

پایش تغییرات مکانی غلظت رسوب معلق (SCC) با کاربرد مدل‌های رگرسیونی خطی و غیرخطی اطلاعات طیفی ماهواره‌ای در رودخانه سفیدرود در شمال ایران

محمدرضا سلامی^۱، ابراهیم فتائی^{۲*}، فاطمه ناصحی^۳، بهنام خانی‌زاده^۴ و حسین سعادت^۳

۱) دانشجوی دکتری رشته علوم و مهندسی محیط زیست، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران.

۲) استاد گروه علوم و مهندسی محیط زیست، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل، ایران.

*رایانامه نویسنده مسئول مکاتبات: eb.fataei@iau.ac.ir

۳) استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.

۴) استادیار گروه شیمی، واحد سراب، دانشگاه آزاد اسلامی، سراب، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۱

چکیده

سفیدرود یکی از پرآب‌ترین رودخانه‌های شمال ایران است که نقش بسیار مهمی در تولیدات کشاورزی، دامی، شیلات و تامین انرژی برق‌آبی استان گیلان دارد. در پژوهش حاضر طی دوره سال ۲۰۲۰-۲۰۱۳، با استفاده از داده‌های نمونه‌برداری چهار ایستگاه رسوب‌سنجی بر رودخانه سفیدرود و همچنین تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، به پایش تغییرات غلظت رسوب معلق (SCC) پرداخته شد. برای این منظور روابط رگرسیونی چندگانه خطی بازتاب طیفی ۷ تک باند و ۲۱ نسبت بانندی با SCC مشاهداتی و همچنین رگرسیون‌های خطی ساده، لگاریتمی، توانی و نمایی شاخص TSM با SCC مورد بررسی قرار گرفت و از بین مدل‌های رگرسیونی، مدلی که دارای بیشترین R^2 با SCC بود، به‌عنوان مناسب‌ترین مدل برای تهیه نقشه تغییرات مکانی SCC استفاده شد. نتایج نشان داد شاخص TSM (نسبت $B4/B3$) با SCC مشاهداتی دارای بیشترین همبستگی بوده، به‌طوری‌که مقدار R^2 رابطه نمایی TSM با SCC مشاهداتی ۰/۷۴ بود. در ادامه با استفاده از مدل نمایی مذکور، نقشه تغییرات مکانی SCC تهیه و تغییرات SCC در طول بازه‌های رودخانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد مقدار SCC در دو سرشاخه سفیدرود (قل‌اوزن و شاهرود) بیشتر بود، اما پس از ورود این رودخانه‌ها به مخزن سد منجیل (سفیدرود) مقادیر SCC در داخل مخزن به سبب ته‌نشین شدن SCC کاهش یافت و مقادیر آن در پایین دست مخزن در طول رودخانه سفیدرود نیز نسبت به سرشاخه‌ها کمتر شد. یافته‌ها حاکی از آن بود که از بین دو سر شاخه سفیدرود، رودخانه قل‌اوزن با مقدار SCC بیشتر، نقش بیشتری در ته‌نشین شدن رسوبات در مخزن سد منجیل و کاهش ظرفیت ذخیره این سد داشت. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای به‌ویژه شاخص TSM، امکان پایش تغییرات SCC در طول رودخانه با هزینه و فواصل زمانی کوتاه به‌طور بسیار کارآمدی امکان‌پذیر است.

واژه‌های کلیدی: سفیدرود، غلظت رسوب معلق، لندست ۸، نسبت بانندی $B4/B3$ ، TSM.

مقدمه

عمر مفید مخازن شود (Chelotti et al., ۲۰۱۹; Martinez et al., ۲۰۱۵). فرآیندهای فرسایشی می‌توانند پیامدهای مختلفی ایجاد کنند و با توجه به ویژگی حوضه‌های آبخیز، مانند

فرسایش و رسوب ذرات پدیده‌های طبیعی هستند، اما اقدامات انسانی می‌تواند این فرآیندها را افزایش داده و باعث از دست دادن کیفیت آب، لجن‌زدایی بدنه‌های آبی و کاهش

رسوبات معلق، بتوان به یک نمای همدیدی^۴ از رسوبات معلق دست یافت (Lei et al., ۲۰۲۱). اگرچه روش‌های سنتی برای دستیابی به داده‌های رسوب‌شناسی قابل اعتماد هستند، اما تکنیک‌های جایگزینی برای سرعت بخشیدن و بهبود کمیت SSC مورد نیاز است که هزینه آن را کمتر می‌کند. از سوی دیگر یکی از مشکلات روش‌های سنتی ایجاد مشاهدات مستمر است که ارزیابی‌های SSC درازمدت را مختل می‌کند (Nukapothula et al., ۲۰۲۳). علاوه بر آن، ماهیت مکان خاص نمونه‌برداری، این روش‌ها را برای برون‌یابی مقادیر به مکان‌های دیگر در امتداد بدنه آبی دشوارتر می‌کند (Martinez et al., ۲۰۱۵). این محدودیت را می‌توان با استفاده از داده‌های سنجش از راه دور چند زمانی که در وضوح‌های مکانی و زمانی بالا با پوشش خوب در دسترس هستند، برطرف کرد (Jayaram et al., ۲۰۲۱) و علاوه بر آن امکان بررسی سوابق گذشته SCC در پهنه آبی مورد بررسی را فراهم کرد (Womber et al., ۲۰۲۱). در واقع رسوب معلق در آب بیانگر کیفیت آب است که به‌طور مستقیم خواص نوری مانند شفافیت آب، کدورت و رنگ آب را منعکس می‌کند. بنابراین این ویژگی‌های فیزیکی مبنایی مناسب برای بازیابی دقیق غلظت رسوب معلق (SSC) با استفاده از اندازه‌گیری‌های رنگ آب با داده‌های سنجش از دور فراهم می‌کند (Yu et al., ۲۰۲۲). اگرچه سنجش از دور به‌طور گسترده در تحقیقات قبلی برای بازیابی اطلاعات در مورد کیفیت آب در اقیانوس‌ها، نواحی ساحلی و دریاچه‌های داخلی استفاده شده است، اما برای رودخانه‌ها، کاربرد این روش نسبتاً محدود بوده است. چرا که ویژگی‌های نوری رودخانه‌ها و رفتارهای رسوب معلق در رودخانه پیچیده‌تر است، مانند اختلاط در تلاقی رودخانه‌ها و کانال‌های پرپیچ‌وخم (Kwon et al., ۲۰۲۳). علاوه بر این، عرض یک رودخانه به‌طور کلی باریک است و وضوح فضایی سنسورهای ماهواره‌ای معمولی کم بوده و بنابراین، تاثیر پیکسل‌های مخلوط اغلب قابل توجه است (Xiao et al., ۲۰۲۳).

برای نقشه‌برداری و پایش SSC، مدل‌های تجربی مبتنی بر رگرسیون در اقصی نقاط جهان توسعه داده شده است، چنان که Hariyanto و همکاران (۲۰۱۷) در شرق Jawa

پوشش گیاهی، توپوگرافی، رژیم بارش و ویژگی‌های خاک متفاوت باشند (Abbasi et al., ۲۰۲۱; dos Santos et al., ۲۰۲۳). فرسایش در حوضه‌های آبخیز دارای کاربری کشاورزی و یا مناطق جنگل‌زدایی شده، تشدید می‌شود (Mohammadi et al., ۲۰۲۳; da Cunha et al., ۲۰۲۲). فرسایش آبی با کاهش مواد مغذی و مواد آلی منجر به تخریب خاک شده و به انتقال کودها و آفت‌کش‌ها کمک می‌کند و به همین سبب به‌طور مستقیم بر فعالیت‌های اقتصادی در حوضه‌های آبخیز تاثیر می‌گذارد (Riquetti et al., ۲۰۲۲). تشدید فرسایش به محیط زیست و تولیدات کشاورزی آسیب وارد کرده و امنیت غذایی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Jin et al., ۲۰۲۱).

بار رسوبی در رودخانه‌ها عمدتاً از رسوب معلق^۱ و بار رسوب بستر^۲ تشکیل شده که SLL شامل ذرات ریزی معلق است که در نتیجه تلاطم رودخانه منتقل می‌شود و SBL دارای ذرات درشتتری است که در بستر رودخانه جریان می‌یابد. SSL یا غلظت رسوب معلق^۳ یکی از عوامل اصلی اختلال در جریان طبیعی آب بوده (Efthimiou, ۲۰۱۹) و تغییرات مکانی و زمانی غلظت آن در ارتباط با عوامل انسانی و طبیعی است (Sa'ad et al., ۲۰۲۱)، به‌طوری‌که افزایش جمعیت به همراه تغییر اقلیم، سبب بهره‌برداری بیش از حد از زمین شده و در نتیجه کمیت و کیفیت آب در مخازن سدها تحت تاثیر قرار می‌گیرد (Safizadeh et al., ۲۰۲۱). بنابراین، به دست آوردن داده‌های SSC و در نتیجه، داده‌های فرسایش برای مدیریت صحیح خاک و آب در چنین حوضه‌هایی ضروری است.

به‌طور معمول پایش و ارزیابی رسوبات معلق با استفاده از مشاهدات درجا دنبال می‌شود، درحالی‌که رویکردهای مبتنی بر داده‌های درجا برای تخمین دینامیک پیچیده رسوبات معلق به دلیل پوشش مکانی و زمانی محدود آنها کافی نیست، چرا که غلظت رسوبات معلق از نظر زمانی و مکانی بسیار متفاوت بوده (Du et al., ۲۰۲۰) و به سبب این ناهمگنی طبیعی، دشوار است که بتوان با نمونه‌برداری درجا از غلظت

۱. Suspended Sediment Load (SSL)

۲. Sediment Bed Load (SBL)

۳. Suspended Sediment Concentration (SSC)

با اعتبارسنجی نیز TSM تصاویر ماهواره OLCI^۶ استنباط کردند که TSM در خلیج بنگال جنوب شرقی هند می تواند برای نقشه برداری TSM سینوپتیکی مبتنی بر ماهواره مفید باشد. Nukapothula و همکاران (۲۰۲۳) نیز در مطالعه ای در سواحل Kerala در جنوب شرقی هند با تجزیه و تحلیل تصاویر ۲-OceanSat نشان دادند مقدار TSM در طول مراحل سیل بیش از دو برابر دوره های عادی بوده است.

بررسی سوابق مطالعاتی نشان داد با توجه به ویژگی ها و محدودیت های هر کدام از مناطق مورد مطالعه، غالباً از روابط رگرسیون ساده خطی و غیرخطی برای بررسی همبستگی بین SCC و بازتاب طیفی باندها و نسبت های باند تصاویر ماهواره ای استفاده شده است و رگرسیون خطی چندگانه کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از سوی دیگر بسیاری از رودخانه های ایران دارای عرض کمتر از ۳۰ متر بوده و استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست ۸ با باندهای طیفی ۳۰*۳۰ متری، برای آنها امکان تفکیک بازتاب طیفی آب فراهم نمی باشد. برای غلبه بر این مشکل محققان بسیاری از فرآیند ادغام تصاویر^۷ استفاده کرده اند. در فرآیند ادغام تصاویر ماهواره ای، اطلاعات مکانی از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا و اطلاعات طیفی از تصاویر با قدرت تفکیک طیفی بالا استخراج و با یکپارچه کردن آنها، تصویری با دقت مکانی و طیفی بالا ایجاد می شود. ادغام اطلاعات موجب افزایش کاربری آن شده، به نحوی که می توان به تصویر جدید با اطلاعات جامع تر دسترسی پیدا کرد (Fensholt et al., ۲۰۱۰). بنابراین در پژوهش پیش رو در رودخانه سفیدرود در شمال ایران، ۷ باند طیفی ۳۰*۳۰ متری با باند پانکروماتیک ۱۵*۱۵ متری لندست ۸ ادغام گردید، سپس روابط رگرسیونی خطی و غیرخطی ساده و خطی چندگانه باندها و نسبت های باندی ماهواره لندست ۸ با SCC مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و علاوه بر آن با تمرکز بر کارایی شاخص TSM به تهیه نقشه تغییرات SCC در طول رودخانه مورد مطالعه پرداخته شد.

اندونزی، Quang و همکاران (۲۰۱۷) در جنوب شرق ویتنام، Yopez و همکاران (۲۰۱۸) در رودخانه Orinoco در ونزوئلا با استفاده از تک باند مادون قرمز لندست ۸ و Paulista و همکاران (۲۰۲۳) در رودخانه Teles Pires در آمازون برزیل با استفاده از تصاویر ۲-Sentinel مدل نمایی بازتاب باند قرمز به برآورد SCS دست یافتند. Zhang و همکاران (۲۰۱۶) در سد مخزنی Xin'anjiang در چین و Manoppo و Budhiman (۲۰۱۷) در شرق اندونزی با به کارگیری چند باند لندست ۸ به مدل رگرسیونی مناسب جهت برآورد SCC دست یافتند.

Jaelani و همکاران (۲۰۱۶) در اندونزی با استفاده از نسبت های باندی لندست ۸، مدل رگرسیونی مناسب را برای برآورد SCC تعیین کردند. Qiu و همکاران (۲۰۱۷) در مصب رودخانه زرد^۱ در چین، Pham و همکاران (۲۰۱۸) در رودخانه قرمز^۲ در شمال ویتنام با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست ۸ نشان دادند نسبت باندی B_۴/B_۳ از توانایی بالایی برای برآورد SCC برخوردار است. نسبت باندی B_۴/B_۳ به عنوان شاخص کل مواد معلق^۳ شناخته می شود (Toming et al., ۲۰۱۷; Zhu et al., ۲۰۲۰; Das et al., ۲۰۲۱). مقدار TSM فراتر از یک آستانه معین شفافیت آب را مختل کرده، مانع از نفوذ نور و مهار فتوسنتز شده که این موارد می تواند به گیاهان آبی و جلبک ها آسیب برساند. TSM ممکن است آلاینده ها و مواد مغذی را انتقال دهد و بنابراین باعث عدم تعادل اکولوژیکی و بدتر شدن کیفیت آب شود (Patel et al., ۲۰۲۳). با نقشه برداری TSM می توان برای بررسی توزیع و تغییر غلظت رسوب معلق در طول رودخانه استفاده کرد. در مطالعات متعددی از این شاخص جهت بررسی رسوبات معلق استفاده شده است، چنان که Zhu و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی بر روی دریاچه غربی^۴ (Xi Hu) در شرق چین با استفاده از تصاویر ۸ Landsat با مقایسه TSM و CDOM^۵ نشان دادند توابع نمایی نسبت های باند سبز/قرمز (TSM) بهتر می توانند کیفیت آب را پیش کنند. Patel و همکاران (۲۰۲۳)

۱. Yellow River estuary

۲. Red River

۳. Total Suspended Matter (TSM)

۴. West Lake

۵. Colored dissolved organic matter

۶. Ocean and Land Colure Instruments from ESA-European Space Agency

۷. Fusion of satellite images

حوضه آبخیز سفیدرود یکی از بزرگ‌ترین حوضه‌های آبی ایران و زیر مجموعه‌ای از حوضه آبریز دریای خزر است که حدود ۷۳ درصد آن در مناطق کوهستانی رشته کوه‌های البرز و زاگرس و بقیه در دشت و کوهپایه‌ها قرار گرفته است (Othman et al., ۲۰۱۳). پهنه این حوضه در شمال و شمال-غرب ایران ۸ استان زنجان، کردستان، آذربایجان شرقی، قزوین، اردبیل، همدان، گیلان و البرز را در برمی‌گیرد. مساحت این حوضه ۵۹،۲۱۷ کیلومترمربع و رودخانه اصلی آن سفیدرود است (Ghaffari et al., ۲۰۲۲). متوسط بارش این حوزه بین ۴۰۰ میلی‌متر در غرب تا ۵۰۰ میلی‌متر در شرق تغییر می‌کند (Dodangeh et al., ۲۰۱۴). سفیدرود به‌عنوان دومین رودخانه بزرگ ایران با به هم پیوستن دو رود شاهرود از جنوب شرق و قزل‌اوزن از شمال شرق در نزدیکی شهر منجیل تشکیل شده (Khosravi et al., ۲۰۱۹) و پس از پیمودن عرض استان گیلان در نزدیکی شهر آستانه به دریای خزر می‌ریزد. دبی متوسط شاهرود و قزل‌اوزن به ترتیب ۲۹/۷ و ۹۶/۸ مترمکعب بر ثانیه است که در سال‌های اخیر کمی کاهش یافته است (Hadiyan et al., ۲۰۲۰). آبدهی سالانه این سفیدرود هم به‌طور متوسط ۳۹۹۸ میلیون مترمکعب است. بر روی سفیدرود در شهر منجیل، سد منجیل قرار گرفته است که با ظرفیت ذخیره اولیه ۱/۷۶ میلیارد مترمکعبی در تراز عادی مخزن در سال ۱۹۶۳ به بهره‌داری رسید. هدف از ساخت این سد توسعه عمرانی و اقتصادی، کنترل سیلاب، ساماندهی رودخانه سفیدرود، ایجاد منبع آبی مناسب و مطمئن برای تامین آب ۲۴،۰۰۰ هکتار از اراضی کشاورزی استان گیلان و استفاده از انرژی پتانسیل برق آبی بوده است (Othman et al., ۲۰۱۳). پس از ساخت سد سفیدرود، اراضی زراعی از حدود ۹۰ هزار هکتار به بیش از ۹۰ هزار هکتار افزایش یافت که محصول اصلی این مزارع برنج بوده که به آب زیادی نیاز دارد، بنابراین مخزن سفیدرود نقش موثری در اقتصاد منطقه دارد (Hajjabadi & Zarghami, ۲۰۱۴).

در این مطالعه از اطلاعات چهار ایستگاه رسوب‌سنجی آب منطقه‌ای گیلان استفاده گردید. ایستگاه گیلوان بر روی رود قزل‌اوزن قرار دارد. قزل‌اوزن اصلی‌ترین سرشاخه

سفیدرود است که مساحت حوضه آن بالادست ایستگاه گیلوان در حدود ۴۹،۲۳۶ کیلومترمربع می‌باشد (Dodangeh et al., ۲۰۱۴). ایستگاه لوشان بر روی رودخانه شاهرود، ایستگاه میانراه رودبار پس از سد منجیل نرسیده به شهر رودبار بر روی سفیدرود و ایستگاه آستانه در شهر آستانه در نزدیکی سواحل دریای خزر بر روی سفیدرود قرار گرفته است. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است.

داده‌های مورد استفاده

به‌منظور پایش غلظت رسوب معلق (SCC) آب سفیدرود، از داده‌های سال ۲۰۲۰-۲۰۱۳ چهار ایستگاه رسوب‌سنجی گیلوان، لوشان، بین راه رودبار و آستانه آب منطقه‌ای استان گیلان استفاده شد. در این ایستگاه‌ها طی دوره مذکور در هر ایستگاه در هر سال حداقل ۱۰ بار داده‌های SCC و دبی متناظر با آن اندازه‌گیری شد، به‌طوری‌که طی دوره هشت سال در مجموع در ایستگاه گیلوان ۱۲۲، لوشان ۱۷۴، بین راه رودبار ۸۰ و آستانه ۱۴۰ داده ثبت شد که در پژوهش حاضر از ۳۱ داده رسوب معلق متناظر با زمان تصویربرداری ماهواره ای استفاده گشت. در این پژوهش از اطلاعات باندهای طیفی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ سطح ۱ TP استفاده گردید. TP بالاترین کیفیت محصول سطح ۱ است که برای تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی در سطح پیکسل مناسب است (Sa'ad et al., ۲۰۲۱). برای این منظور ۳۱ تصویر از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۰ سنجنده OLI^۱ با گذر^۲ ۱۶۶ و ردیف^۳ ۳۴ از سایت نقشه‌برداری زمین‌شناسی آمریکا^۴ دریافت گردید. تصاویر استخراج شده همزمان با برداشت نمونه‌های SCC (در یک روز) بوده و انتخاب این تصاویر با توجه به میزان ابرناکی و کیفیت مناسب انجام شد.

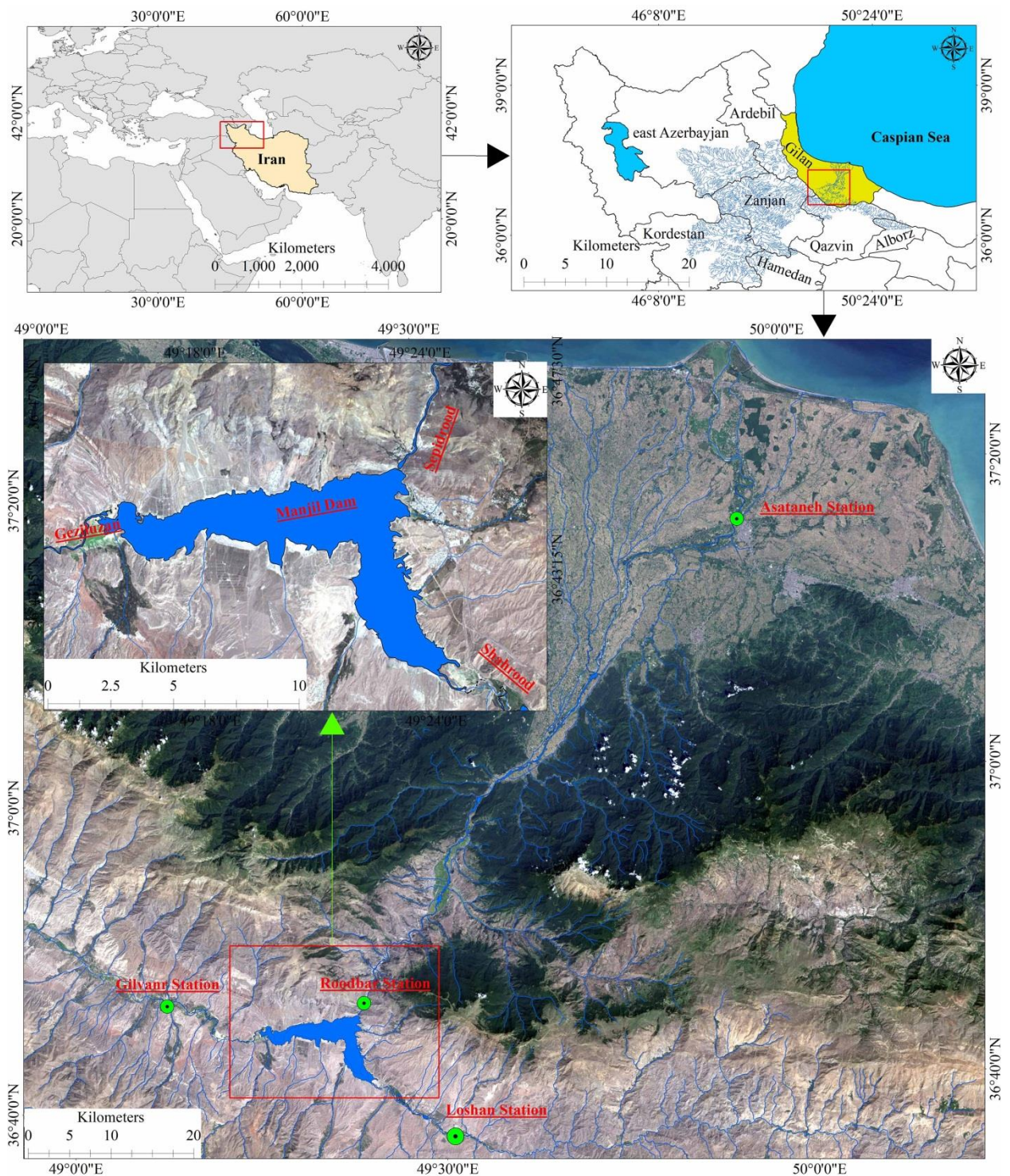
۱. The Operational Land Imager

۲. Path

۳. Row

۴. The United States Geological Survey (USGS)

استفاده از عوامل زیباشناسی در انتخاب درختان و درختچه های زینتی مناسب برای فضای شهری با .../۱۳۷



شکل ۱. موقعیت رود سفیدرود و ایستگاه های هیدرومتری مورد مطالعه

پیش پردازش تصاویر ماهواره ای

های مهم داده های سنجنش از دور در بررسی پهنه های آبی تصحیح اتمسفری یعنی چگونگی حذف دقیق اثرات جوی از اندازه گیری های ماهواره ای کالیبره شده در بالای جو^۱ و وضوح تصاویر ماهواره است (Yang et al., ۲۰۲۲). اتمسفر زمین از

پس از دریافت تصاویر ماهواره ای مذکور، جهت کنترل کیفیت داده ها، وجود خطاهای اتمسفری، هندسی و رادیومتری با برنامه ENVI ۵.۳ مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه غالب تصاویر دریافتی دارای سیستم مختصات بود، بنابراین نیازی به تصحیح هندسی نبود. یکی از چالش

۱. Top of Atmosphere (TOA)

Kavzoglu & Colkesen, ۲۰۰۹; Im *et al.*, ۲۰۰۸; Yia *et al.*, ۲۰۱۲). در پژوهش حاضر از الگوریتم Gram-Schmidt استفاده گردید. در الگوریتم Gram-Schmidt یک بانده PAN با استفاده از باندهای طیفی تصویر MS، شبیه‌سازی می‌شود. به‌طور کلی در این الگوریتم، بانده PAN شبیه‌سازی شده از طریق میانگین‌گیری از باندهای تصویر MS، حاصل می‌شود و به‌عنوان بانده اول در نظر گرفته می‌شود. در مرحله بعد، تبدیل Gram-Schmidt برای بانده PAN شبیه‌سازی می‌شود و باندهای MS بر آن اعمال می‌شود. سپس بانده PAN تصویر با وضوح بالا، با بانده اول Gram-Schmidt جایگزین می‌شود (Pushparaj & Hegde, ۲۰۱۱).

جداسازی پهنه آب

به‌منظور جداسازی پهنه آب از شاخص MNDWI استفاده شد. شاخص تفاوت نرمال شده آب^{۱۴} (Gao, ۱۹۹۶) برای تشخیص محتوی آب برگ‌ها طراحی شده است و برای برجسته کردن بهتر اطلاعات آب در باندهای لندست به MNDWI اصلاح شده است (Xu, ۲۰۰۶) که از طریق رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$MNDWI = \frac{Green+SWIR}{Green-SWIR} \quad \text{رابطه (۱)}$$

شاخص کل مواد معلق (TSM)

کل جامدات معلق^{۱۵}، علاوه بر کل مواد معلق^{۱۶} و ذرات معلق^{۱۷} (Peterson *et al.*, ۲۰۱۸) اصطلاحاتی هستند که برای توصیف TSS (TSS) استفاده می‌شوند (Farhadi *et al.*, ۲۰۲۰). TSM معیار اندازه‌گیری مقدار ذرات جامد آلی و معدنی معلق مانند رسوب، سیلت، خاک رس، پلانکتون یا سایر مواد ذرات معلق در یک توده آب است (Patel *et al.*, ۲۰۲۳). TSM با استفاده از بازتاب طیفی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، از طریق رابطه (۲) محاسبه می‌شود (Toming *et al.*, ۲۰۱۷; Zhu *et al.*, ۲۰۲۰; Das *et al.*, ۲۰۲۱).

$$TSM = \frac{Red (Band 4)}{Green (Band 3)} \quad \text{رابطه (۲)}$$

تجزیه و تحلیل آماری

ذرات مایع، جامد و گاز تشکیل شده است که بسیاری از این ذرات سبب جذب^۱، انتشار^۲ و پراکندگی^۳ اپتیکی می‌شوند. سیگنال دریافتی در ماهواره، تابش نوری^۴ از سطح زمین و اتمسفر است که به‌صورت مستقیم از طریق سنسور ثبت شده است. تابش اندازه‌گیری شده در سنسور به تابش TOA معروف است. هدف از تصحیح اتمسفری تبدیل تابش TOA اشیا به بازتاب از سطح زمین است، بنابراین ابتدا جهت تصحیح رادیومتریک، مقادیر DN^۵ تصویر به تابش^۶ کالیبره شد (Cremon *et al.*, ۲۰۲۰; Jally *et al.*, ۲۰۲۱; Adjovu *et al.*, ۲۰۲۳). سپس با استفاده از ماژول FLAASH^۷ تصحیح اتمسفری گردید. این ماژول توانایی اصلاح طول موج در ناحیه مرئی و مادون قرمز نزدیک^۸ و مادون قرمز نزدیک موج کوتاه^۹ تا بالای^{۱۰} میکرومتر را دارا می‌باشد (Kantakumar & Neelamsetti, ۲۰۱۵). پارامترهای مورد نیاز برای تصحیح اتمسفری از اطلاعات فایل متنی MTL و همچنین از DEM ۳۰ متری سنسور ASTER^{۱۱} استخراج گردید.

ادغام تصاویر

در مطالعات سنجش از دور، ادغام در سطح پیکسل بیشتر مورد توجه است (Xu & Ehlers, ۲۰۱۷). الگوریتم‌های ادغام تصاویر ماهواره‌ای بر پایه پیکسل، جزییات هندسی تصویر پانکروماتیک با وضوح بالا (PAN)^{۱۲} و اطلاعات طیفی از یک تصویر چند طیفی^{۱۳} با قدرت تفکیک مکانی کم را برای تولید تصویر MS با قدرت تفکیک مکانی بالا استفاده می‌کنند (Xu & Ehlers, ۲۰۱۷; Zhang *et al.*, Pushparaj & Hegde, ۲۰۱۷). در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی جهت ارایه الگوریتم‌های مناسب برای ادغام اطلاعات طیفی و مکانی تصاویر ماهواره‌ای صورت گرفته است

۱. Absorption
۲. Diffusion
۳. Scattering
۴. Emergent Radiation
۵. Digital Numbers
۶. Radiance
۷. Module
۸. Fast Line of sight Atmospheric Analysis of Spectral Hyper cubes
۹. Near-Infrared
۱۰. Shortwave Infrared
۱۱. Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
۱۲. High-Resolution Panchromatic
۱۳. Multispectral (MS)

۱۴. Normalized Difference Water Index (NDWI)
 ۱۵. Total suspended solids (TSS)
 ۱۶. Total suspended matter (TSM)
 ۱۷. Suspended particulate matter (SPM)

خطاها همبستگی وجود دارد. خروجی آزمون هم خطی چهار پارامتر ضریب تولرانس^۳، ضریب عامل تورم واریانس^۴، شاخص وضعیت^۵ و مقدار ویژه^۶ می باشد که هر چه مقدار تولرانس کم باشد، اطلاعات مربوط به متغیرها کم بوده و مشکلاتی در استفاده از رگرسیون ایجاد می شود. عامل تورم واریانس نیز معکوس تولرانس بوده و هر چقدر افزایش یابد باعث می شود واریانس ضرایب رگرسیون افزایش یافته و رگرسیون را برای پیش بینی نامناسب سازد. مقادیر ویژه نزدیک به صفر نشان می دهد همبستگی داخلی پیش بینی ها زیاد است و تغییرات کوچک در مقادیر داده ها به تغییرات بزرگ در برآورد ضرایب معادله رگرسیون منجر می شود. شاخص های وضعیت با مقدار بیشتر از ۱۵ نشان دهنده احتمال هم خطی بین متغیرهای مستقل می باشد و مقدار بیشتر از ۳۰، بیانگر مشکل جدی در استفاده از رگرسیون در وضعیت موجود است.

همچنین به بررسی رابطه همبستگی تک متغیره میان SCC و شاخص TSM پرداخته شد. جهت انتخاب مناسب ترین معادله همبستگی میان SCC و TSM در محیط برنامه Excel از بین چهار معادله رگرسیونی نمایی^۷، خطی^۸، لگاریتمی^۹ و توانی^{۱۰} معادله ای که دارای مقادیر همبستگی بالاتر بود، به عنوان بهترین معادله انتخاب گردید.

نقشه تغییرات مکانی SCC

پس از انتخاب مناسب ترین مدل رگرسیونی، با استفاده از اطلاعات تصویر ماهواره ای مربوط به سال ۲۰۱۶ نقشه تغییرات مکانی غلظت رسوب معلق (SCC) با استفاده از ابزار calculator raster در محیط برنامه ArcMap محاسبه و ترسیم شد. در این سال در تاریخ برداشت نمونه های پارامترهای کیفی (۲۰ جولای) سفیدرود در وضعیت پرابی قرار داشت، به طوری که دبی آب در حد ۲۸۹ مترمکعب بر ثانیه بود. همچنین به منظور بررسی تغییرات غلظت رسوب معلق (SCC)

پس از انجام پردازش های اولیه بر تصاویر ماهواره ای، رابطه تغییرات SCC با تغییرات بازتاب طیفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. به منظور بررسی بازتاب طیفی رواناب رودخانه سفید رود، قزل اوزن و شاهرود، ابتدا پنج پیکسل ۱۵ متری ثابت در تمامی تصاویر از محل ایستگاه ها تا ۱۵۰ متری بالادست ایستگاه در نظر گرفته شد. سپس مقادیر متوسط بازتاب طیفی هفت باند تصاویر در این پنج پیکسل محاسبه گردید. به نظر می رسد متوسط بازتاب طیفی ۵ پیکسل ثابت در نزدیک ترین نقطه به ایستگاه های هیدرومتری در مقایسه با بازتاب طیفی یک پیکسل، به دلیل احتمال وجود خطاهای ناشی از ویژگی های هندسی و رادیومتریکی تصاویر جهت بررسی SCC مناسب تر باشند. پس از استخراج مقادیر بازتاب طیفی باندهای تصاویر، رابطه همبستگی چندگانه خطی میان SCC و بازتاب طیفی ۷ باند و ۲۱ نسبت باندی مورد بررسی قرار گرفت. در بررسی های این چنینی، به طور معمول نسبت باند بزرگ تر به باند کوچک تر ملاک واقع می شود. به این ترتیب در مجموع از ۲۸ پارامتر طیفی شامل باندها و نسبت های باندی، جهت بررسی رابطه بین پارامترهای کیفی و بازتاب طیفی تصاویر به کار گرفته شد. در رگرسیون تک متغیره مقدار همبستگی هر کدام از متغیرهای مستقل بازتاب طیفی (باندها و نسبت های باندی) با متغیر وابسته (SCC) بررسی شد، در حالی که در رگرسیون چندگانه، رابطه خطی بین مجموعه متغیرهای مستقل بازتاب طیفی (باندها و نسبت های باندی) با متغیر وابسته SCC مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از رگرسیون گام به گام^۱ استفاده شد.

انجام هر مدل همبستگی مستلزم مفروضاتی است که تا این مفروضات برقرار نباشند، اعتبار مدل خدشه دار خواهد بود. از جمله این مفروضات در مدل همبستگی، مستقل بودن خطاها از یکدیگر و عدم هم خطی بین متغیرهای مستقل می باشد. جهت انجام آزمون استقلال خطاها از آزمون دوربین-واتسون^۲ استفاده شد. از آنجایی که در این آزمون، فرض H بر عدم همبستگی بین خطاها تاکید دارد، چنانچه این آماره در بازه ۱/۵-۲/۵ قرار گیرد، فرض H پذیرفته می شود، در غیر این صورت، فرض H رد می شود، یعنی بین

۳. Tolerance

۴. VIF

۵. Condition Index

۶. Eigenvalue

۷. Exponential

۸. Linear

۹. Logarithmic

۱۰. Power

۱. Step Wise

۲. Durbin-Watson Test

آب در محل ورود رود قزل‌اوزن و شاهرود به سد منجیل و سفیدرود پس از خروج از سد در محل ایستگاه بین راه رودبار و ایستگاه آستانه (نزدیک دریای خزر) از تحلیل نقشه‌های تهیه شده استفاده گردید.

نتایج

پس از بررسی کیفی داده‌های ایستگاه‌های رسوب‌سنجی، مقادیر SCC (Q_s) ثبت شده متناظر با تاریخ تصویربرداری لندست ۸ استخراج گردید. به این ترتیب از مجموع ۳۱ داده نمونه‌برداری شده SCC در ۴ ایستگاه رسوب‌سنجی، ۱۴ نمونه برای ایستگاه لوشان، ۱۱ نمونه برای گیلوان، ۴ نمونه برای آستانه و ۲ نمونه برای رودبار می‌باشند (جدول ۱).

جدول ۱. مقادیر رسوب معلق (SCC) در هر کدام از ایستگاه‌های رسوب‌سنجی متناظر با تاریخ تصویربرداری ماهواره لندست ۸

تاریخ شمسی	نام ایستگاه	رودخانه	دبی روزانه (m^3/s)	SCC (Q_s) (mg/liter)
۱۳۹۲/۳/۲۰	گیلوان	قزل‌اوزن	۵/۸۹۸	۳۶۹/۷۹۲
۱۳۹۲/۳/۲۰	لوشان	شاهرود	۱۲/۳۵۴	۶۶۴/۶۲۹
۱۳۹۲/۵/۲۲	لوشان	شاهرود	۶/۹	۳۱۷/۱۵۷
۱۳۹۲/۹/۱۲	گیلوان	قزل‌اوزن	۱۶/۱۰۳	۹۰۸/۵۱۸
۱۳۹۲/۱۲/۱۸	گیلوان	قزل‌اوزن	۵۰/۹۶۴	۳۳۲۷/۳۴۳
۱۳۹۳/۲/۶	رودبار	سفیدرود	۸۷/۱۶۱	۲۷۶۶/۲۵۶
۱۳۹۳/۴/۲۴	آستانه	سفیدرود	۸/۸۴۷	۱۵/۷۹۸
۱۳۹۴/۲/۹	گیلوان	قزل‌اوزن	۴۳/۵۴۴	۴۲۰۱/۱۳۸
۱۳۹۴/۲/۹	لوشان	شاهرود	۱۸/۶۹۴	۱۳۴۱/۱۱۷
۱۳۹۴/۳/۱۰	گیلوان	قزل‌اوزن	۳/۰۹۲	۱۵۲/۸۹۷
۱۳۹۴/۹/۲	گیلوان	قزل‌اوزن	۵۵/۰۶	۴۸۴۵۱/۹۱۹
۱۳۹۵/۳/۲۹	لوشان	شاهرود	۱۸/۲۶	۱۵۶۴/۵۲۲
۱۳۹۵/۴/۳۰	لوشان	شاهرود	۷/۷۵۵	۶۸۵/۸۹۲
۱۳۹۵/۴/۳۰	گیلوان	قزل‌اوزن	۱/۵۵۵	۴۳۵/۵۶۹
۱۳۹۵/۵/۳۱	لوشان	شاهرود	۴/۴۴۱	۲۳۶/۴۸۷
۱۳۹۶/۱/۲۹	لوشان	شاهرود	۱۳۲/۱۷۵	۵۴۳۷۰/۲۳۹
۱۳۹۶/۲/۱۴	آستانه	سفیدرود	۲۰۵/۱۲۷	۱۲۳۴/۷۶
۱۳۹۶/۲/۳۰	گیلوان	قزل‌اوزن	۴۳/۳۴	۷۷۵۰/۰۳۷
۱۳۹۶/۲/۳۰	لوشان	شاهرود	۷۷/۰۶۹	۱۸۰۲۵/۲۶۸
۱۳۹۶/۲/۳۰	آستانه	سفیدرود	۱۸/۰۴۶	۲۷/۵۵۱
۱۳۹۶/۳/۱۵	گیلوان	قزل‌اوزن	۸/۷۸۵	۱۴۶۵/۴۲۵
۱۳۹۶/۳/۳۱	لوشان	شاهرود	۲۱/۰۷۶	۱۰۲۵/۸۰۵
۱۳۹۷/۳/۲	لوشان	شاهرود	۴۰/۱۰۶	۴۱۱۷/۷۶۳
۱۳۹۷/۳/۱۸	گیلوان	قزل‌اوزن	۳۱/۰۵۶	۲۲۵۴۵/۱۴۱
۱۳۹۷/۴/۳	لوشان	شاهرود	۱۵/۶۶۵	۹۱۴/۴۸۵
۱۳۹۷/۵/۲۰	لوشان	شاهرود	۲/۸۸۱	۱۶۲/۲۹۵

بایش تغییرات مکانی غلظت رسوب معلق (SCC) با کاربرد مدل های رگرسیونی خطی و غیر خطی اطلاعات .../۱۳۱

تاریخ شمسی	نام ایستگاه	رودخانه	دبی روزانه (m ³ /s)	SCC (Q _s) (mg/liter)
۱۳۹۷/۶/۲۱	لوشان	شاهرود	۱۳/۹۹۳	۱۴۸۰/۲۱۳
۱۳۹۷/۶/۲۱	رودبار	سفیدرود	۱۳/۹۹۳	۱۴۸۰/۲۱۳
۱۳۹۸/۸/۱۱	لوشان	شاهرود	۴۵/۵۶۶	۹۷/۱۵
۱۳۹۸/۹/۱۳	آستانه	سفیدرود	۱۵۳/۳۷۸	۱۷۹۷/۸۳۶
۱۳۹۸/۱۱/۱۷	گیلوان	قزل اوزن	۱۲/۱۸۵	۰/۵۹

پس از پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای، مقادیر ۷ باند طیفی سنجنده OLI لندست ۸ در محل استقرار ایستگاه‌های رسوب‌سنجی محاسبه شد. در جدول (۲) مقادیر باندهای

طیفی OLI متناظر با تاریخ نمونه‌برداری SCC هر کدام از ایستگاه‌های رسوب‌سنجی ارایه شده است.

جدول ۲. مقادیر باندهای طیفی سنجنده OLI در محل استقرار ایستگاه‌های رسوب‌سنجی متناظر

تاریخ میلادی	Band ۱	Band ۲	Band ۳	Band ۴	Band ۵	Band ۶	Band ۷
۱۳۹۲/۳/۲۰	۰/۰۵۰	۰/۰۵۰	۰/۰۶۷	۰/۰۷۳	۰/۰۸۲	۰/۰۶۵	۰/۰۵۱
۱۳۹۲/۳/۲۰	۰/۰۹۰	۰/۰۸۸	۰/۱۲۳	۰/۱۵۱	۰/۲۰۹	۰/۱۳۱	۰/۱۰۷
۱۳۹۲/۵/۲۲	۰/۰۷۹	۰/۰۷۶	۰/۱۰۹	۰/۱۳۸	۰/۲۲۲	۰/۱۱۳	۰/۰۸۸
۱۳۹۲/۹/۱۲	۰/۰۲۰	۰/۰۲۳	۰/۰۴۷	۰/۰۶۰	۰/۰۳۶	۰/۰۲۳	۰/۰۲۰
۱۳۹۲/۱۲/۱۸	۰/۰۴۹	۰/۰۴۹	۰/۰۷۰	۰/۰۸۶	۰/۰۷۷	۰/۰۳۹	۰/۰۳۲
۱۳۹۳/۲/۶	۰/۰۶۶	۰/۰۶۶	۰/۰۹۳	۰/۰۷۸	۰/۰۷۸	۰/۰۶۴	۰/۰۵۲
۱۳۹۳/۴/۲۴	۰/۱۴۷	۰/۱۳۱	۰/۱۴۷	۰/۱۳۴	۰/۲۳۰	۰/۱۲۵	۰/۰۹۲
۱۳۹۴/۲/۹	۰/۰۳۱	۰/۰۳۳	۰/۰۵۵	۰/۰۷۰	۰/۰۵۹	۰/۰۲۹	۰/۰۲۲
۱۳۹۴/۲/۹	۰/۰۶۴	۰/۰۶۵	۰/۱۰۲	۰/۱۳۳	۰/۱۶۰	۰/۱۰۰	۰/۰۸۵
۱۳۹۴/۳/۱۰	۰/۰۳۸	۰/۰۳۹	۰/۰۵۹	۰/۰۶۷	۰/۰۵۷	۰/۰۶۰	۰/۰۵۲
۱۳۹۴/۹/۲	۰/۰۳۰	۰/۰۳۲	۰/۰۶۳	۰/۰۹۲	۰/۰۹۷	۰/۰۱۵	۰/۰۱۱
۱۳۹۵/۳/۲۹	۰/۰۸۲	۰/۰۸۲	۰/۱۱۸	۰/۱۴۱	۰/۱۹۲	۰/۱۴۵	۰/۱۱۸
۱۳۹۵/۴/۳۰	۰/۰۶۷	۰/۰۶۸	۰/۱۰۴	۰/۱۱۷	۰/۱۸۵	۰/۱۳۷	۰/۱۰۸
۱۳۹۵/۴/۳۰	۰/۰۵۳	۰/۰۵۷	۰/۰۸۴	۰/۱۰۳	۰/۰۹۰	۰/۰۸۷	۰/۰۷۳
۱۳۹۵/۵/۳۱	۰/۰۴۶	۰/۰۴۶	۰/۰۷۵	۰/۰۸۳	۰/۱۷۸	۰/۱۲۰	۰/۰۹۰
۱۳۹۶/۱/۲۹	۰/۰۶۱	۰/۰۶۱	۰/۱۰۱	۰/۱۴۲	۰/۱۸۷	۰/۰۶۴	۰/۰۵۲
۱۳۹۶/۲/۱۴	۰/۱۶۷	۰/۱۵۳	۰/۲۴۰	۰/۲۸۴	۰/۲۲۷	۰/۰۴۹	۰/۰۳۱
۱۳۹۶/۲/۳۰	۰/۰۴۵	۰/۰۴۷	۰/۰۶۹	۰/۰۸۱	۰/۰۷۰	۰/۰۴۴	۰/۰۳۳
۱۳۹۶/۲/۳۰	۰/۰۷۹	۰/۰۸۰	۰/۱۱۵	۰/۱۴۳	۰/۲۰۱	۰/۱۱۷	۰/۰۹۵
۱۳۹۶/۲/۳۰	۰/۰۷۳	۰/۰۷۰	۰/۰۹۴	۰/۰۸۴	۰/۰۹۲	۰/۰۶۱	۰/۰۴۳
۱۳۹۶/۳/۱۵	۰/۰۵۷	۰/۰۵۹	۰/۰۸۷	۰/۱۱۵	۰/۱۱۱	۰/۰۶۷	۰/۰۶۰
۱۳۹۶/۳/۳۱	۰/۰۷۲	۰/۰۷۳	۰/۱۱۱	۰/۱۲۵	۰/۱۸۶	۰/۱۳۰	۰/۱۰۶
۱۳۹۷/۳/۲	۰/۰۸۱	۰/۰۷۸	۰/۱۱۱	۰/۱۴۱	۰/۲۴۰	۰/۱۲۷	۰/۱۰۰
۱۳۹۷/۳/۱۸	۰/۰۵۱	۰/۰۵۴	۰/۰۸۹	۰/۱۲۳	۰/۱۳۴	۰/۰۳۱	۰/۰۲۴
۱۳۹۷/۴/۳	۰/۰۶۸	۰/۰۷۰	۰/۱۱۰	۰/۱۳۱	۰/۲۰۹	۰/۱۴۰	۰/۱۱۱
۱۳۹۷/۵/۲۰	۰/۰۵۸	۰/۰۵۴	۰/۰۷۹	۰/۰۸۲	۰/۱۸۶	۰/۱۲۲	۰/۰۸۶
۱۳۹۷/۶/۲۱	۰/۰۵۴	۰/۰۵۲	۰/۰۸۲	۰/۰۸۷	۰/۱۸۸	۰/۱۱۷	۰/۰۸۳
۱۳۹۷/۶/۲۱	۰/۰۵۴	۰/۰۵۴	۰/۰۸۸	۰/۰۶۹	۰/۰۷۵	۰/۰۶۱	۰/۰۴۸
۱۳۹۸/۸/۱۱	۰/۰۴۶	۰/۰۴۴	۰/۰۷۷	۰/۰۹۸	۰/۱۳۳	۰/۰۹۴	۰/۰۷۱

تاریخ میلادی	Band ۱	Band ۲	Band ۳	Band ۴	Band ۵	Band ۶	Band ۷
۱۳۹۸/۹/۱۳	۰/۰۷۲	۰/۰۶۹	۰/۱۰۳	۰/۱۲۴	۰/۰۹۳	۰/۰۴۱	۰/۰۳۴
۱۳۹۸/۱۱/۱۷	۰/۰۳۴	۰/۰۳۶	۰/۰۵۹	۰/۰۵۷	۰/۰۲۴	۰/۰۱۷	۰/۰۱۶

R^2 مدل ۲ به ۰/۴۷ رسید. در جدول (۴) مقادیر مربوط به آزمون استقلال داده‌ها و هم‌خطی نشان داده شد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مقدار آزمون دوربین-واتسون در حدود ۲ است. بنابراین فرض H₀ یعنی عدم همبستگی بین خطاها پذیرفته شده و مقادیر شاخص وضعیت کمتر از ۱۵ بوده است (۶/۴۲ و ۴)، به همین سبب احتمال هم‌خطی بین متغیرهای مستقل بسیار کم است. نتایج سایر پارامترها (مقدار ویژه، تولرانس و VIF) نیز نشان می‌دهد مشکل جدی در استفاده از رگرسیون چندگانه خطی وجود ندارد (جدول ۳).

نتایج مدل رگرسیونی چندگانه خطی (گام به گام) SCC با باندها و نسبت‌های باندی

پس از ورود ۲۸ پارامتر طیفی (شامل ۷ باند و ۲۱ نسبت باندی) به مدل رگرسیون گام به گام و اجرای این مدل، نتایج نشان داد (جدول ۳) در بین تمامی باندها و نسبت‌های باندی، باند ۱ و Band ۶/Band ۵، در رگرسیون چندگانه خطی به طور معنی‌دار وارد شدند. در مدل ۱، Band ۶/Band ۵ در سطح معنی‌داری ۱ درصد با SCC، دارای ضریب تعیین (R^2) حدود ۰/۳۵ است. در مدل ۲ مقدار R^2 با ورود ۱ باند به مدل و همراهی با Band ۶/Band ۵، در سطح معنی‌داری ۵ درصد در حدود ۰/۱۱ افزایش پیدا کرده و در مجموع مقدار

جدول ۳. تحلیل رگرسیون خطی چندگانه گام به گام بین بازتاب طیفی و SCC

مدل	بازتاب طیفی (x)	معادله رگرسیون	مجموع ضریب	ضریب تشخیص	تغییرات ضریب تشخیص	سطح معنی داری
۱	Band ۶/Band ۵	$y = -39264/679x + 29993/484$	۰/۵۹۴	۰/۳۵۳	۰/۳۵۳	۰/۰۰۰
۲	Band ۶/Band ۵ : X_1 Band ۱ : X_2	$y = -45380/448x_1 - 152726/276x_2 + 43520/386$	۰/۶۸۴	۰/۴۶۷	۰/۱۱۴	۰/۰۲۱

جدول ۴. آزمون استقلال خطا و هم‌خطی مدل رگرسیونی چندگانه خطی بین بازتاب طیفی و SCC

مدل	بازتاب طیفی (x)	معادله رگرسیون	آزمون دوربین-واتسون	شاخص شرایط	مقادیر ویژه	مقدار VIF	دامنه تغییرات مجاز
۱	Band ۶/Band ۵ : X_1	$y = -39264/679x + 29993/484$	۲/۰۰۵	۶/۴۲۰	۰/۰۴۷	۱	۱
۲	Band ۶/Band ۵ : X_1 Band ۱ : X_2	$y = -45380/448x_1 - 152726/276x_2 + 43520/386$		۴/۰۰۲	۰/۱۷۵	۱/۰۷۵	۰/۹۳۰

دارای روابط رگرسیونی خطی و لگاریتمی با R^2 به ترتیب ۰/۲۶ و ۰/۲۱ می‌باشد، اما روابط نمایی و توانی از همبستگی بسیار مطلوبی برای برآورد مقادیر SCC برخوردار می‌باشد.

پهنه‌بندی SCC

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد رگرسیون نمایی شاخص TSM با SCC دارای بیشترین مقدار همبستگی بوده و

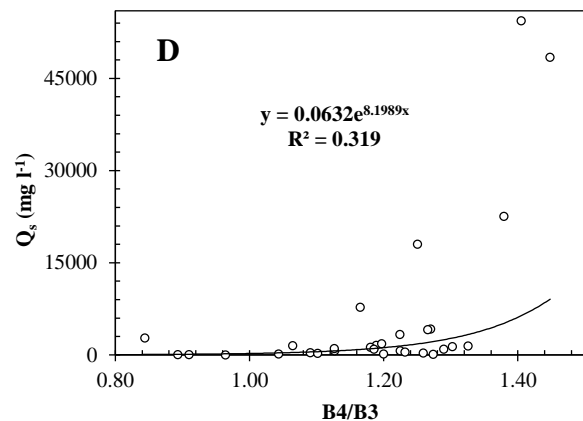
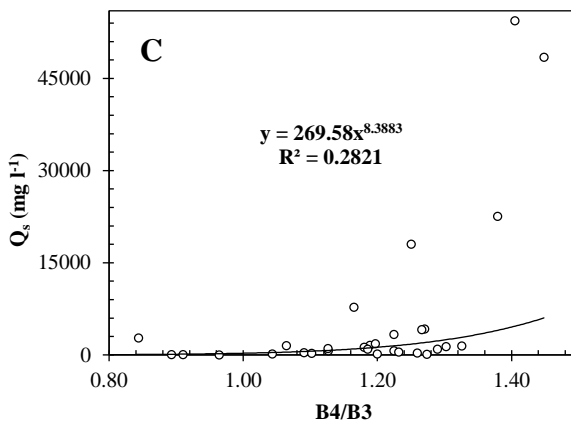
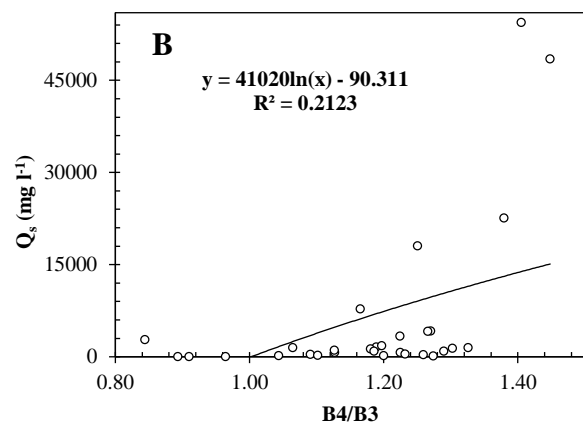
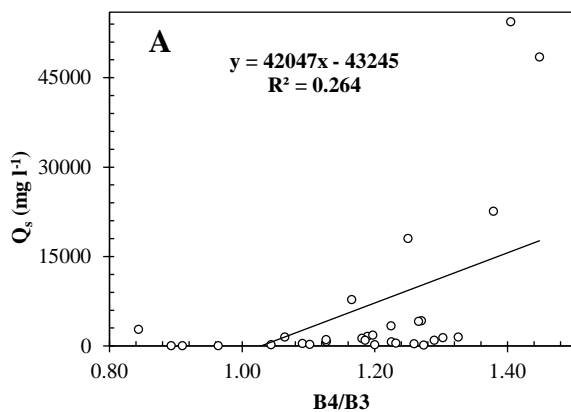
نتایج مدل رگرسیونی خطی و غیرخطی شاخص TSM با SCC

پس از محاسبه TSM (Band ۴/Band ۳) و بررسی رابطه رگرسیون خطی و غیرخطی آن با SCC نتایج حاکی از آن بود که SCC با TSM (Q_s) در سطح معنی‌داری ۱ درصد دارای همبستگی بالایی توانی و نمایی می‌باشد، به طوری که رابطه نمایی با مقدار R^2 حدود ۰/۷۴ بهترین رابطه TSM با SCC می‌باشد (شکل ۲). یافته‌ها نشان داد TSM با SCC اگرچه

پایش تغییرات مکانی غلظت رسوب معلق (SCC) با کاربرد مدل های رگرسیونی خطی و غیر خطی اطلاعات .../۱۳۳

شاهرود مقدار آن در حدود ۸۱۴ میلی گرم بر لیتر می باشد. همچنین مقدار SCC در داخل مخزن سد در نزدیکی تاج سد در حدود ۲۶ میلی گرم بر لیتر بوده و در محل ایستگاه رودبار بر روی سفیدرود در نزدیکی خروجی سد مقدار آن در حدود ۹۱ میلی گرم بر لیتر تغییر می کند. سپس با عبور از زمین های کشاورزی مقدار SCC در ایستگاه آستانه بر روی سفیدرود در نزدیکی دریای خزر به حدود ۱۲۷ میلی گرم بر لیتر می رسد. اگرچه مقدار SCC سفیدرود نسبت به قزل اوزن و شاهرود کاهش یافته است، اما با عبور از زمین های کشاورزی مقدار آن در نزدیکی ایستگاه آستانه اندکی افزایش یافته است.

بنابراین از توان بسیار بالایی برای برآورد SCC برخوردار می باشد. به همین سبب با استفاده از این رابطه نمایی نقشه تغییرات مکانی SCC در ۲۰ جولای سال ۲۰۱۶ در محیط برنامه Arcgis تهیه شد (شکل ۳). بررسی نقشه تغییرات SCC نشان داد مقدار SCC بین ۷ تا ۶۲۴۶ میلی گرم بر لیتر در طول رودخانه سفیدرود و سرشاخه های آن متغیر بوده و مقدار آن در دو سرشاخه سفیدرود یعنی قزل اوزن و شاهرود زیاد بوده و پس از ورود این سرشاخه ها به سد منجیل، مقدار SCC به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد. مقدار SCC در محل ایستگاه گیلوان در شاخه قزل اوزن در حدود ۱۲۰۹ میلی گرم بر لیتر است، در حالی که در محل ایستگاه لوشان در سرشاخه



شکل ۲. مدل رگرسیون خطی (A)، لگاریتمی (B)، توانی (C) و نمایی (D) شاخص TSM (B۴/B۳) با دبی رسوب معلق (Qs) یا SCC

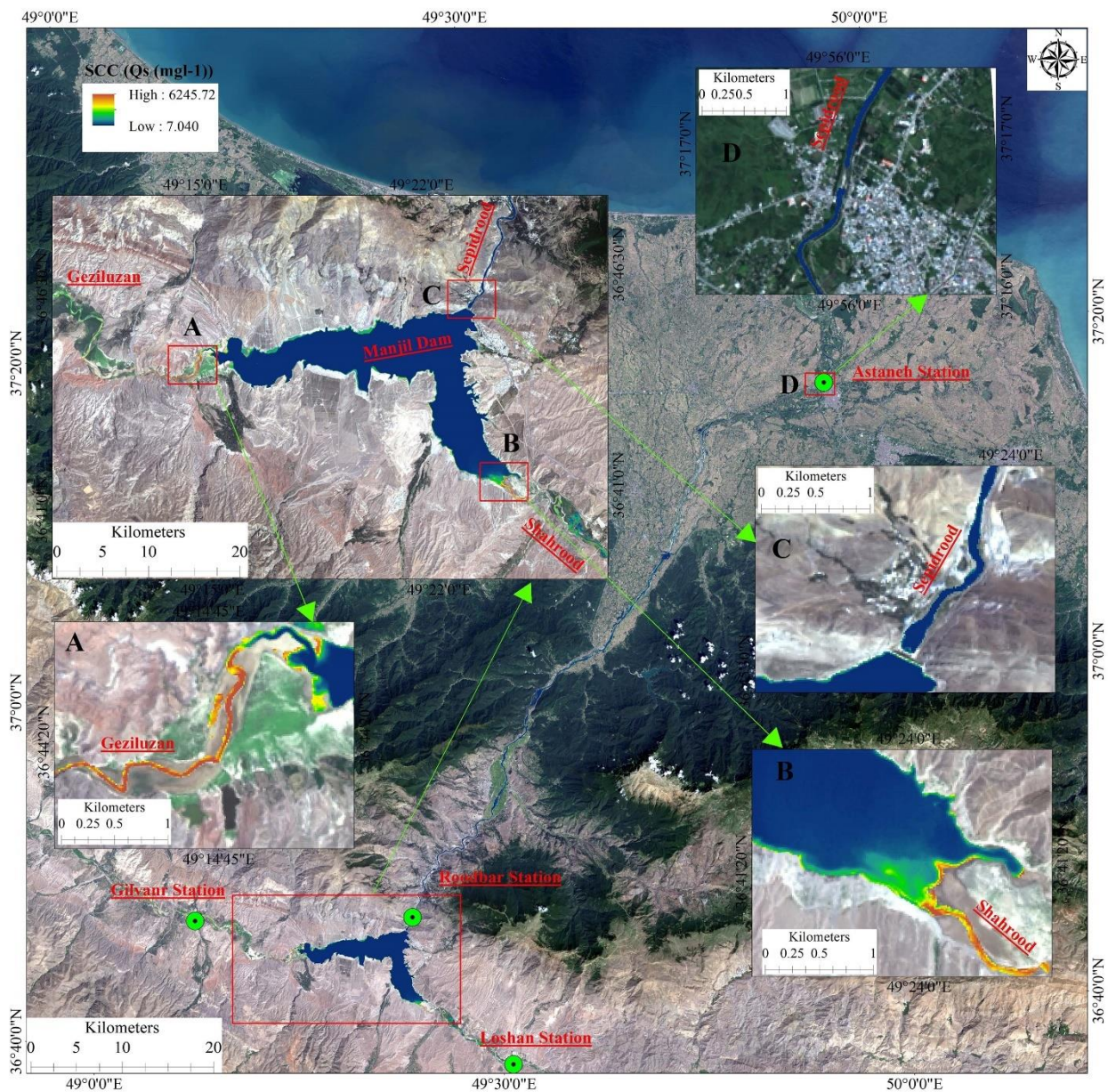
بحث و نتیجه گیری

داده های ایستگاه های رسوب سنجی و پیش پردازش تصاویر ماهواره ای، روابط رگرسیون چندگانه خطی بازتاب طیفی ۷ تک باند و ۲۱ نسبت بانندی با SCC و همچنین رگرسیون های خطی و غیرخطی شاخص TSM با SCC مورد بررسی قرار گرفت و از بین مدل های رگرسیونی، مدلی که دارای بیشترین

در پژوهش حاضر طی دوره سال ۲۰۲۰-۲۰۱۳، با استفاده از داده های نمونه برداری چهار ایستگاه رسوب سنجی بر روی رودخانه سفیدرود در شمال ایران و همچنین تصاویر ماهواره ای لندست ۸، به پایش تغییرات غلظت رسوب معلق (SCC) پرداخته شد. برای این منظور پس از کنترل کیفی

است. TSM با استفاده از روش‌های مختلفی از جمله روش‌های گرانشی، اندازه‌گیری کدورت و فناوری سنسجش از دور اندازه‌گیری می‌شود (Patel et al., ۲۰۲۳). نسبت بانندی B_۴/B_۳ یا TSM در مطالعات متعددی برای بررسی SCC مورد توجه قرار گرفت و غالباً مقادیر R^۲ این شاخص بالا بود،

R^۲ با SCC بود، به‌عنوان مناسب‌ترین مدل برای تهیه نقشه تغییرات مکانی SCC استفاده شد. نتایج نشان داد رابطه نمایی TSM (B_۴/B_۳) با SCC دارای بیشترین مقدار R^۲ است (۰/۷۴). پایش TSM برای درک و مدیریت منابع آب، به‌ویژه از نظر رسوب‌گذاری، فرسایش و مدیریت آلودگی حیاتی



شکل ۳. نقشه تغییرات مکانی SCC در طول رودخانه سفیدرود، قزل‌اوزن و شاهرود در ۲۰ جولای ۲۰۱۶

ذرات معلق^۱ مشاهداتی و رگرسیون نمایی نسبت بانندی

چنانکه Qiu و همکاران (۲۰۱۷) در مصب رودخانه زرد در چین با استفاده از سنسجده OLI لندست ۸، مقدار R^۲ مواد

منجیل به شدت کاهش یافته است، به طوری که در اثر سیلتاسیون مخزن^۴، هر سال در مجموع ۳۲ میلیون تن رسوب در داخل دریاچه سد ته نشین شده است و اکنون حجم مخزن به نصف آن در زمان ساخت رسیده است (حجم دریاچه در زمان ساخت ۱/۸ میلیارد مترمکعب به ۹۰۰ میلیون مترمکعب در حال حاضر رسید) (Kavian et al., ۲۰۱۸). یافته های این پژوهش نشان داد بیشترین مقدار SCC از رودخانه قزل اوزن وارد مخزن می شود. این نتیجه با یافته های Hajiabadi و Zarghami (۲۰۱۴) مطابقت دارد، چنان که محققان مذکور بیان کردند به دلیل پوشش گیاهی ضعیف و فرسایش زیاد خاک، سالانه مقدار زیادی رسوب وارد مخزن سد منجیل می شود که متوسط بار رسوب ورودی سالانه ۴۳ میلیون تن در سال (Mton/Y) بوده است که از این میزان، ۳۵ میلیون تن از رودخانه قزل اوزن، ۶ میلیون تن از رودخانه شاهرود و ۲ میلیون تن از منابع دیگر تامین می شود.

یافته های این پژوهش نشان داد امکان برآورد غلظت رسوبات معلق از تصاویر ماهواره ای به ویژه با شاخص TSM (نسبت B_4/B_3) به طور مطلوبی وجود دارد. با توجه به اینکه در بسیاری از ایستگاه های رسوب سنجی ایران امکان پایش مداوم غلظت رسوبات معلق، به ویژه در شرایط سیلابی و دبی های بالا به دلیل محدودیت های فنی و هزینه های نمونه برداری بسیار بعید است، بنابراین داده های ماهواره ای با توجه به پیشرفت و توسعه روزافزون این فناوری، امکان پایش رسوبات معلق با تفکیک زمانی مناسب را فراهم می کند. به عنوان مثال امروزه تصاویر ماهواره ای لندست به طور متوسط در هر ۸ روز یکبار، امکان تصویربرداری از یک محدوده را فراهم می کند. از سوی دیگر حتی در صورت امکان رفع محدودیت های فنی جهت نمونه برداری از غلظت رسوبات معلق از رودخانه ها در مواقع سیلابی، باز هم عملیات نمونه برداری هزینه هایی را متحمل متولیان امر می کند. به همین سبب دسترسی رایگان به منابع اطلاعاتی ماهواره ای می تواند در جهت کاهش هزینه های کنونی متمرکز واقع گردد. از طرف دیگر در بسیاری از حوزه های آبخیز ایران، به ویژه در مناطق صعب العبور و کوهستانی، کمبود ایستگاه های رسوب سنجی وجود دارد. بنابراین می توان با استفاده از تصاویر

B_4/B_3 را حدود ۰/۹۲ به دست آوردند. Pham و همکاران (۲۰۱۸) در رودخانه قرمز در شمال ویتنام با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست ۸ مقدار R^2 رابطه نمایی نسبت بانندی B_4/B_3 با SCC را در حدود ۰/۷۵ به دست آوردند که با مقدار به دست آمده در پژوهش حاضر بسیار مطابقت دارد. Patel و همکاران (۲۰۲۳) نیز با اعتبارسنجی نیز TSM تصاویر ماهواره OLCI۲ در خلیج بنگال در جنوب شرقی هند به این نتیجه رسیدند که میزان R^2 بین TSM اندازه گیری شده و به دست آمده از نسبت بانندی R_{rs681}/R_{rs490} در حدود ۰/۸۷ است.

به طور کلی استفاده از مدل نمایی و توانی نسبت بانندی در مقایسه با مدل های خطی ساده برای برآورد مقدار SCC از همبستگی بالایی برخوردار است، به طوری که Zhu و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی بر روی دریاچه غربی^۳ (Xi Hu) در شرق چین نیز با استفاده از تصاویر لندست ۸ مقدار R^2 رابطه نمایی نسبت بانندی B_4/B_3 را با پارامتر TSM ۰/۸۲ به دست آوردند و به این نتیجه رسیدند که مدل نمایی مبتنی بر باندهای B_3 و B_4 لندست ۸ برای تخمین TSM از کارایی بالایی برخوردار است.

با استفاده از رگرسیون نمایی بین شاخص TSM و SCC نقشه تغییرات مکانی SCC تهیه و نتایج به دست آمده مورد تجزیه تحلیل قرار گرفت. یافته ها نشان داد مقادیر SCC در دو سرشاخه بالادست سفیدرود یعنی قزل اوزن و شاهرود بیشتر است، اما پس ورود به سد مخزنی منجیل مقادیر SCC کاهش می یابد و با ادامه رودخانه سفیدرود در پایین دست مقدار آن به طور قابل ملاحظه افزایش نمی یابد. در واقع در نتیجه ته نشین شدن رسوبات معلق در بستر سد، کیفیت آب بهبود می یابد، چرا که رسوبات معلق به ویژه ذرات ریز به سبب حمل مواد شیمیایی، خود به عنوان آلاینده فیزیکی نیز محسوب می شوند (Aires et al., ۲۰۲۲). اما با ته نشین شدن رسوبات در پشت سد، منجر به کاهش ظرفیت مخزن سدها می شود. چنان که Kavian و همکاران (۲۰۱۸) عنوان کردند به سبب تغییرات اقلیم و دخالت های انسانی ظرفیت دریاچه سد

۱. Suspended Particulate Matter (SPM)

۲. Ocean and Land Colour Instruments from ESA-European Space Agency.

۳. West Lake

- Oliveira, N. and dos Santos Falcão, K. (۲۰۲۲) Assessment of current and future land use/cover changes in soil erosion in the Rio da Prata basin (Brazil). *Science of The Total Environment*, ۸۱۸(۲۰۱۷): ۱۵۱۸۱۱.
- Das, S., Kaur, S. and Jutla, A. (۲۰۲۱) Earth observations-based assessment of impact of COVID-۱۹ lockdown on surface water Quality of Buddha Nala, Punjab, India. *Water*, ۱۳(۱۰): ۱۳۶۳-۱۳۶۳.
- Dodangeh, E., Soltani, S., Sarhadi, A. and Shiau, J.T. (۲۰۱۴) Application of L-moments and Bayesian inference for low-flow regionalization in Sefidroud basin, Iran. *Hydrological Processes*, ۲۸(۴): ۱۶۶۳-۱۶۷۶.
- dos Santos, F.M., de Souza Pelinson, N., de Oliveira, R.P. and Di Lollo, J.A. (۲۰۲۳) Using the SWAT model to identify erosion prone areas and to estimate soil loss and sediment transport in Mogi Guaçu River basin in Sao Paulo State, Brazil. *Catena*, ۲۲۲(۱۰): ۱۰۶۸۷۲.
- Du, Y., Song, K., Liu, G., Wen, Z., Fang, C., Shang, Y., Zhao, F., Wang, Q., Du, J. and Zhang, B. (۲۰۲۰) Quantifying total suspended matter (TSM) in waters using Landsat images during ۱۹۸۴-۲۰۱۸ across the Songnen Plain, Northeast China. *Journal of environmental management*, ۲۶۲(۱۵): ۱۱۰۳۳۴.
- Efthimiou, N. (۲۰۱۹) The role of sediment rating curve development methodology on river load modeling. *Environmental Monitoring and Assessment*, ۱۹۱(۲): ۱-۱۹.
- Fensholt, R., Sandholt, I. and Proud, S.R. (۲۰۱۰) Assessment of MODIS sun-sensor geometry variations effect on observed NDVI using MSG SEVIRI geostationary data. *International Journal of Remote Sensing*, ۳۱(۲۳): ۶۱۶۳-۶۱۸۷.
- Gao, B.C. (۱۹۹۶) NDWI-A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, ۵۸(۳): ۲۵۷-۲۶۶.
- Ghaffari, A., Nasser, M. and Pasebani Someeh, A. (۲۰۲۲) Assessing the economic effects of drought using Positive Mathematical Planning model under climate change scenarios. *Heliyon*, ۸(۱۲): ۱۱۹۴۱.
- Hadiyan, P.P., Moeini, R. and Ehsanzadeh, E. (۲۰۲۰) Application of static and dynamic artificial neural networks for forecasting inflow discharges, case study: Sefidroud Dam reservoir. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, ۲۷(۲): ۱۰۰۴۰۱.
- Hajiabadi, R. and Zarghami, M. (۲۰۱۴) Multi-objective reservoir operation with sediment flushing; case study of Sefidroud reservoir. *Water Resources Management*, ۲۸(۱۵): ۵۳۵۷-۵۳۷۶.
- Hariyanto, T., Krisna, T.C., Pribadi, C.B. and Anwar, N. (۲۰۱۷) Development of total suspended sediment model using Landsat-۸ OLI and in-situ data at the Surabaya Coast, East Java, Indonesia. *The Indonesian Journal of Geography*, ۴۹(۱): ۷۳-۷۳.
- Im, J., Jensen, R. and Tullis, J.A. (۲۰۰۸) Object-based change detection using correlation image analysis ماهواره‌ای، الگوریتم‌هایی را جهت برآورد غلظت رسوبات معلق در حوزه‌های آبخیز دارای ایستگاه رسوب‌سنجی تدوین کرد و روابط رگرسیونی به دست آمده از این الگوریتم‌ها را به حوزه‌های فاقد اطلاعات رسوب‌سنجی زمینی، تعمیم داد. علاوه بر موارد فوق، نمونه‌برداری در ایستگاه‌های رسوب سنجی به صورت نقطه‌ای و درجا بوده، درحالی‌که SCC با توجه به شرایط رودخانه در مناطق مختلف و در طول بازه‌های مختلف آن متفاوت است (Du et al., ۲۰۲۰). بنابراین با استفاده از منحنی‌های سنج رسوب، نمی‌توان تغییرات مکانی غلظت رسوبات معلق را در طول بازه رودخانه یا پهنه آبی، پیش کرد (Lei et al., ۲۰۲۱). به همین سبب با کاربرد مدل‌های رگرسیونی مبتنی بر اطلاعات ماهواره‌ای، امکان تهیه تغییرات مکانی SCC وجود دارد. این امر علاوه بر کمک به شناسایی محدوده‌ها و بازه‌های فرسایش‌پذیر رودخانه می‌تواند با سایر اطلاعات محیطی مانند دمای آب، غلظت کلروفیل-آ ادغام شده و درک گسترده‌ای از پویایی اکوسیستم، چرخه مواد مغذی و سلامت اکوسیستم آبی را امکان‌پذیر کند. در واقع نقشه‌برداری SCC مبتنی بر سنجش از دور ابزار مفیدی برای بررسی و کنترل کیفیت آب، اکوسیستم‌های آبی و فرآیندهای زیست محیطی مرتبط در مقیاس منطقه‌ای و جهانی بوده که دارای مزایایی چون پوشش گسترده، نظارت مکرر و داده‌های با وضوح بالا است.
- منابع**
- Abbasi, A., Taghavi, L. and Sarai Tabrizi, M. (۲۰۲۱) Qualitative zoning of groundwater to assessment suitable drinking water using GIS software in Mohammad Shahr, Meshkinshahr, and Mahdasht in Alborz Province. *Anthropogenic Pollution*, ۵(۱), ۱۳۸-۱۴۹. doi: ۱۰.۲۲۰۳۴/ap.۲۰۲۱.۱۹۰۷۷۸۷,۱۰۷۶/
- Adjovu, G.E., Stephen, H., James, D. and Ahmad, S. (۲۰۲۳) Overview of the application of remote sensing in effective monitoring of water quality parameters. *Remote Sensing*, ۱۵(۷): ۱۹۳۸-۱۹۳۸.
- Chelotti, G.B., Martinez, J.M., Roig, H.L. and Olivetti, D. (۲۰۱۹) Space-Temporal analysis of suspended sediment in low concentration reservoir by remote sensing. *RBRH*, ۲۴(۱۴): e۱۷.
- Cremon, É.H., da Silva, A.M.S. and Montanher, O.C. (۲۰۲۰) Estimating the suspended sediment concentration from TM/Landsat-۵ images for the Araguaia River-Brazil. *Remote Sensing Letters*, ۱۱(۱): ۴۷-۵۶.
- da Cunha, E.R., Santos, C.A.G., da Silva, R.M., Panachuki, E., de Oliveira, P.T.S., de Souza

- Martinez, J.M., Espinoza-Villar, R., Armijos, E. and Silva Moreira, L. (۲۰۱۵) The optical properties of river and floodplain waters in the Amazon River Basin: Implications for satellite-based measurements of suspended particulate matter. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, ۱۲۰(۷): ۱۲۷۴-۱۲۸۷.
- Mohammadi, J., Fataei, E., Aghchekandi, A.O. and Taghavi, L. (۲۰۲۳) Investigation and determination of land use effects on surface water quality in semi-arid areas: Case study on Qarasu River in Iran. *Anthropogenic Pollution (Anthropog. pollut)*, ۷(۲): ۵۱-۷.
- Nukapothula, S., Yunus, A.P., Chuqun, C. and Lin, X. (۲۰۲۳) Impact of extreme climatic events on the total suspended matter concentrations in coastal waters using OceanSat-۲ observations. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, ۱۳۱(۴): ۱۰۳۴-۳۵.
- Othman, F., Sadeghian, M.S., Ebrahimi, F. and Heydari, M. (۲۰۱۲) A study on sedimentation in sefidroud dam by using depth evaluation and comparing the results with USBR and FAO methods. *International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering*, ۵۱(۹): ۶-۶.
- Patel, B., Prajapati, A., Sarangi, R.K., Devliya, B. and Patel, H. (۲۰۲۲) Validation of the Total Suspended Matter (TSM) algorithm using in situ datasets over the Bay of Bengal Coastal Water. *Marine Geodesy*, ۴۶(۶): ۵۴۸-۵۶۱.
- Paulista, R.S.D., de Almeida, F.T., de Souza, A.P., Hoshide, A.K., de Abreu, D.C., da Silva Araujo, J.W. and Martim, C.C. (۲۰۲۳) Estimating Suspended Sediment Concentration using Remote Sensing for the Teles Pires River, Brazil. *Sustainability*, ۱۵(۹): ۷۰۴۹-۷۰۴۹.
- Peterson, K.T., Sagan, V., Sidike, P., Cox, A.L. and Martinez, M. (۲۰۱۸) Suspended sediment concentration estimation from landsat imagery along the lower missouri and middle Mississippi Rivers using an extreme learning machine. *Remote Sensing*, ۱۰(۱۰): ۱۵۰۳-۱۵۰۳.
- Pham, Q.V., Ha, N.T.T., Pahlevan, N., Oanh, L.T., Nguyen, T.B. and Nguyen, N.T. (۲۰۱۸) Using Landsat-۸ images for quantifying suspended sediment concentration in Red River (Northern Vietnam). *Remote Sensing*, ۱۰(۱۱): ۱۸۴۱-۱۸۴۱.
- Pushparaj, J. and Hegde, A.V. (۲۰۱۷) Evaluation of pan-sharpening methods for spatial and spectral quality. *Applied Geomatics*, ۹(۱): ۱-۱۲.
- Qiu, Z., Xiao, C., Perrie, W., Sun, D., Wang, S., Shen, H., Yang, D. and He, Y. (۲۰۱۷) Using Landsat ۸ data to estimate suspended particulate matter in the Yellow River estuary. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, ۱۲۲(۱): ۲۷۶-۲۹۰.
- Quang, N.H., Sasaki, J., Higa, H. and Huan, N.H. (۲۰۱۷) Spatiotemporal variation of turbidity based on landsat ۸ OLI in Cam Ranh Bay and Thuy Trieu Lagoon, Vietnam. *Water*, ۹(۸): ۵۷۰-۵۷۰.
- Riquetti, N.B., Mello, C.R., Leandro, D., Guzman, J.A. and Beskow, S. (۲۰۲۲) Assessment of the soil-erosion-sediment for sustainable development of and image segmentation. *International Journal of Remote Sensing*, ۲۹(۲): ۳۹۹-۴۲۳.
- Jaelani, L.M., Limehuwey, R., Kurniadin, N., Pamungkas, A., Koenhardono, E.S. and Sulisetyono, A. (۲۰۱۶) Estimation of Total Suspended Sediment and Chlorophyll-A Concentration from Landsat ۸-Oli: The Effect of Atmospher and Retrieval Algorithm. *IPTEK The Journal for Technology and Science*, ۲۷(۱): ۱۶-۲۳.
- Jally, S.K., Mishra, A.K. and Balabantaray, S. (۲۰۲۱) Retrieval of suspended sediment concentration of the Chilika Lake, India using Landsat-۸ OLI satellite data. *Environmental Earth Sciences*, ۸۰(۸): ۱-۱۸.
- Jayaram, C., Patidar, G., Swain, D., Chowdary, V.M. and Bandyopadhyay, S. (۲۰۲۱) Total suspended matter distribution in the Hooghly River estuary and the Sundarbans: a remote sensing approach. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, ۱۴(۱): ۹۰۶۴-۹۰۷۰.
- Jin, F., Yang, W., Fu, J. and Li, Z. (۲۰۲۱) Effects of vegetation and climate on the changes of soil erosion in the Loess Plateau of China. *Science of the Total Environment*, ۷۷۳: ۱۴۵۵۱۴.
- Kantakumar, L.N. and Neelamsetti, P. (۲۰۱۵) Multi-temporal land use classification using hybrid approach. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, ۱۸(۲): ۲۸۹-۲۹۵.
- Kavzoglu, T. and Colkesen, I. (۲۰۰۹) A Kernel function analysis for support vector machines for land cover classification. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* ۱۱(۵): ۳۵۲-۳۵۹.
- Kavian, A., Saleh, I., Habibnejad, M., Brevik, E.C., Jafarian, Z. and Rodrigo-Comino, J. (۲۰۱۸) Effectiveness of vegetative buffer strips at reducing runoff, soil erosion, and nitrate transport during degraded hillslope restoration in northern Iran. *Land Degradation and Development*, ۲۹(۹): ۳۱۹۴-۳۲۰۳.
- Khosravi, K., Rostaminejad, M., Cooper, J.R., Mao, L. and Melesse, A.M. (۲۰۱۹) Dam break analysis and flood inundation mapping: The case study of Sefid-Roud Dam, Iran, In *Extreme hydrology and climate variability* (۳۹۵-۴۰۵), Elsevier.
- Kwon, S., Noh, H., Seo, I.W. and Park, Y.S. (۲۰۲۳) Effects of spectral variability due to sediment and bottom characteristics on remote sensing for suspended sediment in shallow rivers. *Science of the Total Environment*, ۸۷۸: ۱۶۳۱۲۵.
- Lei, S., Xu, J., Li, Y., Li, L., Lyu, H., Liu, G., Chen, Y., Lu, C., Tian, C. and Jiao, W. (۲۰۲۱) A semi-analytical algorithm for deriving the particle size distribution slope of turbid inland water based on OLCI data: A case study in Lake Hongze. *Environmental Pollution*, ۲۷۷(۲۰۲۱): ۱۱۶۲۸۸.
- Manoppo, A.K. and Budhiman, S. (۲۰۱۷) Estimation on the concentration of total suspended matter in Lombok Coastal using Landsat ۸ OLI, Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (۵۴(۱): ۰۱۲۰۷۳). IOP Publishing.

- Yepez, S., Laraque, A., Martinez, J.M., De Sa, J., Carrera, J.M., Castellanos, B., Gallay, M. and Lopez, J.L. (۲۰۱۸) Retrieval of suspended sediment concentrations using Landsat-۸ OLI satellite images in the Orinoco River (Venezuela). *Comptes Rendus Geoscience*, ۳۵۰(۱-۲): ۲۰-۳۰.
- Yia, L., Binga, L., Qian-lia, P., Chenc P. and Yuan, L. (۲۰۱۲) A change detection method for remote sensing image based on multi-feature differencing Kernel Svm. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, ۱(۱): ۲۲۷-۲۳۵.
- PAN Chenc, LU Yuan
- Yu, Z., Wang, J., Li, Y., Shum, C.K., Wang, B., He, X., Xu, H., Xu, Y. and Zhou, B. (۲۰۲۲) Remote sensing of suspended sediment in high turbid estuary from sentinel-۲A/OLCI: A case study of Hangzhou Bay. *Frontiers in Marine Science*, ۹(۱۰۰۸۰۷۰): ۱۰۰۸۰۷۰.
- Farhadi, H., Fataei, E., Kharrat Sadeghi M. (۲۰۲۰) The Relationship between Nitrate Distribution in Groundwater and Agricultural Landuse (Case Study: Ardabil Plain, Iran), *Journal Anthropogenic Pollution*, ۴(۱): ۵۰-۵۶.
- Zhang, J., Yang, J. and Reinartz, P. (۲۰۱۶) The optimized block-regression-based fusion algorithm for pan sharpening of very high-resolution satellite imagery. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B۷*, ۲۰۱۶ XXIII ISPRS Congress, ۱۲-۱۹ July ۲۰۱۶, Prague, Czech Republic.
- Zhang, Y., Zhang, Y., Shi, K., Zha, Y., Zhou, Y. and Liu, M. (۲۰۱۶) A Landsat ۸ OLI-based, semianalytical model for estimating the total suspended matter concentration in the slightly turbid Xin'anjiang Reservoir (China). *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, ۹(۱): ۳۹۸-۴۱۳.
- Zhu, W., Huang, L., Sun, N., Chen, J. and Pang, S. (۲۰۲۰) Landsat ۸-observed water quality and its coupled environmental factors for urban scenery lakes: A case study of West Lake. *Water Environment Research*, ۹۲(۲): ۲۵۵-۲۶۵.
- South America. *Journal of Environmental Management*, ۳۲۱(۱): ۱۱۵۹۳۳.
- Sa'ad, F.N.A., Tahir, M.S., Jemily, N.H.B., Ahmad, A. and Amin, A.R.M. (۲۰۲۱) Monitoring total suspended sediment concentration in spatiotemporal domain over Teluk Lipat utilizing Landsat ۸ (OLI). *Applied Sciences*, ۱۱(۱۵): ۷۰۸۲.
- Safizadeh, E., Karimi, D., Gahfarzadeh, H.R. and Pourhashemi, S.A. (۲۰۲۱) Investigation of physicochemical properties of water in downstream areas of selected dams in Aras catchment and water quality assessment, Case study Aras catchment in the border area of Iran and Armenia. *Anthropogenic Pollution*, ۵(۱), ۴۱-۴۸. doi: ۱۰.۲۲۰۳۴/ap.۲۰۲۱.۱۹۱۲۴۹۱.۱۰۸۲/
- Toming, K., Kutser, T., Uiboupin, R., Arikas, A., Vahter, K. and Paavel, B. (۲۰۱۷) Mapping water quality parameters with sentinel-۲ ocean and land colour instrument imagery in the Baltic Sea. *Remote Sensing*, ۹(۱۰): ۱۰۷۰-۱۰۷۰.
- Womber, Z.R., Zimale, F.A., Kebedew, M.G., Asers, B.W., DeLuca, N.M., Guzman, C.D., Tilahun, S.A. and Zaitchik, B.F. (۲۰۲۱) Estimation of suspended sediment concentration from remote sensing and in situ measurement over Lake Tana, Ethiopia. *Advances in Civil Engineering*, ۲۰۲۱(۹۹۴۸۷۸۰): ۱-۱۷.
- Xiao, Y., Chen, J., Xu, Y., Guo, S., Nie, X., Guo, Y., Li, X., Hao, F. and Fu, Y.H. (۲۰۲۳) Monitoring of chlorophyll-a and suspended sediment concentrations in optically complex inland rivers using multisource remote sensing measurements. *Ecological Indicators*, ۱۵۵: ۱۱۱۰۴۱.
- Xu, H. (۲۰۰۶) Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, ۲۷(۱۴): ۳۰۲۵-۳۰۳۳.
- Xu, S. and Ehlers, M. (۲۰۱۷) Hyperspectral image sharpening based on Ehlers fusion. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-۲/W۷*: ۹۴۱-۹۴۷.
- Yang, H., Kong, J., Hu, H., Du, Y., Gao, M. and Chen, F. (۲۰۲۲) A review of remote sensing for water quality retrieval: Progress and challenges. *Remote Sensing*, ۱۴(۸): ۱۷۷۰-۱۷۷۰.

Monitoring spatial changes of suspended sediment concentration (SCC) using linear and non-linear regression models of satellite spectral data in Sefidroud River in northern Iran

Mohammad Reza Salami^۱, Ebrahim Fataei^{*۲}, Fateme Nasahi^۳, Behnam Khanizadeh^۴, Hossein Saadati^۳

- ۱) Ph.D. Student, of Environmental Sciences and Engineering, Department to Environmental Sciences and Engineering, Ardabil Branch Islamic Azad University, Ardabil, Iran.
- ۲) Professor, Department of Environmental, Ardabil Branch, Islamic Azad University, Ardabil, Iran. *Corresponding Author Email Address: eb.fataei@iau.ac.ir
- ۳) Assistant Professor, Department of Environmental, Ardabil Branch, Islamic Azad University, Ardabil, Iran.
- ۴) Assistant Professor, Department of Chemistry, Sarab Branch, Islamic Azad University, Sarab, Iran.

Date of Submission: ۲۰۲۴/۰۵/۰۷

Date of Acceptance: ۲۰۲۴/۰۸/۱۱

Abstract

Sefidroud is one of the wateriest rivers in the north of Iran, which plays a very important role in the production of agriculture, livestock, fisheries and the supply of hydroelectric energy in Gilan province. In the current research, during the period of ۲۰۱۳-۲۰۲۰, the changes in suspended sediment concentration (SCC) were monitored using the sampling data of four sediment measuring stations on the Sefidroud River as well as Landsat ۸ satellite images. For this purpose, the relationships of linear multiple regression of spectral reflectance of ۷ single bands and ۲۱ band ratios with observational SCC as well as simple, logarithmic, power and exponential linear regressions of TSM index with SCC were investigated and among the regression models, the model with the highest R^2 with was SCC, it was used as the most appropriate model to prepare the map of spatial changes of SCC. The results showed that the TSM index (B_4/B_2 ratio) had the highest correlation with observed SCC, so that the R^2 value of the exponential relationship between TSM and observed SCC was ۰.۷۴. In the following, using the mentioned exponential model, a map of spatial changes of SCC was prepared and SCC changes along the river openings were investigated. The results showed that the amount of SCC is higher in the two main branches of Sefidroud (Qezaluzen and Shahroud), but after these rivers enter the reservoir of Manjil Dam (Safiroud), the SCC values inside the reservoir decreased due to the sedimentation of SCC and its values in the downstream. The reservoir along the Sefidroud river is also less than the main branches. The findings indicate that among the two branches of Sefidroud, the Qezaluzen river with higher SCC plays a greater role in settling sediments in the reservoir of Manjil dam and reducing the storage capacity of this dam. In general, the results of this research showed that by using satellite information, especially the TSM index, it is possible to monitor SCC changes along the river at a cost and in short time intervals very efficiently.

Keywords: Band ratio B_4/B_2 , Landsat ۸, Sefidroud, Suspended sediment concentration, TSM.