1.85	0.49	2018.10.3
0.0001	0.0001	0.0043	0.0823	0.0576	0.0633	0.121	0.0694	36.93	9.16	2019.6.20
0.421	0.311	0.261	0.178	0.164	0.213	0.116	0.0799	118.86	21.721	2019.7.5
0.034	0.0395	0.0498	0.0401	0.0788	0.0808	0.101	0.0697	32.638	7.555	2019.8.14
0.02	0.0243	0.0252	0.0237	0.0588	0.0669	0.109	0.0679	18.991	5.495	2019.9.13
0.0227	0.022	0.0226	0.0212	0.1211	0.0596	0.1	0.0709	61.726	17.146	2019.11.12
0.0304	0.0329	0.0375	0.0443	0.11	0.108	0.14	0.0984	91.52	23.539	2020.5.15
0.065	0.0458	0.0604	0.0674	0.0983	0.0777	0.107	0.0701	28.013	7.205	2020.6.4
0.0775	0.0885	0.075	0.0733	0.0902	0.0906	0.107	0.0774	13.746	3.182	2020.7.4
0.0971	0.0324	0.1043	0.1011	0.1067	0.0492	0.085	0.0511	1.54	0.396	2020.8.13

جدول ۴- نتایج میزان همبستگی انعکاس تک باند و حاصل ضرب باندی باندهای تصویربرداری ماهواره سنتینل-۲ با پارامتر رسوب معلق
Table 4. Correlation results of single band reflection, band ratio and band product of Sentinel-2 satellite imaging bands with suspended sediment parameter

B4*B3	B8A	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	مدل رگرسیون Regression model	نام ایستگاه Station name
0.84	0.24	0.4	0.47	0.28	0.67	0.75	69.0	0.67	خطی linear	دوآب مرگ Doab mereg
0.86	24.0	0.55	0.64	0.26	0.81	0.86	0.86	نمایی exponential		
0.86	29.0	0.49	0.86	0.84	0.86	0.86	0.86	چند جمله‌ای Polynomial		

جدول ۵- نتایج میزان همبستگی انعکاس تک باند، نسبت باندهای تصویربرداری ماهواره سنتینل-۲ با پارامتر رسوب معلق
Table 5. Correlation results of single-band reflection, band ratio of Sentinel-2 satellite imaging bands with suspended sediment parameter

B5:B4	B8A	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	مدل رگرسیون	نام ایستگاه Station name
0.58	0.25	0.19	0.23	0.41	0.66	0.65	0.28	0.36	خطی linear	پل چهر Polchehr
0.61	0.31	0.23	0.27	0.58	0.83	0.69	0.16	نمایی exponential		
0.66	0.4	0.32	0.31	0.59	0.8	0.7	0.29	چند جمله‌ای Polynomial		

سازای RMSE میانگین محاسبه گردید. نتایج نشان داد که باند ۴ و باند ۵ در حالت تک باند دارای بالاترین ضریب تبیین و کمترین مقدار خطا می‌باشند.

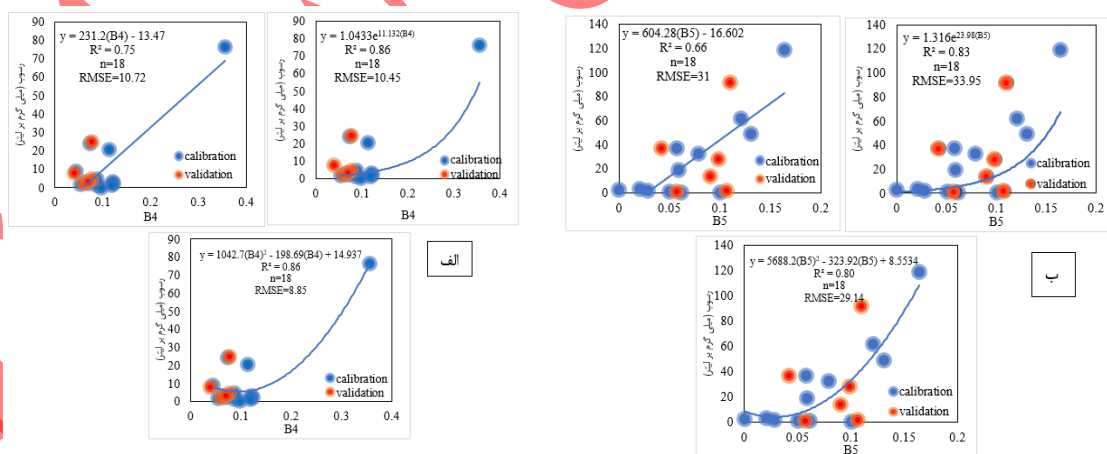
پس از بررسی همبستگی باندهای مختلف در نهایت بهترین مدل سازی را که دارای دقت بالایی بود، انتخاب شده و نتایج در (جدول ۴) و ارائه گردید. جهت بررسی دقت مدل جدول ۶- دقت مدل تجربی بر اساس تصاویر Sentinel-2 MSI برای تخمین غلظت رسوب معلق در رودخانه قره‌سو (ایستگاه هیدرومتری دوآب) و در رودخانه گاماسیاب (ایستگاه هیدرومتری پل چهر)

Table 6. The accuracy of the experimental model based on Sentinel-2 MSI images for estimating the concentration of suspended sediment in Qarasu River (Doab hydrometric station) and in Gamasiab River (Polchehr hydrometric)

P-value	RMSE (mg.l)	R ²	مدل Model	نام ایستگاه Station name
0.000021	10.72	0.75	$y = 231.2(B4) - 13.47$	دوآب مرگ Doab mereg
4.4832E-7	10.45	0.86	$y = 1.0433e^{11.132(B4)}$	
4.0207E-7	8.85	0.86	$y = 1042.7(B4)^2 - 198.69(B4) + 14.937$	
0.01	31	0.66	$y = 604.28(B5) - 16.602$	پل چهر Polchehr
0.000084	33.95	0.83	$y = 1.316e^{23.98(B5)}$	
0.000134	29.14	0.8	$y = 5688.2(B5)^2 - 323.92(B5) + 8.5534$	

چندجمله‌ای نتایج نشان داده شده است. همانطور که مشخص شده است در ایستگاه دوآب مرگ در حالت توانی بین داده‌های مشاهداتی (ثبت شده در ایستگاه) و داده‌های مستخرج شده از تصاویر دارای بیشترین ضریب همبستگی می‌باشد. و در ایستگاه پل چهر در دو حالت چندجمله‌ای و حالت نمایی دارای ضریب همبستگی بالایی بود.

همانطور که در بخش مواد و روش بیان شد ۷۰ درصد داده‌های موجود در مرحله واسنجی و ۳۰ درصد آن در مرحله اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفت. در این مطالعه ارزش‌های مربوط به پیکسل‌های تصاویر منطبق بر داده‌های موجود در ایستگاه هیدرومتری در دو حالت تک باند، نسبت باند استخراج شد و مدل‌های رگرسیونی مناسب بدست آمد. که در (شکل ۲) به سه حالت رگرسیون خطی و نمایی و



شکل ۲- بهترین مدل‌های رگرسیون بر اساس تصاویر Sentinel-2 MSI برای تخمین غلظت رسوب معلق در ایستگاه دوآب مرگ (الف) و پل چهر (ب) در دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی

Figure 2. The best regression models based on Sentinel-2 MSI images to estimate the concentration of suspended sediment in Doab Mereg station (a) and Polchehr (b) in two stages of calibration and validation

بررسی شد. طبق جدول معلوم شد که میانگین مقادیر متوسط شاخص گیاهی برای حوزه آبخیز مرگ برابر با ۰/۳۵ است و

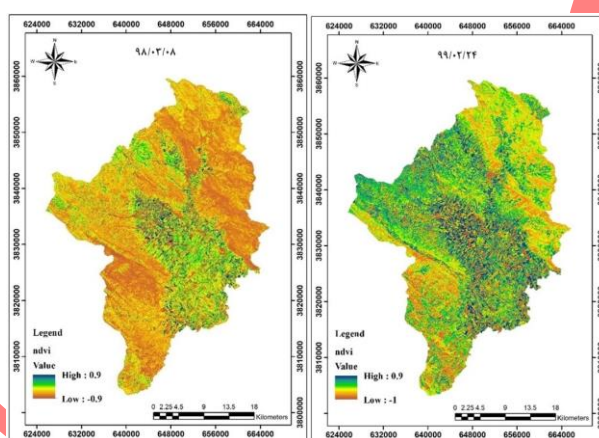
در مرحله بعد جهت برآورد رابطه بین رسوب و پوشش گیاهی در فصل دارای پوشش گیاهی (ماه‌های اردیبهشت و خرداد)

مرگ خرداد ماه برابر ۰/۱۱ و برای حوزه آبخیز گاماسیاب
اواخر اردیبهشت ماه برابر ۰/۳۱ بدست آمد.

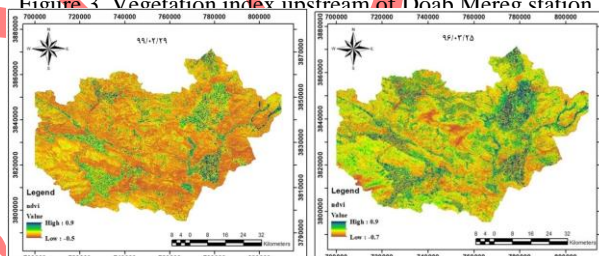
برای حوزه آبخیز گاماسیاب برابر ۰/۲۸ بدست آمد که نشان از
پوشش گیاهی نسبتاً تنک منطقه دارد. کمترین مقدار میانگین
پوشش گیاهی در فصل مورد بررسی (بهار) در حوزه آبخیز

جدول ۷- نتایج محاسبه مقادیر متوسط شاخص پوشش گیاهی در حوزه‌های آبخیز مرگ و گاماسیاب
Table 7. The results of calculating the average values of the vegetation cover index in the Qarasu and Gamasiyab watersheds

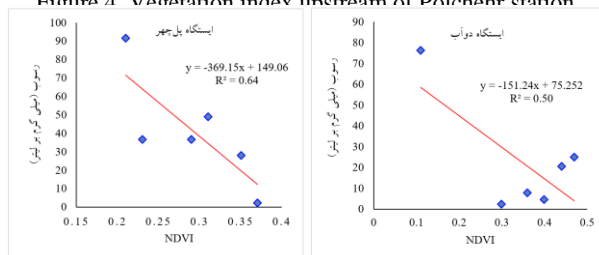
میانگین Ndvi Average Ndvi	رسوب Sediment	تاریخ Date	نام ایستگاه Station name
0.36	7.92	95.03.24	دوآب مرگ Doab mereg
0.44	20.506	96.02.19	
0.3	2.48	95.03.28	
0.11	76.453	98.03.08	
0.47	24.827	99.02.24	
0.4	4.735	99.03.13	پل چهر Polchehr
0.23	36.93	95.03.25	
0.31	48.947	96.02.27	
0.37	2.341	96.03.25	
0.29	36.93	98.03.30	
0.21	91.52	99.02.29	
0.35	28.013	99.03.17	



شکل ۳- شاخص پوشش گیاهی در بالادست ایستگاه دوآب مرگ
Figure 3. Vegetation index upstream of Doab Mereg station



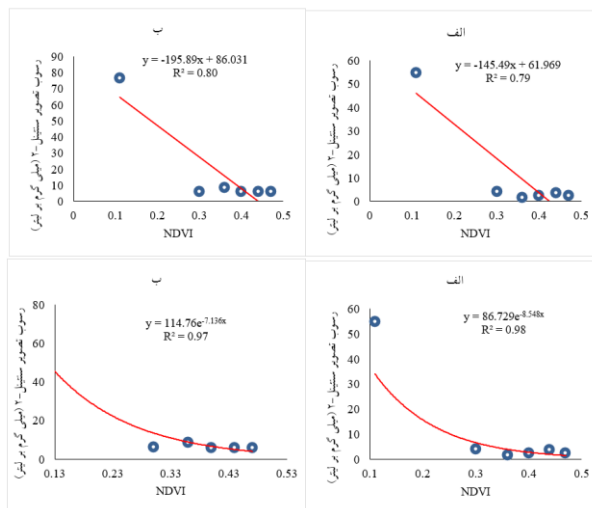
شکل ۴- شاخص پوشش گیاهی در بالادست ایستگاه پل چهر
Figure 4. Vegetation index upstream of Polchehr station



شکل ۵- برآورد رابطه رسوب ایستگاه و پوشش گیاهی در حوزه‌های آبخیز مرگ و گاماسیاب
Figure 5. Estimation of the relationship between station sediment and vegetation in Qarasu and Gamasiyab watersheds

هیدرومتری دو حوضه وجود دارد. وجود رابطه معکوس و
نزدیک بین متوسط اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده با
رسوب در مطالعات پیشین نیز به اثبات رسیده است.

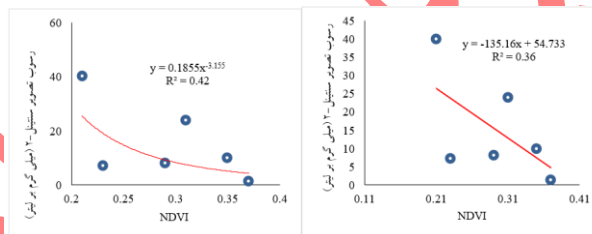
همانطور که نتایج آزمون رگرسیون در (شکل ۵) نشان
می‌دهد که رابطه قوی و معناداری بین تراکم پوشش گیاهی و
میزان غلظت رسوب معلق ثبت شده در ایستگاه‌های



شکل ۶- رابطه پوشش گیاهی و رسوب استخراج شده با استفاده تصاویر سنتینل-۲ ایستگاه دوآب در دو حالت رگرسیون خطی و نمایی
Figure 6. The relationship between vegetation cover and sediment extracted using Sentinel-2 images of Doab station in two modes of linear and exponential regression

برآورد شده با تصاویر برقرار شد همانطور در (شکل ۶) مشخص است در حالت نمایی نتایج بهتری نسبت مدل رگرسیون خطی بدست آمد.

در ادامه جهت بررسی رابطه پوشش گیاهی و رسوب استخراج شده از تصاویر سنتینل-۲ با استفاده از مدل‌های بهینه بدست آمده در مرحله قبل در دو حالت نمایی و چندجمله‌ای مقادیر رسوب بدست آمد و رابطه شاخص پوشش گیاهی و رسوب



شکل ۷- رابطه پوشش گیاهی و رسوب استخراج شده با استفاده تصاویر سنتینل-۲ ایستگاه پل چهر در دو حالت رگرسیون خطی و نمایی
Figure 7. The relationship between vegetation cover and sediment extracted using Sentinel-2 images of Polchehr station in two modes of linear and exponential regression

است. نتایج این مطالعه نشان داد که سنتینل-۲ می‌تواند به عنوان ابزار مناسبی برای تخمین غلظت رسوب معلق با دقت قابل قبولی در حوضه‌های کوچک مقیاس و شرایط سیلاب استفاده شود که در تعدادی از مطالعات مشابه تایید شده است (Marinho et al., 2021). بیندینگ و همکاران و اویلون و همکاران (2004)، چندین باند از محدوده مرئی و مادون قرمز نزدیک را به عنوان باندهای مناسب جهت برآورد رسوب معلق استفاده کرد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (Binding et al., 2005; Ouillon et al., 2004).

پژوهش حاضر به منظور تشخیص و تعیین اثرات پوشش گیاهی رسوب‌دهی حوزه‌های آبخیز مرگ و گاماسیاب به منظور رسیدن به مدل‌های برآورد منطقه‌ای انجام گرفت. نتایج آزمون‌های رگرسیون نشان می‌دهد که رابطه قوی و معناداری بین تراکم پوشش گیاهی و میزان رسوب‌دهی حوضه‌ها وجود دارد. وجود رابطه معکوس و نزدیک بین متوسط شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی با رسوب با نتایج بسیاری از پژوهش‌های پیشین (Du & Shi, 2013; Zhao et al., 2016; Li et al., 2020) همخوانی داشته و اشاره به تأثیر مثبت پوشش گیاهی بر حفاظت خاک و کاهش تولید و انتقال

نتیجه‌گیری کلی

پایش و ارزیابی کیفیت آب در رودخانه‌ها، مخازن سدها و دریاچه‌ها امری حیاتی و ضروری است. این مطالعه به دنبال دستیابی به دو هدف امکان برآورد رسوب معلق با استفاده از تصاویر سنتینل-۲ و برآورد شاخص پوشش گیاهی بررسی ارتباط این شاخص‌ها و مقدار رسوب ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری و استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای در منطقه مطالعاتی بود. در این راستا شاخص‌های طیفی مناسبی از تصاویر ماهواره سنتینل-۲ استخراج گردید و سپس ارتباط میان تصاویر ماهواره‌ای و پارامترهای زمینی رسوب معلق ذکر شده به صورت بهینه مدل‌سازی شد. در نهایت ۶ مدل برای منطقه مورد مطالعه استخراج شد که دارای ضرایب تعیین و مقادیر خطای قابل قبول و مناسب بودند. از میان مدل‌های بدست آمده مشخص شد که در حالت تک باند نتایج بهتری بدست آمد نسبت به حالتی که نسبت باندهای مورد استفاده قرار گرفته شد. بیشترین همبستگی در ایستگاه دوآب مرگ مربوط به باند های B4، B3، B2، B5 بوده است و برای ایستگاه پل چهر B4 و B5 می‌باشد. بالاترین ضریب تعیین بدست آمده برای دو ایستگاه به ترتیب ۰/۸۶ و ۰/۸۳ در حالت نمایی بوده

گیاهی به طرز موفقیت آمیزی برای ایجاد یک مدل آماری از تغییرات میزان رسوبدهی می‌تواند مورد استفاده واقع شود. این فاکتور از آن جهت اهمیت دارد که برخلاف سایر متغیرهای طبیعی، پویا بوده و قابل کنترل و مدیریت است.

رسوب در داخل حوزه‌های آبخیز دارد. در کل، نتایج نشان داد که پوشش گیاهی به طرز مؤثری در کمیت و کیفیت تغییرات مکانی میزان رسوبدهی حوضه‌ها مؤثر افتاده و شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی به‌عنوان نماینده پوشش

منابع

- Ambrose-Igho, G., Seyoum, W. M., Perry, W. L., & O'Reilly, C. M. (2021). Spatiotemporal analysis of water quality indicators in small lakes using Sentinel-2 satellite data: Lake Bloomington and Evergreen Lake, Central Illinois, USA. *Environmental Processes*, 8, 637-660.
- Asselman, N. E. (1999). Suspended sediment dynamics in a large drainage basin: the River Rhine. *Hydrological processes*, 13(10), 1437-1450.
- Binding, C. E., Bowers, D. G., & Mitchelson-Jacob, E. G. (2005). Estimating suspended sediment concentrations from ocean colour measurements in moderately turbid waters; the impact of variable particle scattering properties. *Remote sensing of Environment*, 94(3), 373-383.
- Du, J., & Shi, C. X. (2013). Modeling and analysis of effects of precipitation and vegetation coverage on runoff and sediment yield in Jinsha River Basin. *Water Science and Engineering*, 6(1), 44-58.
- Edwards, T.K., & Glysson, G.D. (2018). *Field Methods for Measurement of Fluvial Sediment*. Available online: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/ofr86531>.
- Fu, B. (1989). Soil erosion and its control in the Loess Plateau of China. *Soil Use and Management*, 5(2), 76-82.
- Grauso, S., Fattoruso, G., Crocetti, C., & Montanari, A. (2007). A spatially distributed analysis of erosion susceptibility and sediment yield in a river basin by means of geomorphic parameters and regression relationships. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 4(2), 627-654.
- Kabulizadeh, M., Rangzen, K., Rashidian, M., & Delfan, H. (2017). Estimation of the concentration of total dissolved solids and water turbidity of Karkheh and Dez dams and the Karun Boghor river using Sentinel-2 satellite images. *Journal of Advanced Applied Geology*, 8(4), 17-27. (In Persian).
- Li, P., Chen, S., Ji, H., Ke, Y., & Fu, Y. (2021). Combining Landsat-8 and Sentinel-2 to investigate seasonal changes of suspended particulate matter off the abandoned distributary mouths of Yellow River Delta. *Marine Geology*, 441, 106622.
- Long, C. M., & Pavelsky, T. M. (2013). Remote sensing of suspended sediment concentration and hydrologic connectivity in a complex wetland environment. *Remote Sensing of Environment*, 129, 197-209.
- Li, T., Dong, J., & Yuan, W. (2020). Effects of precipitation and vegetation cover on annual runoff and sediment yield in Northeast China: A preliminary analysis. *Water Resources*, 47, 491-505.
- Martinez, J. M., Maurice-Bourgoin, L., Moreira-Turcq, P., & Guyot, J. L. (2004). Use of MODIS and MERIS data for the water quality monitoring of Amazonian rivers and floodplain lakes. In LBA Third International Conference, Brasilia, Brazil.
- Marinho, R. R., Harmel, T., Martinez, J. M., & Filizola Junior, N. P. (2021). Spatiotemporal dynamics of suspended sediments in the negro river, amazon basin, from in situ and sentinel-2 remote sensing data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(2), 86.
- Maleki, A., Hesadi, H., Naderian, P., 2009. Site Selection of Artificial Recharge of Mereg Watershed Aquifer. *Geographical Research*. Vol 24(1), pp. 53-78. (In Persian)
- Ouillon, S., Douillet, P., & Andréfouët, S. (2004). Coupling satellite data with in situ measurements and numerical modeling to study fine suspended-sediment transport: a study for the lagoon of New Caledonia. *Coral Reefs*, 23, 109-122.
- Paulista, R. S. D., de Almeida, F. T., de Souza, A. P., Hoshide, A. K., de Abreu, D. C., da Silva Araujo, J. W., & Martim, C. C. (2023). Estimating Suspended Sediment Concentration Using Remote Sensing for the Teles Pires River, Brazil. *Sustainability*, 15(9), 7049.
- Ritchie, J. C., & Schiebe, F. R. (2000). Water quality. In *Remote sensing in hydrology and water management* (pp. 287-303). Springer, Berlin, Heidelberg
- Syvitski, J. P., Morehead, M. D., Bahr, D. B., & Mulder, T. (2000). Estimating fluvial sediment transport: the rating parameters. *Water resources research*, 36(9), 2747-2760.
- Wackerman, C., Hayden, A., Jonik, J., 2017. Deriving spatial and temporal context for point measurements of suspended sediment concentration using remote-sensing imagery in the Mekong Delta. *Cont. Shelf Res.* 147, 231-245.
- Xin, Z., Yu, X., & Lu, X. X. (2011). Factors controlling sediment yield in China's Loess Plateau. *Earth Surface Processes and Landforms*, 36(6), 816-826.
- Zhao, J., Vanmaercke, M., Chen, L., & Govers, G. (2016). Vegetation cover and topography rather than human disturbance control gully density and sediment production on the Chinese Loess Plateau. *Geomorphology*, 274, 92-105.
- Zhang, J., Zhou, Z., Yao, F., Yang, L., & Hao, C. (2014). Validating the modified perpendicular drought index in the North China region using in situ soil moisture measurement. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 12(3), 542-546.

"Research paper "

Investigating the Relationship Between the Suspended Sediment Concentration of Doab Mereg and Pol Chehr hydrometric Stations with Vegetation in the Upstream Areas Using Sentinel-2 MSI images

Parvizi¹, Seyed Zeynalabedin Hosseini², Ali Talebi³, Somayeh Talebi Esfandarani⁴, Sara Hadi Jalili⁵ and Reza Zakerinejad⁶

1- PhD Student in Watershed Science and Engineering, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran.

2- Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran, (Corresponding author: zhosseini@yazd.ac.ir)

3- Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran.

4- Assistant Professor, Iranian space research institute, Tehran, Iran.

5- Associate Professor, Iranian space research institute, Tehran, Iran

6- Assistant Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Geographical and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran

Received: 3 December, 2023

Accepted: 20 January, 2024

Extended Abstract

Introduction and Objective: It is necessary to know the spatial relationships between upstream vegetation and sedimentation in the basins for optimal control and management of water and soil resources. The present study was conducted with the aim of determining the relationship between vegetation cover and suspended sediment concentration in the two watersheds of Doab Mereg and Gamasiab.

Material and Methods: At first, in order to investigate the correlation between the spectral reflectance of the Sentinel-2 image bands and the sediment concentration, the suspended sediment concentration statistics of the Doab Mereg station, located in the Qarasu river, and the Polchehr station, located in the Gamasiab river, were used simultaneously in a five-year period (2016 to 2020). Next, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) for the two seasons of May and June was extracted using Sentinel-2 images, and the relationship between vegetation cover and suspended sediment concentration recorded at the station and extracted from the images was estimated separately.

Results: The results of the correlation analysis of suspended sediment concentration showed that the best result for the Doab station was related to band 4 ($R^2=0.86$), and for the Polchehr station, it was related to band 5 ($R^2=0.83$). The best values of the coefficient of determination (R^2) of the normalized vegetation cover difference index were obtained for the two Doab and Polchehr stations, 0.98 and 0.64, respectively, which indicates that the amount of sediment decreases with the increase in vegetation cover. The average values of the vegetation index for the Mart watershed are equal to 0.35, and for the Gamasiab watershed, it is equal to 0.28, which shows the relatively thin vegetation of the area. The lowest average value of vegetation cover in the studied season (spring) was found to be 0.11 in the Margh watershed in June and 0.21 in the Gamasiab watershed at the end of May.

Conclusion: The existence of an inverse and close relationship between the average vegetation index (NDVI) and sediment indicates the positive effect of vegetation on soil protection and reducing the production and transport of sediment within watersheds. In general, the results showed that vegetation has been effective in the quantity and quality of spatial changes in the sedimentation rate of the basins, and the NDVI vegetation index as a representative of vegetation can be successfully used to create a statistical model of the changes in the sedimentation rate. Additionally, revitalization of vegetation should be included in development plans.

Keywords: correlation relationship, NDVI, Remote Sensing, suspended sediment concentration, soil erosion