

پایش زمانی و مکانی رسوبات معلق حوضه سد دز با استفاده از سنجش از دور (مقاله پژوهشی)

- ۱- ملیحه پروانه، کارشناسی ارشد، گروه مرتع و آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی دانشگاه یزد، ایران.
- ۲- علی طالبی^{*}، استاد گروه مرتع و آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی دانشگاه یزد، ایران.
talebisf@yazd.ac.ir
- ۳- سید زین العابدین حسینی، دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی دانشگاه یزد، ایران.
- ۴- سارا پرویزی، دکتری حفاظت آب و خاک، دانشگاه یزد، ایران.
- ۵- سمیه طالبی اسفندارانی، استادیار، پژوهشگاه فضایی ایران.
- ۶- هادی جلیلی، دانشیار، پژوهشگاه فضایی ایران.

دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۰۹

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۸

چکیده

میزان رسوبات و مواد معلق همراه با آب‌های روان یکی از دغدغه‌های مهم در طراحی سازه‌های هیدرولیکی نظیر کانال‌ها، دریچه‌ها، توربین‌های سدها است. این موضوع از جنبه‌های دیگری نظیر حفظ کیفیت خاک در زمین‌های کشاورزی، مسائل محیط‌زیستی و بهره‌برداری از منابع آبی برای شرب و صنعت بسیار مهم است. در این میان، فناوری سنجش از دور به دلیل صرفه‌جویی در زمان و هزینه، و ارائه نتایج دقیق‌تر نسبت به روش‌های سنتی، به ابزاری کارآمد و محبوب برای مدیریت و ارزیابی منابع طبیعی تبدیل شده است. این پژوهش با هدف برآورد رسوبات معلق در حوزه سد دز از بالادست به سمت پایین دست، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای سری زمانی سنتینل-۲ در بازه ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۱ پرداخته شده است. به این منظور، شاخص SSC (Suspended sediment concentration) استخراج و نتایج حاصل با داده‌های ایستگاهی هیدرومتری واسنجی شد. نتایج نشان داد که بازتاب ماهواره‌ای و غلظت رسوبات معلق (SSC) به طول موج باند‌های تصویربرداری وابسته است. در بررسی ۱۲ باند تصاویر سنتینل، باند‌های ۴ و ۵ بیش‌ترین همبستگی را با غلظت رسوبات نشان دادند. طبق نتایج، بیش‌ترین دقت در خرداد ۲۰۲۰ با ضریب تعیین ۰/۸۹ و کم‌ترین دقت در خرداد ۲۰۲۱ با ضریب تعیین ۰/۶۹ مشاهده شده است. در سال ۲۰۱۵، ضریب تعیین برای فروردین ۰/۷۸ و برای خرداد ۰/۸۲ بدست آمد. همچنین، در سال ۲۰۱۷، دقت فروردین و خرداد به ترتیب ۰/۸۸ و ۰/۷۴ بوده است.

واژگان کلیدی: تصحیح اتمسفر، سنجش از راه دور، شاخص طیفی، فرسایش خاک، مدل سازی رسوبات معلق.

مقدمه

شناخته می‌شود. این پدیده باعث نگرانی جدی دولت‌ها و مقامات کشورهای مختلف شده است [۱۸]. استفاده از آب‌های سطحی از طریق احداث بندها و سدهای ذخیره‌ای، دولت‌ها را مجبور به سرمایه‌گذاری‌های کلان در این حوضه‌ها کرده است [۱]. لذا، بررسی و تخمین شدت فرسایش و میزان تولید رسوب به‌منظور نگهداری منابع آب و خاک در زیرحوضه‌های آبخیز احساس می‌شود، زیرا با برنامه‌ریزی دقیق می‌توان شدت فرسایش و تولید رسوب را تا حد قابل قبولی کاهش داد.

هر ساله، حجم زیادی از مواد جامد از سطح حوضه‌های آبخیز توسط جریان آب شسته شده و به مکان‌های مختلف منتقل می‌شود. به‌طوری که رودخانه‌های جهان بیش از ۲۰ میلیارد تن رسوب را در هر سال جابه‌جا کرده و در آب‌های ساکن ته‌نشین می‌کنند. در ایران نیز، سالانه حدود ۱۰۰ میلیون متر مکعب از ظرفیت سدهای مخزنی به دلیل رسوب‌گذاری کاهش می‌یابد. فرسایش و انتقال رسوب در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به‌عنوان یکی از چالش‌های اصلی و موانع پیشرفت اقتصادی جوامع انسانی

ظهیری و مولایی (۱۴۰۰) با استفاده از ترکیب تکنیک سنجش از دور و مدل درختی M5، به تخمین غلظت رسوبات معلق پرداخته و از تصاویر سنجنده مادیس (MODIS) و اطلاعات هیدرولوژیکی بهره بردند. نتایج تحلیل‌های آماری نشان داد که مدل M5 عملکرد بهتری نسبت به روش منحنی سنجه رسوب، که یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای تخمین بار رسوب معلق است، داشته است. شاخص کارایی نش-ساتکلیف برای مدل M5 برابر ۰/۵۸ به‌دست آمد، در حالی که این مقدار برای روش منحنی سنجه رسوب برابر با ۰/۲۴ محاسبه شد [۱۵]

پرویزی و همکاران (۱۴۰۲) در مطالعه‌ای قابلیت تصاویر سنتینل-۲ در برآورد غلظت رسوبات معلق رودخانه گاماسیاب استان کرمانشاه در یک دوره زمانی پنج ساله (۱۳۹۴ تا ۱۳۹۸) در محل ایستگاه پل چهار بررسی کردند. بدین منظور گستره‌ای از مقادیر مختلف رسوب در ۱۸ نمونه از غلظت ۰/۴۴ میلی‌گرم بر لیتر تا ۱۱۸/۸۶ میلی‌گرم بر لیتر استفاده شد. نتایج نشان داد که همبستگی بالایی بین غلظت رسوب به‌دست آمده و بازتابش سطحی در باند ۴ و ۵ ماهواره سنتینل-۲ وجود دارد. در نهایت، نوع الگوریتم حاکم بر غلظت رسوب معلق تعیین شد. بهترین الگوریتم برای باند ۴ و ۵ و نسبت این دو باند به‌دست آمد [۱۱].

پرویزی و همکاران (۱۴۰۲) در تحقیقی، به‌منظور بررسی امکان تخمین غلظت رسوبات معلق رودخانه‌ای با استفاده از انعکاسات تصاویر ماهواره‌ای، همبستگی میان بازتاب طیفی باندهای تصاویر سنتینل-۲ و غلظت رسوبات معلق رودخانه کشکان در محل ایستگاه هیدرومتری پل دختر برای یک دوره زمانی ۵ ساله (۱۳۹۵ تا ۱۳۹۹) مورد بررسی قرار دادند. در این رابطه مدل آماری (رگرسیون خطی و غیر خطی) بررسی شد. ارزیابی مدل‌های رگرسیونی نشان داد که مدل نمایی با ضریب تعیین ۰/۹۶ و ریشه مربع خطا ۴۸/۱۵ میلی گرم بر لیتر کارایی بیش‌تری در مقایسه با مدل‌های دیگر داشته است. نتایج تحقیق نشان داد که از تصاویر سنتینل ۲ می‌توان، در تخمین و پایش غلظت رسوبات معلق روزانه رودخانه‌های با عرض کم نیز استفاده نمود [۱۳].

در سال‌های اخیر، پژوهش‌های متعددی برای برآورد غلظت رسوبات معلق با بهره‌گیری از تکنیک‌های پیشرفته سنجش از دور انجام شده است. در ادامه، به چند نمونه از این تحقیقات اشاره شده است.

ملایی و همکاران (۱۳۹۶) با ترکیب داده‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و مدل شبکه عصبی، همچنین سیستم استنتاجی فازی-عصبی، به برآورد غلظت بار معلق رودخانه کارون در یک دوره زمانی مرطوب در دو ایستگاه ملاثانی و اهواز پرداختند. نتایج حاصل از برآورد غلظت رسوبات معلق، با نتایج منحنی سنجه رسوب مقایسه گردید. نتایج نشان داد که تطابق بالایی در حدود ۸۸ و ۹۴ درصد بین نتایج سنجش از دور و منحنی سنجه نشان داد [۸].

هادیان و همکاران (۱۳۹۷) به برآورد غلظت رسوبات معلق در سطح آب مخزن سد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در سد ارداک مشهد پرداختند. نتایج نشان داد که بازتابندگی باند ۵ لندست با مرکزیت ۸۶۴ نانومتر (R862) و باند ۲ با مرکزیت ۴۸۲/۵ نانومتر (R482.5) به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین حساسیت را به مقدار رسوبات نشان دادند. آماره RMSE آن برای حداکثر غلظت محتمل رسوب برابر ۱/۵۷ و آماره R^2 برابر با ۰/۹۱ به‌دست آمد. ارزیابی نتایج این مطالعه نشان داد که مدل ارائه شده جهت برآورد رسوبات معلق در آب، عملکرد خوبی را نشان می‌دهد [۵].

کابلی‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) 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 به‌وسیله ماهواره سنتینل-۲ پرداختند. برای ارزیابی دقت مدل‌سازی‌های انجام شده شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطا و خطای نسبی استفاده شد و مقادیر هرکدام از آن‌ها برای مدل‌سازی میان تصاویر ماهواره‌ای و پارامتر کل مواد جامد محلول به‌ترتیب برابر با ۱۰۵/۸۴ (ppm) و ۰/۰۸۸ و برای مدل‌سازی میان تصاویر ماهواره‌ای و پارامتر گل‌آلودگی برابر ۳/۱ و ۰/۱۱۰ به‌دست آمد. در نهایت نقشه پراکندگی متغیرهای کیفیت آب برای سدهای کرخه و دز و رودخانه کارون بزرگ در مقطع ملاثانی تا ایستگاه هیدرومتری فارسیات تهیه شد [۶].

رودخانه‌های عریض انجام داده‌اند و تا به حال در رودخانه‌های کم‌عرض غلظت رسوب معلق برآورد نشده است که نوآوری این مطالعه است و می‌توان از نتایج این مطالعه برای بازسازی و تکمیل داده‌های رسوب ایستگاه‌های دارای آمار ناقص یا فاقد آمار بهره گرفت.

با توجه به شرایط رودخانه‌های ایران که عموماً فصلی، کم‌عرض و کم‌عمق هستند، لذا نیاز است که از تصاویر ماهواره‌هایی با دقت بالاتر نظیر سنتینل-۲ که هر پیکسل آن دارای ابعاد ۱۰ متر است استفاده نمود که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت. در این مقاله، به برآورد رسوب معلق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ در رودخانه دز با عرض کم پرداخته شده است. سپس نتایج برآورد رسوب معلق با استفاده از سنتینل-۲ با داده‌های موجود در ایستگاه هیدرومتری منطقه مقایسه شده و دقت و صحت این روش بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

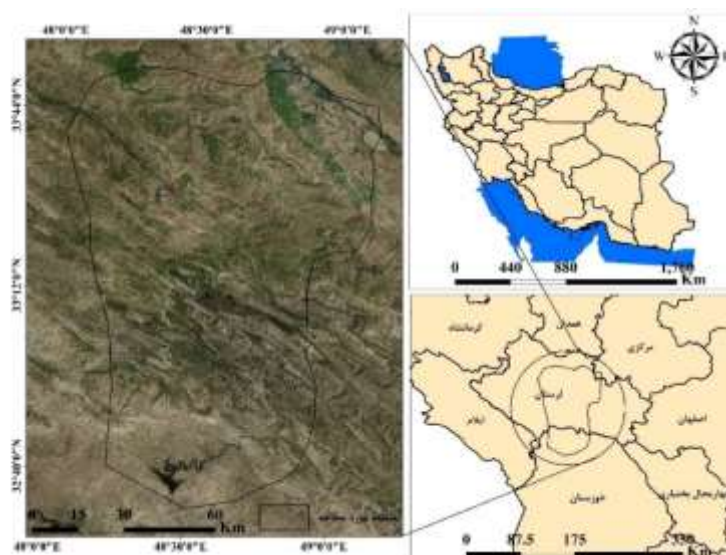
حوضه آبریز دز از لحاظ موقعیت جغرافیایی بین ۴۸ درجه و ۱ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۷ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۵۲ دقیقه عرض شمالی محدود است. مساحت کل حوضه بالغ بر ۱۰۶۴۵ کیلومتر مربع و طول محیط آن ۴۳۵ کیلومتر می‌باشد و با حوضه‌های کارون ۲۱۵ کیلومتر و کرخه ۴۰۰ کیلومتر و خمین ۷۵ کیلومتر و گلیپایگان ۱۲۰ کیلومتر و زاینده‌رود ۹۰ کیلومتر مرز مشترک دارد. ارتفاع حوضه بین حداکثر ۳۴۲۳ متر و حداقل ۱۹۱ متر متغیر می‌باشد. متوسط ارتفاع حوضه ۱۶۷۶ متر و با ارتفاع فراوانی حداکثر ۱۸۲۹ متر می‌باشد، تغییرات مقدار بارندگی بر حسب ارتفاع در نقاط مختلف حوضه ۲۰۰ تا ۹۴۸ میلی‌متر و میزان تبخیر در حوضه در بر حسب، ارتفاع نوسانی بین ۱۵۰۰ تا ۴۳۰۰ میلی‌متر در سال می‌باشد. شکل ۱ موقعیت عمومی حوزه آبخیز گاماسیاب را نشان می‌دهد.

پرویزی و همکاران (۱۴۰۳) به بررسی رابطه غلظت رسوب معلق ایستگاه‌های هیدرومتری دواب مرگ و پل چهر با پوشش گیاهی در مناطق بالادست با استفاده از تصاویر Sentinel-2 MSI پرداختند. نتایج تحلیل همبستگی غلظت رسوب معلق نشان داد که بهترین نتیجه برای ایستگاه دواب 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 دواب 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 [۱۲].

مایکل و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از تصاویر لندسی-۸ و سنتینل-۲ به بازیابی کل رسوبات معلق (TSS) و مواد معدنی (TSI) در یک سری دریاچه در دشت سیلابی آمازون پرداختند. فرآیند کالیبراسیون توسط الگوریتم‌های تجربی و براساس شبیه سازی مونت کارلو انجام شد. نتایج نشان داد که الگوریتم‌های مورد استفاده نتایج خوب و قابل قبولی در تخمین مقادیر رسوب دارند [۹].

ژانگ و همکاران (۲۰۲۲) به برآورد غلظت رسوب معلق در جریان اصلی یانگ تسه براساس داده‌های Sentinel-2 MSI برای سال ۲۰۲۱-۲۰۱۷ پرداختند. آنها براساس شاخص Forel-Ule آب را به دو طبقه شفاف و کدر طبقه‌بندی کردند و مدل‌های SSC بهینه براساس پاسخ‌های طیفی به غلظت رسوب معلق در موارد کدورت مختلف ساخته شدند. نتایج نشان داد که رسوب معلق برآورد شده با مقادیر اندازه‌گیری شده مطابقت داشت و میانگین مربعات خطای (RMSE) برابر با ۲۴.۸۷ میلی‌گرم در لیتر و میانگین خطای نسبی (MRE) برابر با ۵۱.۹۱ و مقدار $r^2 > 0.79$ بدست آمد که نشان‌دهنده سازگاری خوب SSC^1 بدست آمده از تصاویر ماهواره‌ای و مقادیر SSC اندازه‌گیری در ایستگاه است [۱۶]. با جمع‌بندی و مقایسه تحقیقات انجام شده مشخص شد که برخی از آن‌ها تمام مراحل کار را در شرایط آزمایشگاهی انجام داده و برخی دیگر مراحل تحقیق را به صورت میدانی و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در آب‌های عمیق و

¹ Suspended sediment concentration



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

داده‌های مورد استفاده

الف- داده‌های ماهواره‌ای: داده‌های ماهواره‌ای استفاده‌شده در این تحقیق مربوط به تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ است. این داده‌ها که از ماهواره‌های سنتینل ۲ به‌دست می‌آیند، ماهواره سنتینل ۲ دارای دو ماهواره یکسان به نام‌های sentinel 2a و sentinel 2b در جهت مخالف در مدار قرار دارند سنجنده MSI این ماهواره

تصاویر با تفکیک مکانی ۱۰ تا ۶۰ متر در ۱۳ باند طیفی مختلف ارائه می‌دهد. سنتینل ۲ همچنین عرض پوشش ۲۹۰ کیلومتر و توان تفکیک زمانی ۵ روزه دارد. در این مطالعه، تصحیحات رادیومتریک بر روی تصاویر اعمال شده و مقادیر تصویری بازتاب سطح زمین بدون تاثیر جوّی محاسبه گردید. در جدول ۱ تصاویر سنتینل ۲ مورد استفاده این تحقیق را نشان می‌دهد.

جدول ۱- نوع تصاویر و زمان مورد استفاده این تحقیق

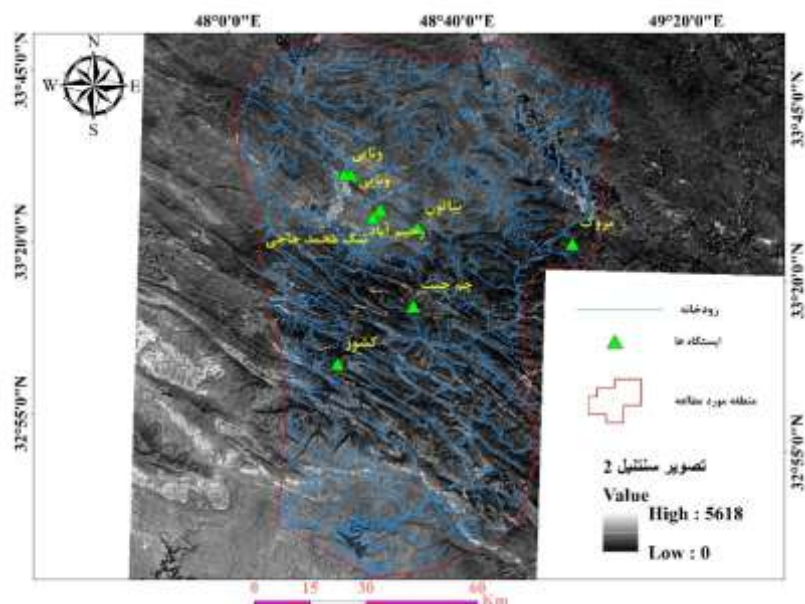
نوع ماهواره	سال	ماه تصویر برداری	روز تصویر برداری
sentinel 2a	۲۰۱۵	فروردین	۱۶
sentinel 2a	۲۰۱۵	خرداد	۲۰
sentinel 2a	۲۰۱۶	فروردین	۱۷
sentinel 2a	۲۰۱۶	خرداد	۱۹
sentinel 2a	۲۰۱۷	فروردین	۱۵
sentinel 2a	۲۰۱۷	خرداد	۲۰
sentinel 2a	۲۰۱۸	فروردین	۱۸
sentinel 2a	۲۰۱۸	خرداد	۲۲
sentinel 2a	۲۰۱۹	فروردین	۱۳
sentinel 2a	۲۰۱۹	خرداد	۱۵
sentinel 2a	۲۰۲۰	فروردین	۱۴
sentinel 2a	۲۰۲۰	خرداد	۱۶
sentinel 2a	۲۰۲۱	فروردین	۱۴
sentinel 2a	۲۰۲۱	خرداد	۱۷

و مناسب بودن عرض رودخانه جهت استخراج داده‌های رسوب و استفاده از تصاویر مناسب و منطبق با داده‌های زمینی در این تحقیق از ۸ ایستگاه استفاده شده است که در شکل ۲ و جدول ۲ مشخصات و موقعیت آنها مشخص شده است.

ب- داده‌های زمینی: داده‌های روزانه مورد استفاده از سال ۲۰۱۵ تا سال ۲۰۲۱ به مدت ۷ سال و به تعداد ۱۴ تصویر که منطبق با زمان نمونه‌برداری آب بوده استفاده شده است. در حوزه آبخیز سد دز ۱۴ ایستگاه وجود دارد ولی با توجه به وجود ابر در برخی تصاویر و کمبود داده‌های زمینی که به صورت همزمان با تصاویر ماهواره‌ای در دسترس نبودند. همچنین در نظر گرفتن طول دوره آماری

جدول ۲- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	نام رودخانه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	مساحت حوزه Km^2	طول رودخانه Km	ارتفاع
۱	ونایی	سرآب سفید	۳۳°۵۴'۵۱"	۴۸°۳۵'۵۷"	۶۴/۴	۱۳	۲۰۹۸
۲	ونایی	گله رود	۳۳°۵۴'۰۸"	۴۸°۳۶'۲۴"	۶۰/۴	۱۱	۲۰۴۲
۳	رحیم‌آباد	سیلاخور	۳۳°۴۶'۴۴"	۴۸°۴۷'۵۲"	۱۰۰۰	۱۵	۱۹۴۱
۴	تنگ محمد حاجی	آبسرده	۳۳°۴۴'۱۴"	۴۸°۴۵'۱۶"	۲۲۳	۳۵	۱۸۲۱
۵	بیاتون	بیاتون	۳۳°۴۲'۲۵"	۴۸°۵۸'۵۵"	۱۲۰	۵۵	۱۹۱۲
۶	مروک	تیره	۳۳°۴۰'۳۰"	۴۹°۰۳'۳۰"	۹۶	۵/۲۲	۲۰۷۶
۷	چم چیت	آب سبزه	۳۳°۲۳'۱۰"	۴۸°۵۸'۲۹"	۳۴۵	۵۳	۲۰۲۰
۸	کشور	سرخاب	۳۳°۰۸'۱۵"	۴۸°۳۷'۵۶"	۳۳۶	۲۸	۲۲۵۰



شکل ۲ - موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری مطالعاتی حوزه آبخیز

Sentinel-2 Level 2A است. این ابزار برای داده‌های ورودی تصحیح اتمسفری انجام می‌دهد. Sen2Cor تصاویر بازتاب تصحیح شده زمین و اتمسفر را ایجاد می‌کند. علاوه بر این، ضخامت نوری آئروسول، بخار آب، نقشه‌های طبقه‌بندی منطقه و شاخص‌های کیفیت برای ابر

پردازش و تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای
در این تحقیق از تصاویر Sentinel-2 - S2A_MSIL1C استفاده شد و انجام تصحیحات بر روی تصاویر در محیط نرم‌افزار اسنپ و پردازنده Sen2Cor انجام شد. Sen2Cor یک پردازنده برای تولید و قالب‌بندی محصول

داده‌های زمینی رابطه برقرار شد و سپس باندی که بیش‌ترین میزان دقت را داشت استفاده شده‌است.

نتایج

در این پژوهش جهت بررسی رسوبات معلق، همبستگی بین باندهای تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاهی برای هر سال بدست آمد. نتایج نشان‌دهنده رابطه‌ای قوی و معنادار بین باندهای تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاهی بود. همچنین نتایج حاکی از آن بود که بیش‌ترین ضریب تعیین و همبستگی در باندهای ۴ و ۵ تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ مشاهده شد. و کم‌ترین همبستگی مربوط به باندهای ۹، ۶ و ۱۰ این تصاویر بود. در بررسی دقت نتایج، بالاترین مقدار ضریب تعیین در فروردین ۲۰۱۶ با میزان ۰/۹۸ به‌دست آمد. باتوجه به نتایج بدست آمده به‌منظور برآورد رسوبات معلق، از باندهای ۴ و ۵ که دارای بیش‌ترین همبستگی بودند استفاده شد.

ارزیابی مدل

به‌منظور ارزیابی مدل‌های برآورد شده از ضریب تعیین و ریشه میانگین مربعات خطا استفاده شد که در روابط ۲ و ۳ ذکر شده است. ضریب تعیین^۱ میزان ارتباط خطی بین دو متغیر را اندازه‌گیری می‌کند. R^2 نسبت تغییرات متغیر وابسته را که می‌توان به متغیر مستقل نسبت داد اندازه‌گیری می‌کند. در تعاریف موجود به R^2 ، ضریب تعیین یا ضریب تشخیص نیز گفته می‌شود. به بیان ساده می‌توان گفت ضریب تعیین نشان می‌دهد که چند درصد تغییرات متغیرهای وابسته در یک مدل رگرسیونی با متغیر مستقل تبیین می‌شود. مقدار آن بین ۰ و ۱ است، که در آن ۱ نشان‌دهنده برازش کامل مدل و ۰ نشان‌دهنده عدم توانایی مدل در توضیح داده‌ها است. در معادلات، A_t به غلظت رسوب معلق اندازه‌گیری شده، F_t به غلظت رسوب معلق محاسبه شده و N به اندازه نمونه اشاره دارد.

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

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

و برف را نیز تصحیح می‌کند. فرمت محصول خروجی آن معادل سطح محصول کاربر سطح MSIL2A است.

Sen2Cor یک الگوریتم پردازش تصویر است که به طور خاص برای تصحیح اتمسفری و رادیومتریک داده‌های Sentinel-2 طراحی شده است. این الگوریتم به صورت زیر عمل می‌کند: ۱- مدل‌سازی اتمسفر : Sen2Cor از مدل‌های فیزیکی برای شبیه‌سازی شرایط اتمسفری استفاده می‌کند. این مدل‌ها شامل اطلاعات مربوط به زاویه تابش، وضعیت جوی (مانند رطوبت، غبار و غیره) و ویژگی‌های زمین هستند. ۲- تصحیح اثرات جوی: با استفاده از اطلاعات مربوط به وضعیت جوی و مدل‌های پراکندگی، Sen2Cor اثرات جوی را بر روی سیگنال‌های دریافتی محاسبه کرده و آن‌ها را اصلاح می‌کند. ۳- محاسبه بازتاب سطحی: پس از انجام تصحیحات اتمسفری، الگوریتم بازتاب سطحی (Surface Reflectance) را محاسبه می‌کند. این مقدار نشان‌دهنده میزان نوری است که از سطح زمین بازتابیده می‌شود و برای تحلیل‌های مختلف مانند پایش پوشش گیاهی، مدیریت منابع آب و بررسی تغییرات محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

برآورد مواد معلق با استفاده از تصاویر سنتینل ۲

طیف گسترده‌ای از روش‌ها در حال حاضر برای ارتباط داده‌های رادیومتری با SSC در دسترس هستند، مانند استفاده از باند واحد نسبت باند، روش‌های نیمه تحلیلی، یادگیری ماشین و شبکه‌های عصبی مصنوعی. مطالعات قبلی نشان می‌دهد که مدل‌های تجربی که SSC را به عنوان تابعی از R_{rs} در باندهای مرئی و فروسرخ نزدیک (VNIR) تخمین می‌زنند در رگرسیون‌های خطی تنظیم شده تک باند و باندهای NIR و قرمز عملکرد خوبی دارند. در این مطالعه، از رابطه (۱) برای برآورد مواد معلق استفاده شده است.

$$SSC = a \times B1 \dots B12 - b \quad (1)$$

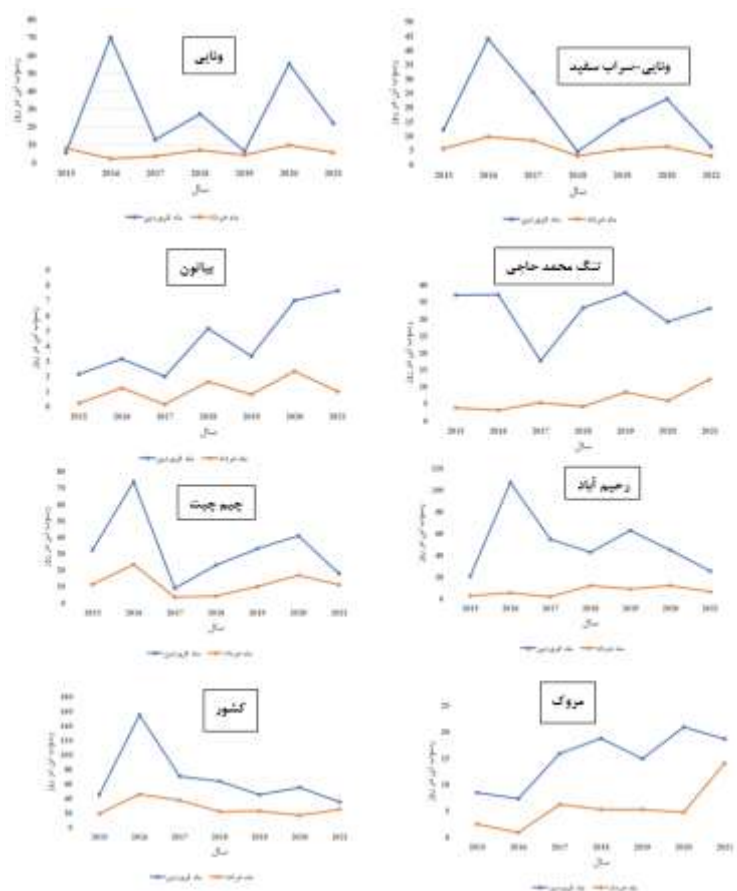
در رابطه بالا a ، b رابطه شیب خط هستند که از معادله رابطه بین مواد معلق ایستگاهی و انعکاس باند مورد نظر به دست می‌آید. $B1, \dots, B12$ نیز باند ۱ تا ۱۲ تصاویر ماهواره سنتینل ۲ می‌باشد. در این تحقیق برای استفاده بهینه از باند مورد نظر در رابطه ابتدا باندهای مورد نظر با

¹ R-squared correlation

بررسی مواد معلق ایستگاه‌های هیدرومتری

در شکل (۳) مواد رسوبات معلق ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه نشان داده شده است. داده برداری این ایستگاه‌ها همسان با تصاویر سنجش از دوری سنتینل ۲ بوده است. بررسی‌ها نشان داد که در ایستگاه ونایی در سری زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۱ در فروردین ماه حداقل ۵ تن در روز و حداکثر ۷۰ تن در روز می‌باشد. در سری زمانی ایستگاه ونایی بیشترین مقدار در سال ۲۰۱۶ و کمترین مقدار در سال ۲۰۱۵ بود. در خرداد ماه از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۱ دارای یک حد نرمال بین ۲ تا ۱۰ تن در روز می‌باشد. در ایستگاه ونایی-سراب سفید در فروردین ماه از بیشترین مقدار در سال ۲۰۱۶ با ۴۵ تن در روز و کمترین مقدار سال ۲۰۱۸ با ۴ تن در روز ثبت شده است. همچنین در این ایستگاه در خرداد ماه کمترین مقدار در سال ۲۰۱۸ و ۲۰۲۱ با ۳ تن در روز و بیشترین مقدار با ۱۰ تن در روز سال ۲۰۱۶ می‌باشد. در ایستگاه بیاتون در سری زمانی مورد مطالعه در فروردین ماه کمترین مقدار ۲ تن در روز سال ۲۰۱۵ و ۲۰۱۷ و بیشترین مقدار ۷ تن

در روز در سال ۲۰۲۱ است. در خرداد ماه نیز حداقل و حداکثر رسوبات معلق بین ۰.۴ تا ۲.۵ تن در روز می‌باشد. در ایستگاه هیدرومتری تنگ محمدحاجی حداکثر و حداقل در فروردین ماه سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۱ بین ۳۷ تا ۳۴ تن در روز بوده است. در ایستگاه چیم چیت در فروردین ماه سال ۲۰۱۷ با ۱۰ تن در روز و بیشترین مقدار در سال ۲۰۱۶ با ۷۵ تن در روز بوده است. در خرداد ماه نیز کمترین مقدار سال ۲۰۱۷ با ۴ تن در روز و بیشترین مقدار سال ۲۰۱۶ با ۲۴ تن در روز می‌باشد. بالا یک بررسی اجمالی از ایستگاه‌های مورد مطالعه بیان شد در کل این نتایج حاکی از آن است که کمترین مقدار رسوب در ایستگاه بیاتون بیشترین مقدار رسوب در ایستگاه کشور و رحیم آباد بوده است. همچنین با توجه به کل نتایج سال ۲۰۱۶ بیشترین میزان رسوب را داشته است. در بررسی رسوب در خرداد و فروردین ماه، فروردین ماه دارای رسوب بسیار بیشتری نسبت به خرداد ماه بوده است.

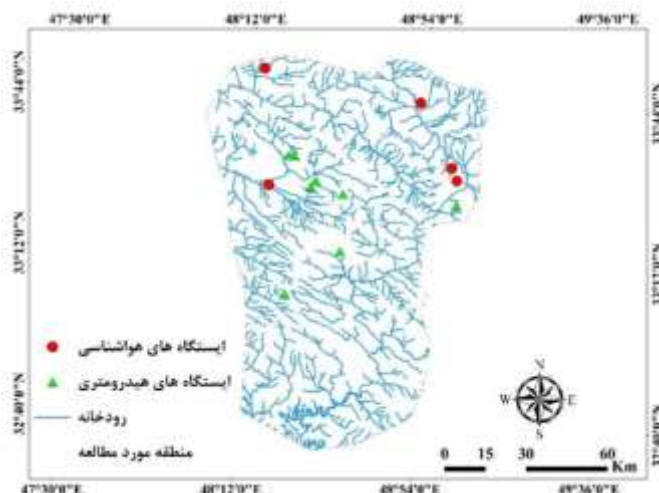


شکل ۳ - سری زمانی مواد معلق ایستگاه‌های هیدرومتری در ماه فروردین و خرداد

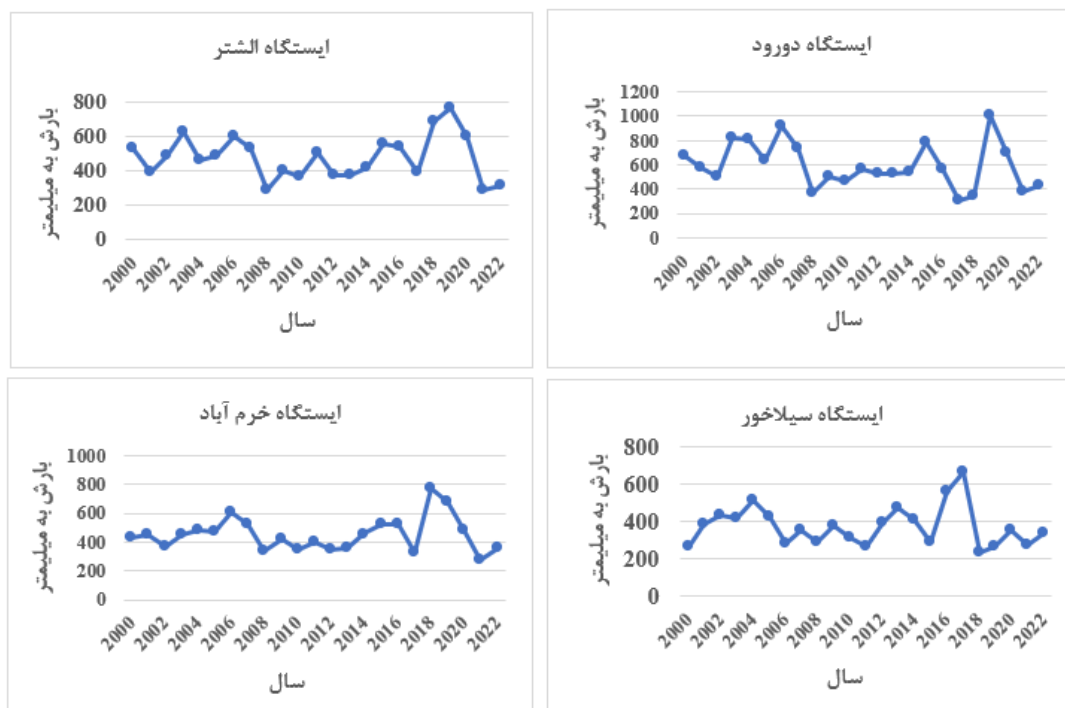
بررسی بارش ایستگاه‌های سینوپتیک

در شکل ۴ پراکنش مکانی ایستگاه‌های هواشناسی و در شکل ۵ میزان بارندگی آنها به صورت نمودار به نمایش گذاشته شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در سری

زمانی مورد مطالعه ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۰ رخ داده است. در بارش ایستگاهی نیز ایستگاه سینوپتیک درود بیشترین میزان بارش رخ داده است. همچنین ایستگاه سیلاخور نیز کمترین میزان بارش را داشته است.



شکل ۴- ایستگاه‌های هواشناسی منطقه



شکل ۵- سری زمانی بارش از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ در ایستگاه‌های سینوپتیک

بررسی رابطه بین مواد معلق و دبی

بررسی میزان دبی رودخانه و رسوبات معلق رودخانه در جدول ۲ نشان داده شده است در کل بین رسوب و دبی رابطه بسیار بالا و قوی وجود دارد. در این نتایج بیشترین میزان دقت در ایستگاه بیاتون با ۰/۹۶ در فروردین ماه و ۰/۹۲ در خرداد ماه

می‌باشد. همچنین کمترین میزان رابطه ایستگاه ونایی با ۰/۶۱ در فروردین ماه و ۰/۵۲ در خرداد ماه می‌باشد. در کل این نتایج نشان داد که فروردین ماه دارای رابطه قوی‌تری با میزان رسوب بوده است. شایان ذکر است که بارش‌های بهاری و ذوب برف که باعث افزایش دبی در ابتدای بهار می‌شود خود باعث

افزایش غلظت رسوب شده و با توجه به تغییرات غلظت رسوب همبستگی بالاتری را نشان داده است. در فاصله زمانی کم، در تصاویر هم این تغییرات غلظت رسوب،

جدول ۳- میزان ضریب تعیین مواد معلق ایستگاه‌های هیدرومتری در ماه فروردین و خرداد با میزان دبی سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۱

ایستگاه هیدرومتری	سال	ماه	میزان ضریب تعیین R^2
ونایی- سراب سفید	سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۱	فروردین	۰/۹۳
		خرداد	۰/۷۶
ونایی	سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۱	فروردین	۰/۶۱
		خرداد	۰/۵۲
بیاتون	سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۱	فروردین	۰/۹۶
		خرداد	۰/۹۶
تنگ محمد حاجی	سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۱	فروردین	۰/۷۱
		خرداد	۰/۸۷
چیم‌چیت	سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۱	فروردین	۰/۹۳
		خرداد	۰/۹۰
رحیم‌آباد	سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۱	فروردین	۰/۷۸
		خرداد	۰/۸۰
کشور	سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۱	فروردین	۰/۹۵
		خرداد	۰/۹۳
مروک	سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۱	فروردین	۰/۸۴
		خرداد	۰/۸۰

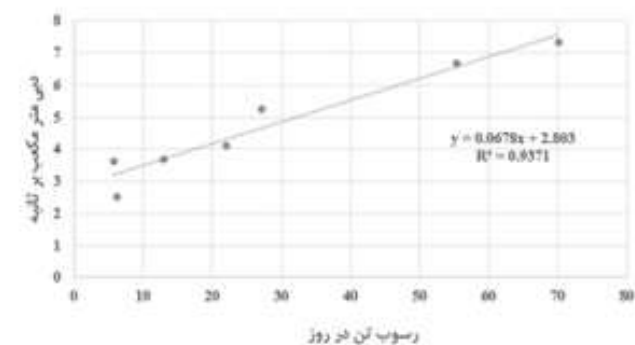
به‌دست آوردن مواد معلق با استفاده از تصاویر

سنتینل ۲

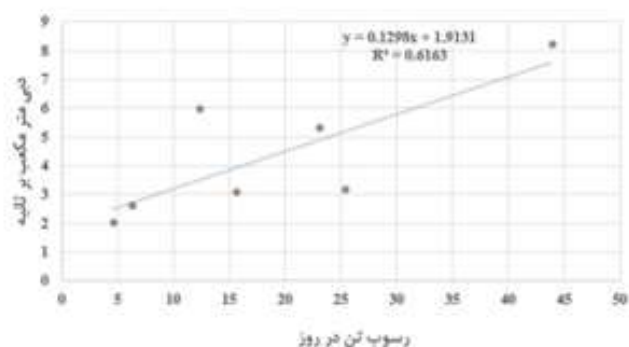
در ایستگاه ونایی-سراب سفید، میزان رسوبات معلق در خرداد ۲۰۱۵ بین ۰/۲ تا ۷ متغیر بوده است. در مسیر رودخانه، نقاطی با تمرکز بیشتر مواد معلق قابل‌مشاهده است. در فروردین همان سال، مقدار رسوبات معلق در این ایستگاه به بازه ۵ تا ۲۰ افزایش یافته است. این تفاوت به بارش‌های بیشتر و طغیان رودخانه در فروردین ماه نسبت به خرداد مرتبط است که به افزایش مواد معلق در این بازه زمانی منجر شده است. در سال ۲۰۲۱، در همین ایستگاه، مقدار رسوبات معلق در فروردین ماه بین ۰/۵ تا ۱۰ و در خرداد بین ۱ تا ۷ گزارش شده است. کاهش محسوس رسوبات معلق در فروردین ۲۰۲۱ نسبت به سال ۲۰۱۵ به دلیل کاهش بارش‌ها در این دوره رخ داده است. در

ایستگاه هیدرومتری رحیم‌آباد، در فروردین ۲۰۱۵، میزان رسوبات معلق براساس تصاویر ماهواره‌ای در بازه ۱۲ تا ۲۵ قرار داشته که نسبت به ایستگاه ونایی-سراب سفید، مقادیر بیشتری را نشان می‌دهد. در خرداد همان سال، مقدار رسوبات معلق در این ایستگاه بین ۰/۴ تا ۵ ثبت شده است. در فروردین ۲۰۲۱، میزان رسوبات معلق در ایستگاه رحیم‌آباد به ۱۸ تا ۲۸ افزایش یافته است که در مقایسه با سال ۲۰۱۵ رشد قابل‌توجهی را نشان می‌دهد. این افزایش می‌تواند به تغییرات اقلیمی و به دنبال آن، افزایش شدت بارش‌ها باشد که باید جدا مورد بررسی قرار گیرد.

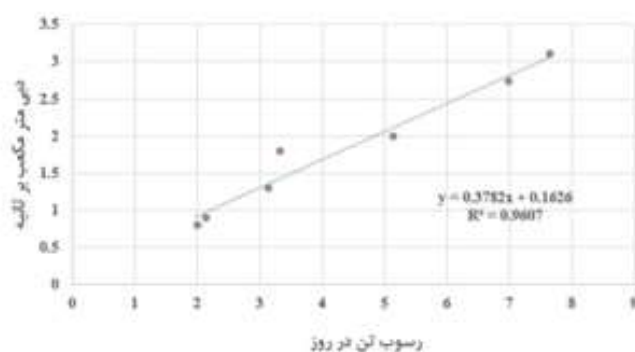
همانطور که براساس اشکال (۵) و (۶) مشخص شده است رابطه دبی و رسوب به‌صورت مستقیم می‌باشد که با افزایش مقادیر دبی مقادیر متناظر رسوب نیز افزایش می‌یابد که رابطه مستقیمی با مقادیر بارش در منطقه دارد.



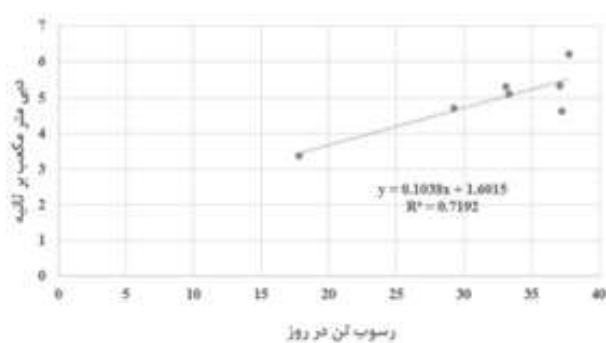
(ونایی - سراب سفید)



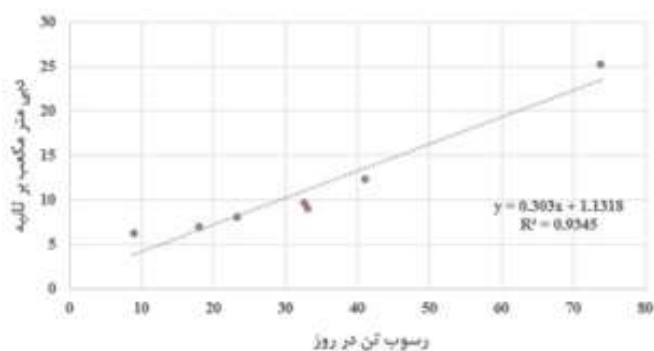
(ونایی)



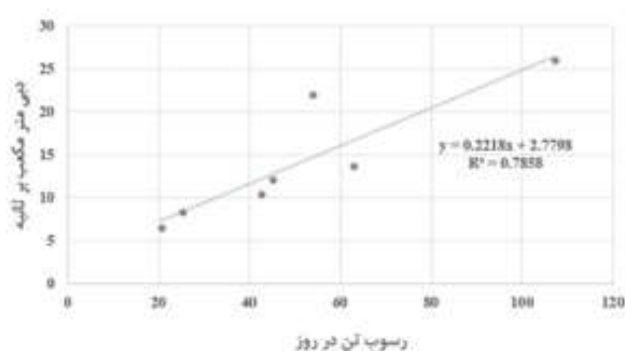
(بیانون)



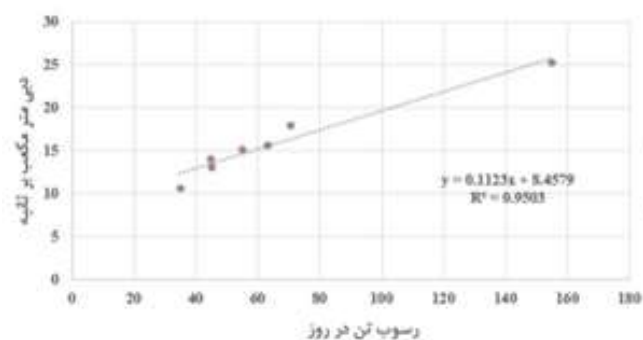
(تنگ محمد حاجی)



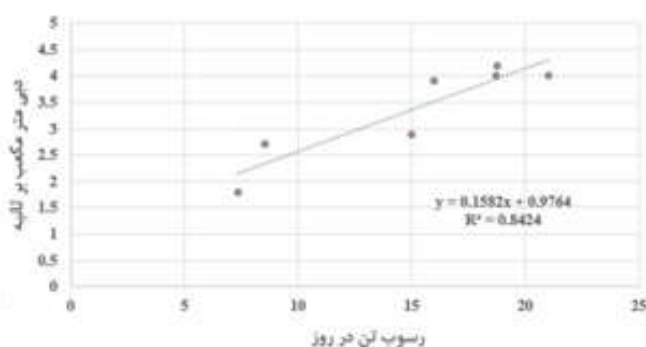
(چیمچیت)



(رحیم آباد)

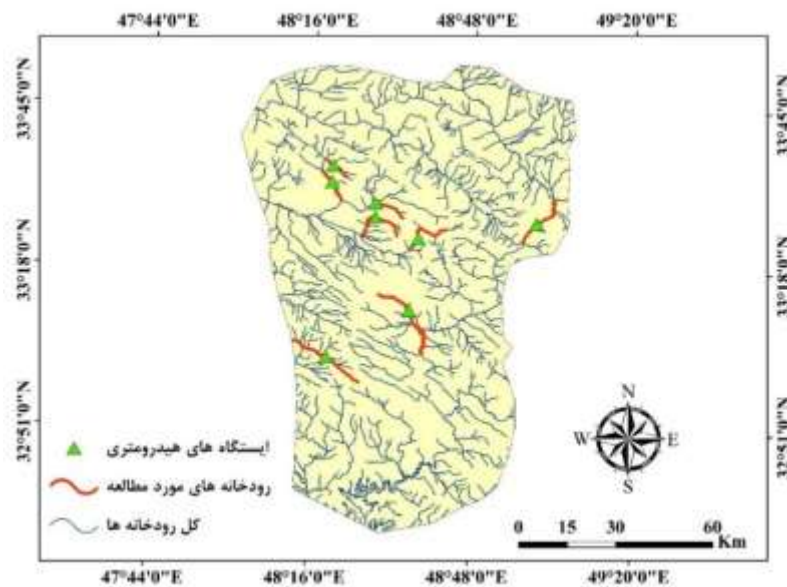


(کشور)

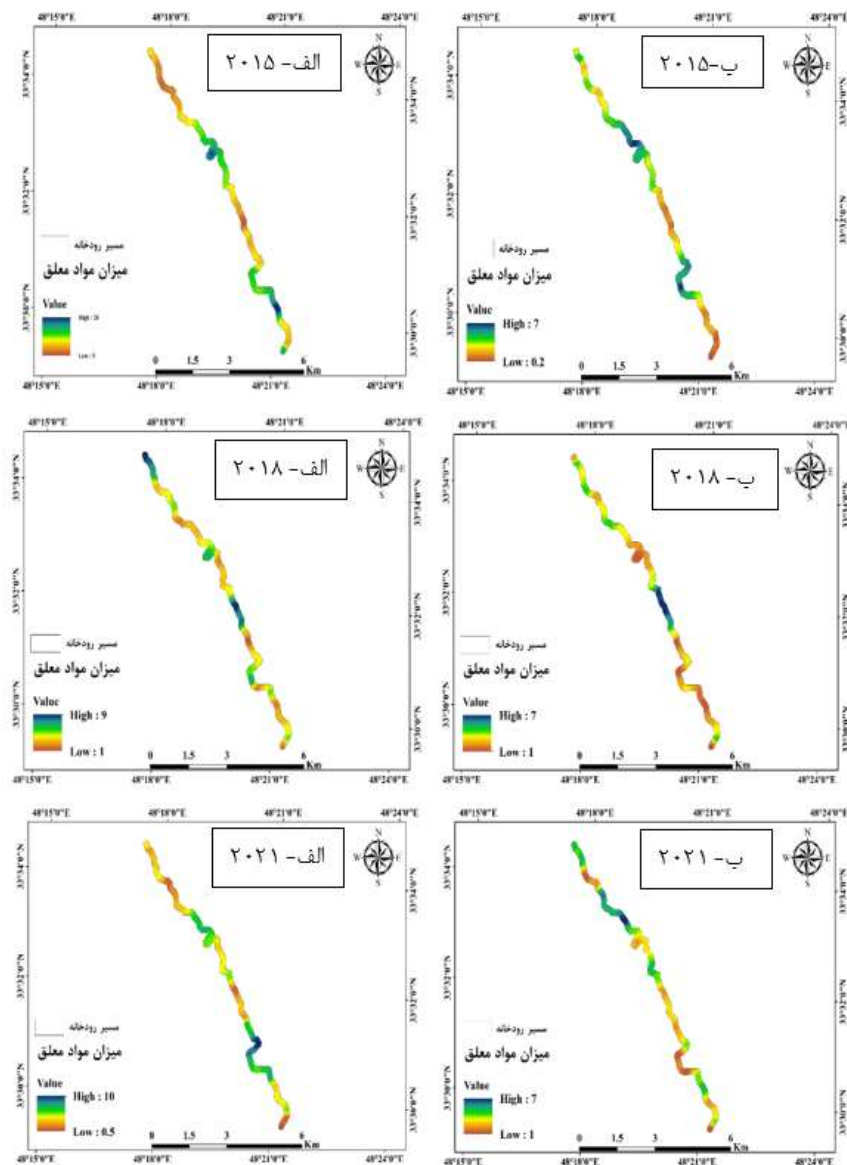


(هروک)

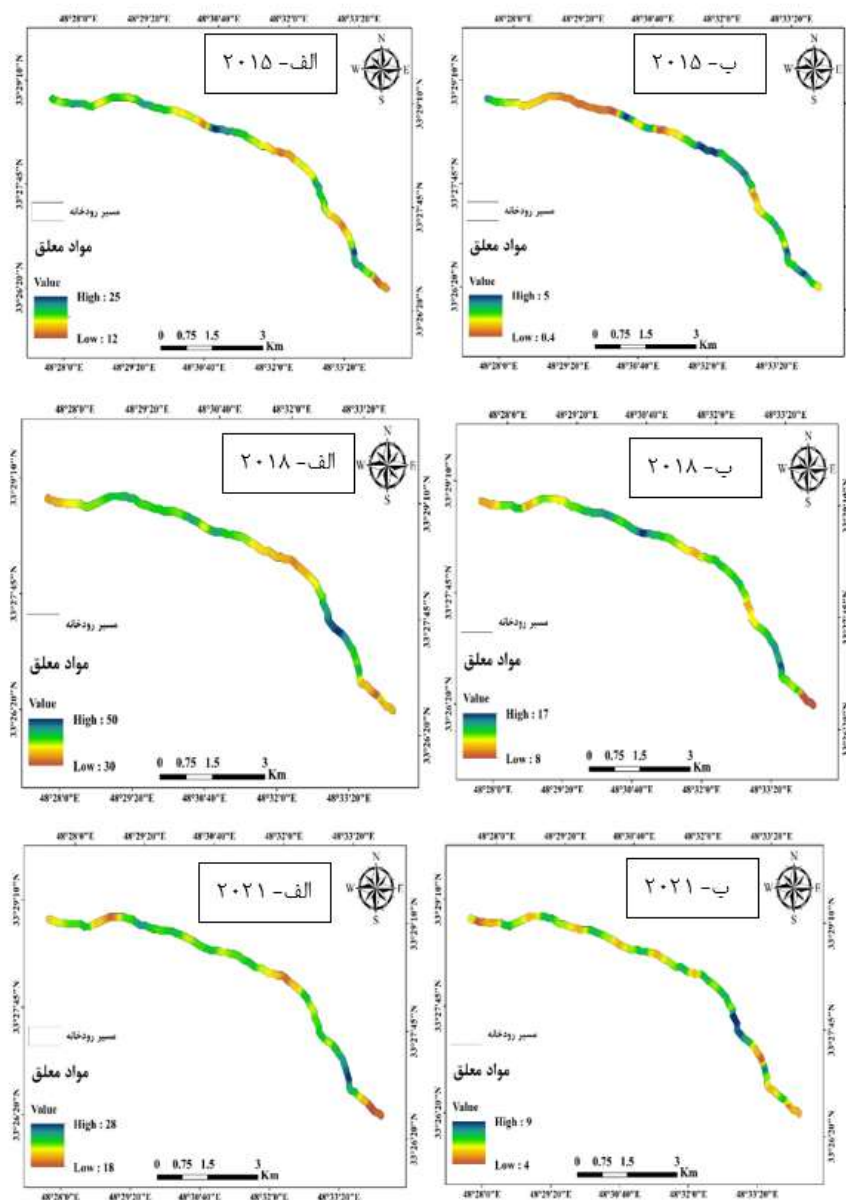
شکل ۶- میزان ضریب تعیین مواد معلق ایستگاه‌های هیدرومتری در ماه فروردین با میزان دبی سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۱



شکل ۷- رودخانه‌های مورد مطالعه در محدوده ایستگاه هیدرومتری



شکل ۸- مواد معلق برآوردی روی تصویر سنتینل ۲ در محدوده ایستگاه هیدرومتری ونایی-سراب سفید (الف: فروردین، ب: خرداد)



شکل ۹- مواد معلق برآوردی روی تصویر سنتینل ۲ در محدوده ایستگاه هیدرومتری رحیم آباد (الف: فروردین، ب: خرداد)

ضریب تعیین برای فروردین ۰/۷۸ و برای خرداد ۰/۸۲ بدست آمد. همچنین، در سال ۲۰۱۷، دقت فروردین و خرداد به ترتیب ۰/۸۸ و ۰/۷۴ بوده است. نتایج نشان داد که بیشتر باندهای تصاویر ماهواره‌ای با داده‌های ایستگاهی همبستگی مناسبی دارند و این تطابق، صحت و اعتبار روش به کار رفته در پژوهش را تأیید می‌کند.

بررسی دقت نتایج این پژوهش، همان‌طور که در جدول ۴ ذکر شده است، بیانگر تطابق مناسب داده‌های برآوردی با داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه مورد مطالعه است. طبق نتایج، بیش‌ترین دقت در خرداد ۲۰۲۰ با ضریب تعیین ۰/۸۹ و کم‌ترین دقت در خرداد ۲۰۲۱ با ضریب تعیین ۰/۶۹ مشاهده شده است. در سال ۲۰۱۵،

جدول ۴- بررسی دقت نتایج مواد معلق حاصل از تصاویر سنجش از دور

سال	ماه	R ²	RMSE
۲۰۱۵	فروردین	۰/۷۸	۲۵/۷۸۹
	خرداد	۰/۸۲	۲۰/۱۲۳
۲۰۱۶	فروردین	۰/۷۷	۲۴/۲۰

۲۱/۵۷	۰/۸۰	خرداد	
۱۸/۸	۰/۸۸	فروردین	۲۰۱۷
۲۷/۸۵۴	۰/۷۴	خرداد	
۲۲/۱۴۷	۰/۸۰	فروردین	۲۰۱۸
۱۹/۴۷۸	۰/۸۶	خرداد	
۲۶/۴۰۱	۰/۷۱	فروردین	۲۰۱۹
۱۹/۴۵۸	۰/۸۵	خرداد	
۲۰/۲۵۶۹	۰/۸۶	فروردین	۲۰۲۰
۱۶/۱۲۳	۰/۸۹	خرداد	
۲۳/۵۷۴	۰/۸۰	فروردین	۲۰۲۱
۳۳/۹۳	۰/۶۹	خرداد	

بحث و نتیجه‌گیری

فرسایش خاک یکی از چالش‌های مهم زیست‌محیطی در سراسر جهان محسوب می‌شود. رسوب به‌عنوان محصول نهایی فرسایش، نتیجه فرسایش خاک در اراضی بالادست، فرسایش کناره‌ها و بستر رودخانه است. این فرآیند باعث از دست رفتن خاک سطحی حاصلخیز، انتقال میلیون‌ها تن رسوب به مخازن و دریاچه‌ها، و ایجاد اثرات زیست‌محیطی مخرب می‌شود. علاوه‌براین، هزینه‌های اقتصادی قابل توجهی را به دلیل تأثیر بر تولیدات کشاورزی، زیرساخت‌ها و کیفیت منابع آبی به جوامع تحمیل می‌کند.

اندازه‌گیری دقیق بار رسوبی در کشورهای در حال توسعه، از جمله ایران، به دلیل محدودیت‌های مالی و فنی، چالش‌برانگیز است. اغلب، داده‌های رسوب تنها چند بار در ماه ثبت می‌شوند و این داده‌ها ناکافی به نظر می‌رسند. در چنین شرایطی، استفاده از مدلی که بتواند با استفاده از داده‌های دبی آب، میزان بار رسوبی را تخمین بزند، می‌تواند راهکاری قابل اعتماد و کاربردی ارائه دهد. این پژوهش با هدف تخمین یکی از پارامترهای کلیدی کیفیت آب، یعنی غلظت رسوب معلق، با استفاده از فناوری سنجش از دور انجام شد. در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۱ به بررسی رسوبات معلق در ۸ ایستگاه بالا دست سد دز پرداخته شد. در این راستا، شاخص‌های طیفی مناسب از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ استخراج و ارتباط آن‌ها با پارامترهای زمینی رسوب معلق به‌صورت بهینه مدل‌سازی گردید.

نتایج نشان داد که استفاده از تک‌باند در مدل‌سازی، عملکرد بهتری ارائه می‌دهد. بررسی نتایج نشان داد که کم‌ترین میزان رسوبات معلق در داده‌های ایستگاهی مربوط به سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۲۰ بوده، در حالی که بیش‌ترین مقدار در سال ۲۰۱۶ ثبت شده است. تحلیل سری زمانی نشان می‌دهد که ایستگاه بیاتون کم‌ترین میزان رسوب و ایستگاه‌های کشور و رحیم‌آباد بیش‌ترین مقادیر را دارا هستند. همچنین، رابطه‌ای قوی و معنادار بین دبی جریان و میزان رسوبات معلق مشاهده شد این بخش از تحقیق حاضر با مطالعات انجام گرفته توسط سایر محققین که بیان کردند تصاویر ماهواره‌ای کاربرد مناسبی در پایش کیفیت آب رودخانه دارند مطابقت دارد [۱۴، ۴، ۱۷].

هم‌چنین این مطالعه نشان داد که سنتینل-۲ می‌تواند به‌عنوان 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 [۶، ۳، ۷].

در ارزیابی باندهای مناسب تصاویر ماهواره‌ای، باندهای ۴ و ۵ بیش‌ترین همبستگی را با داده‌های ایستگاهی داشتند، در حالی که باندهای ۶ و ۹ کم‌ترین ارتباط را نشان دادند. تصاویر ماهواره‌ای نیز دقت بالایی را در تخمین رسوبات معلق ارائه دادند. [۸، ۲].

بیندینگ و همکاران و اوپلون و همکاران [۱۰، ۲] چندین باند از محدوده مرئی و مادون قرمز نزدیک را

به کاهش فرسایش و رسوب کمک کنند. ۲- ساخت سدهای رسوب گیر: طراحی و ساخت سدهای رسوب گیر در نقاط استراتژیک برای کاهش ورود رسوب به آبراهه ها و ایستگاه ها. ۳- مدیریت آبخیزداری: اجرای پروژه های مدیریت آبخیزداری که شامل کنترل سیلاب ها، حفظ خاک و بهبود کیفیت آب باشد. ۴- آموزش و مشارکت جامعه: برگزاری کارگاه ها و دوره های آموزشی برای جوامع محلی درباره روش های مدیریت پایدار منابع طبیعی و کاهش فرسایش خاک.

References

- [1]. Azarang, F. , Telvari, A. , Sedghi, H. and Shafai Bajestan, M. 2017. Large Dam Effects on Flow Regime and Hydraulic Parameters of river (Case study: Karkheh River, Downstream of Reservoir Dam). *Water and Soil*, 31(1), 11-27. doi: 10.22067/jsw.v31i1.48743. (in Farsi).
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.11.002>.
- [3]. Caballero, I., Steinmetz, F., & Navarro, G. (2018). Evaluation of the first year of operational Sentinel-2A data for retrieval of suspended solids in medium-to high-turbidity waters. *Remote Sensing*, 10(7), 982. <https://doi.org/10.3390/rs10070982>
- [4]. Du, J., and 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.
- [5]. Hadian, M. Kahraman, B. and Ismaili, K. 2017. Estimating the concentration of suspended sediments in the water surface of the dam reservoir using reflectance in different bands with the aim of using in satellite images (Study example: Ardak Dam, Mashhad). *Iran Water Resources Research*. 15(2): 109-118. <https://sid.ir/paper/100222/fa>. (In Farsi)
- [6]. Kabolizadeh, Mustafa , Rangzan, Kazem , Rashidian, Mohsen and Delfan, Hossein . (2018). Estimation of total dissolved solids concentration and water turbidity of Karkheh and Dez dams and the Greater Karun River using Sentinel-2 satellite images. *Advanced Applied Geology*, 8(4), 17-27. <https://sid.ir/paper/100222/fa>. (in Farsi).
- [7]. Liu, J., Zhang, Y., Yuan, D., & Song, X. (2015). Empirical estimation of total nitrogen and total phosphorus concentration of urban water bodies in China using high resolution IKONOS multispectral imagery. *Water*, 7(11), 6551-6573. <https://doi.org/10.3390/w7116551>
- [8]. Mollae Z, Zahiri J, Jalili S, Ansari M R, Taghizadeh A. Estimating Suspended Sediment Concentration Using Remote Sensing and Artificial Neural Network (Case Study: Karun River). *jwss* 2018; 22 (2) :249-259. (in Farsi). <https://doi.org/10.29252/jstnar.22.2.249>
- [9]. Maciel, D., Novo, E., Sander de Carvalho, L., Barbosa, C., Flores Júnior, R., & de Lucia Lobo, F. (2019). Retrieving total and inorganic suspended sediments in Amazon floodplain lakes: A multisensor approach. *Remote Sensing*, 11(15), 1744. <https://doi.org/10.3390/rs11151744>
- [10] 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(1), 109-122. <https://doi.org/10.1007/s00338-003-0352-z>
- [11]. parvizi S, Hosseini S Z, Talebi A, Zahedi S. Estimation of Suspended Sediment Concentration in Gamasiab Watershed Based on Sentinel-2 MSI Data. *Iranian Journal of Watershed Management Science and*

- Engineering*; 18 (64): 1.(in Farsi). URL: <http://jwmsei.ir/article-1-1121-fa.html>
- [12]. parvizi S, Hosseini S Z, Talebi A, Talebi Esfandarani S, Jalili H, Zakerinejad R. (2024). The Relationship between the Suspended Sediment Concentration of Doab Mereg and Pol Chehr Hydrometric Stations with Vegetation in Upstream Areas Using Sentinel-2 MSI Images. *J Watershed Manage Res.* 15(1), 147-158.(in Farsi). doi:10.61186/jwmr.15.1.147
- [13]. Parvizi, Sara., Hosseini, Seyed Zain Al-Abidin., Talebi, Ali., Zahedi, Salah Al-Din. (2024). Estimation of river sediment using satellite images (Case study: Pol Dokhtar station, Lorestan province). *22nd Iranian Hydraulic Conference*, Maragheh.
- [14]. Tabatabai, M. and Soleimani, K. 2012. Estimating the concentration of river suspended sediments using MODIS sensor images (case study: Molathani hydrometric station). *Irrigation scientists agricultural scientific journal.* 36(2), 83-95. (in Farsi). Doi: 20.1001.1.25885952.1392.36.2.8.1
- [15]. Zahiri, J. and Mollae, Z. (2021). Estimation of Suspended Sediment Concentration Using Remote Sensing Technique and M5 Model Tree. *Irrigation and Water Engineering*, 12(1), 138-150. doi: 10.22125/iwe.2021.138260.(in Farsi).
- [16]. Zhang, C., Liu, Y., Chen, X., and Gao, Y. (2022). Estimation of suspended sediment concentration in the Yangtze main stream based on Sentinel-2 MSI data. *Remote Sensing*, 14(18), 4446. <https://doi.org/10.3390/rs14184446>
- [17]. Zolfaghari, K., & Duguay, C. R. (2016). Estimation of water quality parameters in lake erie from meris using linear mixed effect models. *Remote Sensing*, 8(6), 473. <https://doi.org/10.3390/rs8060473>
- [18]. Zanganeh Asadi, M.A. Motamedi Rad, M. Ajam, H. (2024). Monitoring Sediment Erosion in Shahrood Watershed Using PSYAK Method. *The Third International Conference and the Sixth National Conference on Protection of Natural Resources and Environment*. December 2024 Stockholm-Sweden. 1-9. (in Farsi). <https://civilica.com/doc/1549117>

Temporal and spatial monitoring of suspended sediments in the Dez Dam Basin using remote sensing (Research Paper)

1- Malihe Parvaneh , Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.

2- Ali Talebi*, Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.

talebisf@yazd.ac.ir

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

4- Sara Parvizi, , PhD, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Yazd, Iran.

5- Somayeh Talebi Esfandarani, Assistant Professor, Iranian space research institute, Tehran, Iran.

6- Hadi Jalili, Associate Professor, Iranian space research institute, Tehran, Iran.

Received: 27 Feb. 2025

Accepted: 19 Nov. 2025

Abstract

The amount of sediment and suspended matter in flowing water is a significant concern in the design of hydraulic structures, such as channels, gates, and dam turbines. This issue is very important for several reasons, including maintaining soil quality in agricultural lands, addressing environmental concerns, and managing water resources for drinking and industry. Meanwhile, remote sensing technology has become an efficient and popular tool for natural resource management and assessment, offering time and cost savings as well as more accurate results than traditional methods. This study aimed to estimate suspended sediments in the Dez Dam basin, from upstream to downstream, using Sentinel-2 time-series satellite data collected between 2015 and 2021. For this purpose, the Suspended Sediment Concentration (SSC) index was extracted, and the results were calibrated using data from hydrometric stations. The results showed that satellite reflectance and suspended sediment concentration (SSC) depend on the wavelengths of the imaging bands. In a study of 12 bands of Sentinel images, bands 4 and 5 exhibited the highest correlation with sediment concentration. According to the results, the highest accuracy was observed in June 2020, with a coefficient of determination of 0.89, while the lowest accuracy was recorded in June 2021, with a coefficient of determination of 0.69. In 2015, the coefficient of determination for Farvardin was 0.78, while for Khordad, it was 0.82. In 2017, the accuracy for Farvardin and Khordad was 0.88 and 0.74, respectively.

Keywords: Atmospheric correction, Remote sensing, spectral index, soil erosion, suspended sediment modeling.