

بررسی غلظت رسوب معلق در دلتای هندیجان با استفاده از تکنیک سنجش از دور

سعیده شیرین منش^۱، مسعود صدقی نسب^{۲*}، علی کرمی خانیکی^۳، امیر اشتری لرکی^۴ و سید مصطفی سیادت موسوی^۵
^۱ دانشجوی دکتری، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، ایران، ^۲ دانشیار، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، ایران، ^۳ دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، ^۴ استادیار، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، ایران و ^۵ استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۱۷

چکیده

بررسی غلظت رسوب معلق در دلتاها یکی از مهمترین مباحث محیط زیستی و مهندسی در دریا محسوب می‌شود. الگوی پخش رسوب معلق نزدیک سواحل را می‌توان با توجه به توپوگرافی بستر و نوع جریان‌های غالب منطقه، به‌وسیله نمونه‌برداری از رسوب معلق دریا و ترکیب آن با محصولات سنجش از دور پیدا کرد. این نوشتار دستاورد پژوهشی است که هدف آن تعیین الگوریتم حاکم بر غلظت رسوب معلق سطحی با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸، OLI و داده‌های میدانی در دلتای هندیجان در شمال غربی خلیج فارس بوده است. برای این منظور، هم‌زمان با عبور ماهواره لندست ۸ در تاریخ‌های اول اسفند ۱۳۹۴ و ۱۸ بهمن ۱۳۹۵، نمونه‌برداری از آب و رسوب در بیش از ۶۰ ایستگاه انجام شد و محدوده تغییرات غلظت رسوب معلق در دلتای هندیجان $1 \pm (0-740) \text{ mg/l}$ اندازه‌گیری شد. پس از تصحیح هندسی و اتمسفری تصاویر SWIR ماهواره لندست ۸، OLI، روابط مقادیر غلظت رسوب معلق با کمیت بازتاب‌های تصاویر فوق مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که همبستگی بالایی بین غلظت رسوب به‌دست آمده و بازتاب‌های سطحی در نوارهای ۴ و ۵ ماهواره لندست ۸ وجود دارد. با استفاده از آزمون‌های آماری و آزمون بیش از ۵۰ معادله، نوع الگوریتم حاکم بر غلظت رسوب معلق تعیین شد. بهترین الگوریتم با ترکیب نوار ۴ و نوار ۵ ماهواره لندست ۸ و از نوع نمایی انتخاب شد. ضریب همبستگی پیرسن $r=0/93$ و میزان جزر میانگین ریشه مربعات خطا و خطای نسبی به ترتیب $RMSE=28/12 \text{ mg l}^{-1}$ و $PRMSE=34/24$ درصد به‌دست آمد. پس از اعمال الگوریتم به‌دست آمده بر تصاویر ماهواره‌ای، نقشه پراکندگی رسوب معلق سطحی در دلتای هندیجان حاصل شد. طبق این نتایج، غلظت رسوب معلق در نزدیک ساحل هندیجان مقدار بالایی دارد و با دور شدن از ساحل، مقدار رسوب معلق کاهش می‌یابد. میزان این تغییرات از مناطق نزدیک به ساحل دلتا تا فاصله پنج کیلومتری به سمت دریا، حدود 2800 mg l^{-1} تا 20 mg l^{-1} در تاریخ اول اسفند ۹۴ و 800 mg l^{-1} تا 15 mg l^{-1} در تاریخ ۱۸ بهمن ۹۵ برآورد شد. نتیجه این‌که تصاویر لندست ۸، OLI برای محاسبه غلظت رسوب معلق در دلتای هندیجان بسیار مناسب است.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم، اندازه‌گیری در محل، خلیج فارس، لندست ۸، محاسبه غلظت رسوب معلق

* مسئول مکاتبات: masoud.sadri@gmail.com

مقدمه

دلتهای آخرین محل استحصال آب شیرین بوده، احداث هرگونه سازه دریایی اثرات قابل ملاحظه‌ای بر فرایندهای هیدرودینامیکی رسوب منطقه خواهد داشت. بنابراین، مطالعه نحوه انتقال رسوب حاکم بر منطقه مورد مطالعه در تعیین هندسه و شکل سواحل و مصبها بسیار مفید و لازم است. آگاهی از غلظت رسوب معلق در دلتاها و مناطق ساحلی به بررسی ریخت‌شناسی و محیط زیست سواحل، کیفیت آب، پخش آلودگی در مناطق ساحلی، بهره‌برداری از بنتوزها و فیتوپلانکتون‌ها، سنجش کدورت برای تشخیص زیستگاه‌های ماهیان و همچنین، در مدیریت مهندسی مناطق ساحلی و ساخت سازه‌های ساحلی کمک شایانی می‌کند. برآورد مقدار مواد معلق منجر به شناخت چرخه کربن و اکسیژن و مواد مغذی در ساحل می‌شود (Qiu, 2017).

یکی از راه‌های شناخت دینامیک رسوب معلق استفاده از تصاویر ماهواره‌ای است. داده‌های حاصل از نوارهای مرئی ماهواره در مناطق ساحلی، اطلاعات رنگ آب را نشان می‌دهند (Morel و Priour, 1977). در تحلیل داده‌های ماهواره در محدوده نور مرئی، مواد معلق در آب به سه دسته‌ی رنگ دانه‌های فیتوپلانکتون، رسوبات و مواد آلی محلول در آب تقسیم می‌شوند که هر کدام از این‌ها دارای خصوصیات رنگی منحصر به فرد هستند (Sathyendranath و همکاران، 1989). تصاویر ماهواره‌ای قابلیت آشکارسازی تغییرات بسیاری از پدیده‌ها از جمله غلظت رسوب معلق سطحی در سواحل دارند. برای استفاده از این قابلیت برای مکان‌های کوچک مانند دلتای رودخانه نمی‌توان از الگوریتم‌های جهانی برای تخمین پارامترهای فیزیکی استفاده کرد. الگوریتم حاکم بر غلظت رسوب معلق تولید شده با توجه به شرایط اقلیمی، جزرومد، امواج، توپوگرافی بستر و نوع رسوبات رودخانه و دلتای محل مورد مطالعه، کاملاً منحصر به فرد می‌باشد و لزوماً در مناطق دیگر کاربرد ندارد. بنابراین، با توجه به شرایط محیطی هر منطقه الگوریتمی تهیه می‌شود که تنها می‌توان از آن برای یافتن غلظت رسوب معلق از داده‌های سنجش از دوری در همان منطقه بهره برد. از

این رو، انتخاب تصویر ماهواره‌ای و سنجش کارایی تصاویر، انتخاب نوع نوار و روش تصحیح اتمسفری داده‌های ماهواره‌ای برای دستیابی به الگوریتم حاکم بر غلظت رسوب معلق هر منطقه از اهمیت بالایی برخوردار است.

روش بهینه برای یافتن مدل محلی غلظت رسوب معلق، استفاده از داده‌های میدانی جمع‌آوری شده در زمان تصویربرداری ماهواره‌ای است. Ritchie و Schiebe (2000) نشان دادند که بین تصاویر دریافت شده در طول موج‌های مختلف با غلظت رسوب معلق هر منطقه همبستگی وجود دارد و می‌توان از این نوارها برای تخمین و ارزیابی میزان غلظت رسوب معلق سطح آب استفاده کرد.

الگوریتم حاکم بر غلظت رسوب معلق، تابع انتخاب بهینه تصاویر ماهواره‌ای است. Yavari (2004) برای بررسی رسوب‌گذاری حوضه شمال غربی خلیج فارس (حد فاصل رودخانه زهره تا بندر دیلم)، با استفاده از مقادیر رسوب معلق و پارامترهای فیزیکی آب در نه ایستگاه در طول یک روز نمونه‌برداری و تطبیق آن‌ها با داده‌های تصحیح شده ماهواره Liss III, IRS، به یک مدل خطی از ارتباط رسوب معلق و داده‌های ماهواره‌ای با ضریب همبستگی^۱ ۰/۵۷- دست پیدا کرد و در آخر میزان رسوب معلق در آن منطقه را برآورد کرد. Teodoro و Gomes (2007) با استفاده از تصاویر ماهواره ASTER و TERRA و اندازه‌گیری میدانی در ساحل پرتغال توانستند رابطه تجربی بین بازتابش سطح آب در نوار مرئی و مادون قرمز و غلظت رسوب معلق، برآورد کنند. بیشترین مقدار همبستگی بین بازتابش در طول موج بین ۵۰۰ تا ۹۰۰ نانومتر و غلظت رسوب به‌دست آمده به‌وسیله عملیات میدانی در مدل رگرسیون خطی و چندجمله‌ای^۲ نسبت به بقیه مدل‌ها بود. آن‌ها نشان دادند که برای محاسبه غلظت رسوب معلق از تصاویر ماهواره‌ای، استفاده از اطلاعات یک نوار خاص کافی نیست. Kazemzadeh (2013) تغییرات زمانی و مکانی غلظت رسوب معلق را با استفاده از داده‌های سری زمانی نه ساله نوار ۱ و

¹ Correlation coefficient

² Polynomial regression

شدند که انتقال رسوب معلق در مصب رودخانه‌ها به‌وسیله پارامترهای مختلفی از قبیل مقدار آب و رسوب وارد شده از رودخانه به دریا و همچنین جزر و مد و امواج، کنترل می‌شوند و در فاصله زمانی بین این تصاویر، سرعت باد و شرایط جزرومدی نسبت به آورد رسوب به‌وسیله رودخانه در شکل‌گیری الگوی پراکندگی رسوب نقشی اساسی تر دارند.

برخی الگوریتم‌های توسعه یافته در تحقیقات قبل در جدول ۱ ارائه شده است. الگوریتم‌ها بر حسب موضوع تحقیق بر اساس غلظت رسوب معلق (SSC)، کل مواد معلق (TSM)، کل رسوب معلق (TSS)، ذرات معلق (SPM) و R بازتابش در طول موج‌های خاص ماهواره لندست در هر مطالعه در مکان‌های مختلف جهان معرفی شده است.

در دلتای هندیجان تا کنون الگوریتم غلظت رسوب معلق با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ ارائه نشده است. در این تحقیق، با استفاده از داده‌های میدانی غلظت رسوب معلق و داده‌های تصحیح شده تصاویر SWIR ماهواره لندست ۸ و انجام آزمون‌های آماری مختلف، الگوریتم جدیدی برای تخمین غلظت رسوب معلق در دلتای هندیجان ارائه شد که می‌توان با استفاده از آن تغییرات غلظت رسوب را در فصولی که اندازه‌گیری وجود ندارد و در کل سال تعیین کرد. نتایج این تحقیق می‌تواند برای مدیران و برنامه‌ریزان منابع طبیعی ساحلی و محققین دانشگاهی مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: دلتای رودخانه هندیجان در منتهی‌البه حوضه رودخانه زهره در منطقه هندیجان جنوب خوزستان واقع شده است. در شکل ۱، موقعیت کلی حوضه رودخانه هندیجان و تصویر ماهواره لندست ۸ از منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. مساحت حوزه آبخیز زهره ۱۶۰۳۳ کیلومتر مربع است که حدود ۱۰۷۸۹ کیلومتر مربع آن را مناطق کوهستانی، و حدود ۵۲۴۴ کیلومتر مربع آن را کوه‌پایه و دشت‌ها تشکیل می‌دهند. وسعت دشت‌ها در بخش علیای حوزه آبخیز کمتر بوده، قسمت بیشتر آن در منطقه زیدون و هندیجان در جلگه خوزستان قرار

۲ ماهواره مادیس و داده‌های میدانی حاصل از نه روز نمونه‌برداری در مصب جزرومدی بهمن‌شیر را با ضریب تعیین^۱ $R^2 = 0.86$ و خطای میانگین ریشه مربعات $RMSE = 32.5$ میلی‌گرم برلیتر به‌دست آورد. Ritchie و Cooper (۱۹۸۸) با استفاده از داده‌های میدانی برداشت شده از رودخانه می‌سی‌سی‌پی در ۲۷ روز عبور ماهواره لندست MSS و مقایسه بازتابش ۱۴ تصویر با میزان غلظت رسوب معلق روی سطح آب به رابطه رگرسیونی خطی و چندجمله‌ای با ضریب تعیین $R^2 = 0.8$ و خطای میانگین ریشه مربعات ۴۰ $RMSE =$ میلی‌گرم بر لیتر دست پیدا کردند. این تحقیق نشان داد که در غلظت‌های بین ۵۰ تا ۲۵۰ میلی‌گرم بر لیتر می‌توان از تصاویر ماهواره لندست MSS بهره برد.

مطالعه کیفیت آب دریا به‌وسیله تصاویر ماهواره‌ای نیازمند تصاویری است که با دقت بالایی تصحیح اتمسفری شده، تخمین درستی از ذرات معلق بالای اتمسفر داشته باشند. در این راستا، مدل‌هایی برای تصحیح اتمسفری تصاویر حاوی آب‌های با کدورت بالا، ارائه شده است. Vanhellemont و Ruddick (۲۰۱۵) برای تصاویر ماهواره لندست ۸ تصحیح اتمسفری را به دو روش استفاده از امواج مادون قرمز نزدیک (NIR)^۲ و امواج کوتاه (SWIR)^۳ پیشنهاد دادند. آن‌ها در نهایت به این نتیجه رسیدند که استفاده از نوارهای امواج کوتاه ماهواره لندست ۸ کارایی بالایی در تصحیح اتمسفری تصاویر حاوی کدورت زیاد دارد.

بین مقدار رسوب وارده از رودخانه به دریا و فرایندهای دریایی موثر بر پخش رسوبات با ریخت‌شناسی مصب‌ها ارتباط مستقیم وجود دارد (Hansen و Ratray، ۱۹۶۶). Li و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست TM که در سال‌های ۱۹۸۷، ۱۹۸۸ و ۲۰۰۷ گرفته شده بود، توانستند تغییرات زمانی و مکانی رسوب معلق سطحی مصب چانگجیان^۴ در چین را تخمین بزنند. آن‌ها متوجه

¹ Coefficient of determination

² Near infrared

³ Shortwave infrared

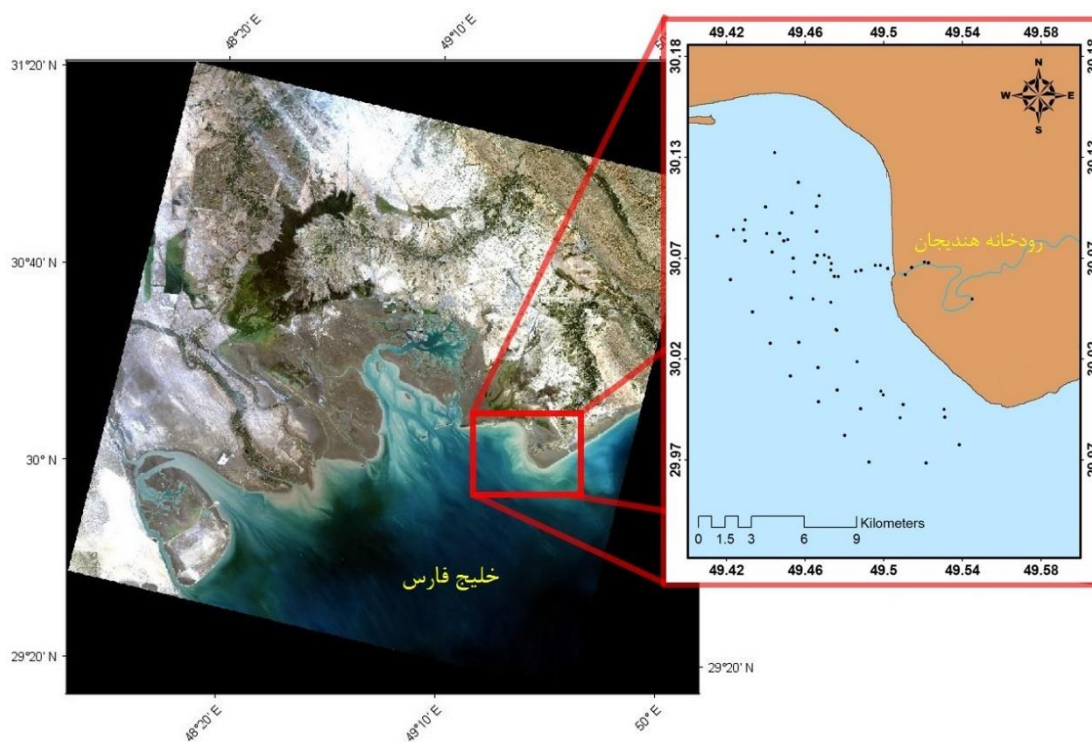
⁴ Changjiang

حدود دو متر است و میانگین رسوب وارد شده از رودخانه حدود هشت تن در سال می‌باشد (Gharibreza و همکاران، ۲۰۱۴).

گرفته است. حوزه آبخیز زهره در تقسیم‌بندی کلی هیدرولوژی ایران، جزء آبریز خلیج فارس است. دلتای هنديجان در قسمت جنوبی این حوضه واقع شده است. میانگین ارتفاع جزر و مد در منطقه هنديجان

جدول ۱- چند نمونه از روابط تجربی به‌دست آمده در مطالعات قبلی در مناطق مختلف جهان

مرجع	ضریب همبستگی	بیشینه مقدار غلظت رسوب معلق ($mg\ l^{-1}$)	رابطه تجربی بین رسوب معلق و بازتابش	طول موج	سنسور و نوار
Manoppo و همکاران (۲۰۱۷)	۰/۷۹	۲۱	$TSM = 10^{1.6+0.23\log\left(\left(\frac{R1-R2}{R2}\right)\left(\frac{R1}{R2}\right)^{-1}\right)} - 10$	R1=۵۵۰ R2=۶۷۰	Landsat۸, OLI
Min و همکاران (۲۰۱۲)	۰/۹	۵۵	$SSC = 0.24 \times e^{188.3 \times R}$	R=۵۶۰	Modis, TM/ETM+,۴
Yavari (۲۰۰۴)	-۰/۵۷	۱۱۲	$SSC = 0.0638 + 0.00558 \times R$	R=۵۶۰	IRS, Liss III
Doxaran و همکاران (۲۰۰۳)	۰/۹۷	۲۵۰۰	$SPM = 29.022 \times e^{0.0335 \times \left(\frac{R2}{R1}\right)}$	R1=۶۰۰-۵۲۰ R2=۹۰۰-۷۶۰	Landsat TM ۲,۴
Dekker و همکاران (۲۰۰۱)	۰/۳	۵۰	$TSM = 0.7581 \times e^{61.683 \times \left(\frac{R1+R2}{2}\right)}$	R1=۶۰۰-۵۲۰ R2=۶۹۰-۶۳۰	Landsat TM ۲,۴
Islam و همکاران (۲۰۰۱)	۰/۳۶	۱۱۵۰	$SSC = 69.39 \times R - 201$	R=۶۹۰-۶۳۰	Landsat TM ۳
Ritchie و cooper (۱۹۹۱)	۰/۳۴	۱۵۰	$Ln(SSC) = -9.21 \times \left(\frac{R1}{R2}\right) + 2.71 \times \left(\frac{R1}{R2}\right)^2 + 8.45$	R1=۶۰۰-۵۰۰ R2=۷۰۰-۶۰۰	Landsat MSS ۱,۲
Lathrop و همکاران (۱۹۹۱)	-۰/۰۵	۳۵	$TSS = 0.0167 \times e^{12.3 \times \left(\frac{R2}{R1}\right)}$	R1=۵۲۰-۴۵۰ R2=۶۹۰-۶۳۰	Landsat TM ۱,۳
Topliss و همکاران (۱۹۹۰)	۰/۹۶	۱۰۰۰	$Ln(SSC) = -6.2 \times \left(\frac{R1}{R2}\right) + 1.4 \times \left(\frac{R1}{R2}\right)^2 + 10.8$	R1=۷۰۰-۶۰۰ R2=۸۰۰-۷۰۰	Landsat MSS ۵,۶



شکل ۱- تصویر ماهواره لندست ۸ از منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری شده (نقاط سیاه رنگ) در دلتای رودخانه هنديجان در شمال غربی خلیج فارس

که در آن، A وزن فیلتر به علاوه وزن رسوب به جای مانده روی فیلتر (میلی گرم)، B وزن فیلتر (میلی گرم) و C حجم نمونه (میلی لیتر) است. پردازش تصاویر ماهواره‌ای: منطقه مورد مطالعه دارای مساحتی حدود ۱۰۰ کیلومتر مربع است. لذا، انتخاب بهترین تصویر از نظر دقت مکانی در اولویت قرار دارد. ماهواره لندست ۸، OLI^۵، با قدرت تفکیک زمانی ۱۶ روز، دارای ۱۱ نوار است که شامل نوارهای مرئی، مادون قرمز نزدیک و امواج کوتاه با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و یک نوار پانکروماتیک^۶ با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر و دو نوار مادون قرمز حرارتی^۷ می‌باشد (جدول ۲).

اولین گام برای پردازش تصاویر ماهواره‌ای، تصحیح هندسی و تصحیح اتمسفری است. تصحیح هندسی^۸ تصاویر با ایجاد یک رابطه ریاضی میان مختصات تصویری و مختصات زمینی انجام می‌شود. تصحیح هندسی به منظور کاهش مقدار خطای هندسی تصویر و همچنین، انتساب یک سامانه مختصات زمینی به پیکسل‌های آن، انجام می‌پذیرد. این عمل طی فرایندی به نام بازنمونه‌برداری^۹ صورت می‌گیرد که در آن نحوه تعیین درجه روشنایی هر پیکسل تصویر بازسازی شده از روی پیکسل‌های همسایه در تصویر اولیه مشخص می‌شود.

به علت اثر جو بر بازتاب حاصل از پدیده‌های سطح زمین و اثر آن بر نتیجه به دست آمده از شاخص‌های مختلف، در مرحله پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای، تصحیح اتمسفری انجام می‌شود. این مهم، زمان آشکارسازی تغییرات با استفاده از تصاویر چندزمانه که دارای شرایط جوی و زاویه تابش خورشیدی متفاوت در هنگام تصویربرداری هستند، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. تصحیح اتمسفری اجازه محاسبه داده‌های بازتابیده از سطح آب را بدون دخالت اتمسفر می‌دهد.

عملیات میدانی و آزمایشگاهی: عملیات میدانی هم‌زمان با گذر ماهواره لندست ۸، طی دو مرحله نمونه‌برداری در تاریخ‌های اول اسفند ۱۳۹۴ و ۱۸ بهمن ۱۳۹۵ در مجموع ۶۴ ایستگاه نشان‌گذاری شده به وسیله دستگاه GPS در دلتای هنديجان انجام شد. در هر ایستگاه، نمونه آب-رسوب سطحی به وسیله بطری و در برخی ایستگاه‌ها که دارای عمق کافی بودند، علاوه بر نمونه‌های آب سطحی، نمونه آب رسوب از عمق میانی به وسیله نمونه‌گیر آب، جمع‌آوری شد. شرایط بهینه انجام نمونه‌برداری میدانی زمانی است که بیشترین تغییرات در سرعت و جهت آب و همچنین، میزان جابه‌جایی رسوب در سطح آب مشاهده می‌شود. لذا، تاریخ اول اسفند ۱۳۹۴ (مه‌کشند^۱) و ۱۸ بهمن ۱۳۹۵ (که‌کشند^۲)، برای این هدف انتخاب شد.

یک روش مرسوم در به دست آوردن غلظت رسوب معلق، استفاده از روش وزن فیلتر خشک^۳ می‌باشد (Mueller و همکاران، ۲۰۰۳). در این تحقیق، از فیلتر CA MEMBRANES، $0.45 \mu\text{m}$ و قطر (mm) ۴۷، که در دما و رطوبت آزمایشگاه قرار داشت، به منظور یافتن غلظت رسوب معلق هر نمونه استفاده شد. هر نمونه آب-رسوب به روش پمپ خلا فیلتر شد (شکل ۲). برای اجتناب از خطای وزن نمک موجود در نمونه‌ها در هر مرحله از فیلتر کردن، نمونه‌ها به کمک آب مقطر، شسته شدند. سپس نمونه‌ها در دستگاه خشک‌کن^۴، خشک شدند و وزن خالص غلظت رسوب معلق به وسیله ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد.

غلظت رسوب معلق نمونه آب-رسوب در آزمایشگاه با توجه به رابطه (۱) (Greenberg و Clesceri، ۱۹۹۲) تعیین می‌شود.

$$SSC \left(\frac{mg}{l} \right) = \frac{A-B}{C} \times 1000 \quad (1)$$

⁵ Operational Land Imager

⁶ Pancromatic

⁷ Thermal infrared (TIRS)

⁸ Geometric correction

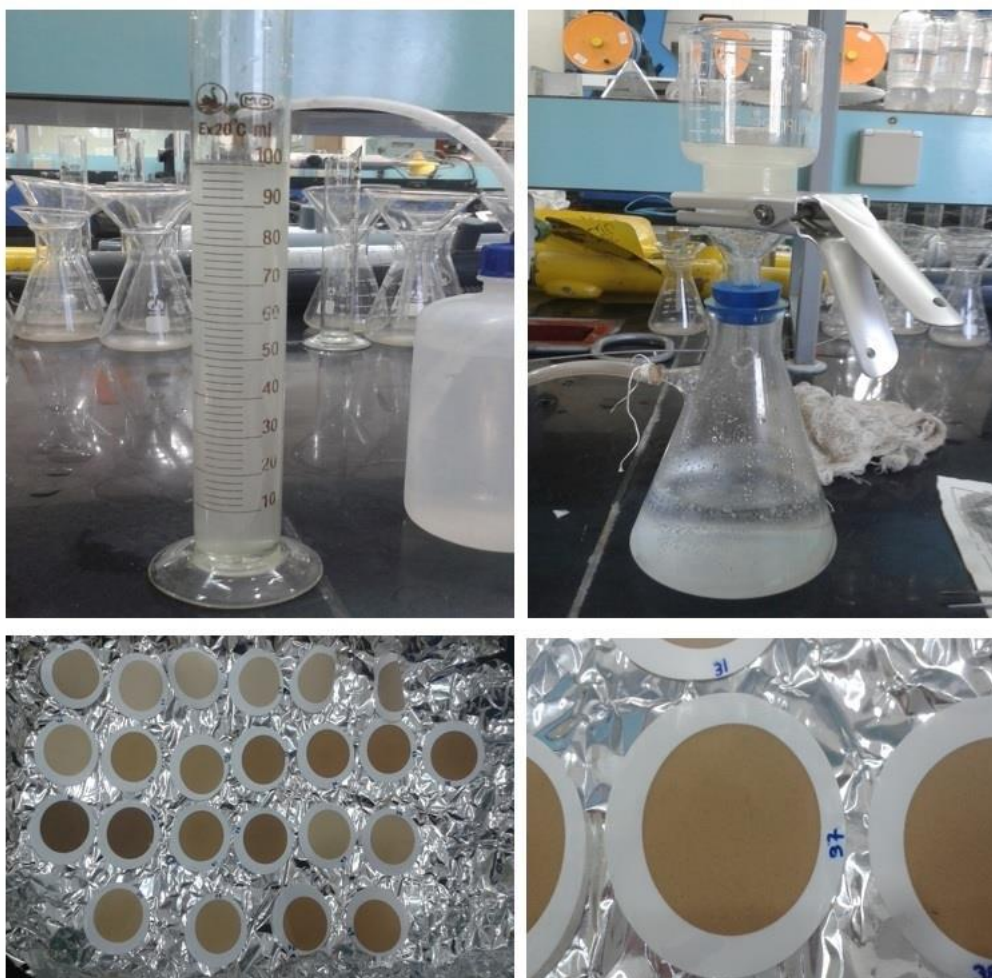
⁹ Resampling

¹ Spring

² Neap

³ A dried-filter weighting method

⁴ Oven



شکل ۲- مراحل فیلتر کردن نمونه‌های آب-رسوب در آزمایشگاه به کمک پمپ خلا

جدول ۲- نوارهای ماهواره لندست ۸، OLI و حساسه‌های مادون قرمز حرارتی (<https://landsat.usgs.gov>)

نوار	طول موج (nm)	قدرت تفکیک مکانی (m)
نوار ۱	۴۳۵-۴۵۱	۳۰
نوار ۲- آبی	۴۵۲-۵۱۲	۳۰
نوار ۳- سبز	۵۳۳-۵۹۰	۳۰
نوار ۴- قرمز	۶۳۶-۶۷۳	۳۰
نوار ۵- مادون قرمز نزدیک (NIR)	۸۵۱-۸۷۹	۳۰
نوار ۶- مادون قرمز امواج کوتاه ۱ (SWIR)	۵۶۶-۱۶۵۱	۳۰
نوار ۷- مادون قرمز امواج کوتاه ۲ (SWIR)	۲۱۰۷-۲۲۹۴	۳۰
نوار ۸- پانکروماتیک	۵۰۳-۶۷۶	۱۵
نوار ۹	۱۳۶۳-۱۳۸۴	۳۰
نوار ۱۰- مادون قرمز حرارتی ۱ (TIRS)	۱۰۶۰-۱۱۱۹	۱۰۰
نوار ۱۱- مادون قرمز حرارتی ۲ (TIRS)	۱۱۵۰-۱۲۵۱	۱۰۰

به‌دست آوردن بازتابش خالص^۱ R_{rs} از سطح آب است.

داده‌های بالای سطح آب دریا شامل بازتاب از سطح دریا و همچنین، پراکنش نور از آب هستند که خود وابسته به مواد معلق داخل آب است (Oxford، ۱۹۷۶). استفاده از اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای نیازمند

¹ Remote sensing reflectance

حالت نفی آن به عنوان فرض صفر^۶ در نظر گرفته می‌شود. در عمل، فرض می‌شود که فرضیه صفر صحیح است. پس از آن میزان تطابق احتمالی داده به دست آمده با فرضیه صفر محاسبه می‌شود. این مقدار با عبارت آماره P^V یا میزان معنی‌داری مشخص می‌شود. در یک تحلیل آماری رد کردن فرضیه صفر به عنوان نتیجه معنی‌داری یا همان آماره P در سطح خطای در نظر گرفته شده (۰/۱ یا ۰/۰۵ یا ۰/۱) نامیده می‌شود که بر حسب شانس و تصادف رخ نداده باشد.

یکی از فرضیات اصلی برای بیشتر آزمون‌های آماری، نرمال بودن توزیع مشاهدات است. آزمون نرمال^۸ توزیع مشاهدات با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف^۹ انجام شد. این آزمون برای بررسی توزیع مشاهدات انجام می‌شود. بررسی شدت و جهت همبستگی دو متغیر، با استفاده از آزمون همبستگی ممکن می‌شود. چنانچه آزمون همبستگی معنی‌دار باشد، نشان‌دهنده وجود همبستگی بین دو متغیر است. معنی‌دار بودن همبستگی میان غلظت رسوبات معلق و بازتاب طیفی آب در نوارها و ترکیب نوارهای مختلف با استفاده از آزمون فرض همبستگی (آزمون وجود یا عدم وجود همبستگی) و بعد از آن چگونگی همبستگی بین هر نوار تصویر ماهواره‌ای و مقدار رسوب به دست آمده، با هم مقایسه شد. در صورتی که داده‌های مورد استفاده در آزمون همبستگی دارای توزیع نرمال باشند، از ضریب همبستگی پیرسون^{۱۰} استفاده می‌شود. نوارهای ماهواره لندست ۸ و همچنین، ترکیب نوارهای مختلف از جمله ترکیب نوارهای به دست آمده در تحقیق Doxaran و همکاران (۲۰۰۲) و Min و همکاران (۲۰۱۲) مورد آزمون همبستگی قرار گرفت و سه ترکیب نواری که همبستگی بالاتری نسبت به بقیه نوارها با مقادیر غلظت رسوب معلق سطحی داشتند،

به منظور کاهش اثر جو در تصاویر ماهواره‌ای و یافتن بازتابش خالص از سطح پدیده‌های زمینی، از الگوریتم‌های مختلف تصحیح اتمسفری از جمله روش فلش^۱ و ... استفاده می‌شود. بهترین نوع الگوریتم تصحیح اتمسفری بر اساس داده‌های موجود در هر تحقیق تعیین می‌شود. انتخاب الگوریتمی برای توضیح بهینه میزان غلظت رسوب معلق در دلتای هندوچان، نیازمند بررسی و اصلاح رادیومتریک نوارهای مختلف تصاویر ماهواره لندست ۸ است. با توجه به این که تصاویر لندست ۸ به سهولت در دسترس قرار دارند و دارای توان تفکیک مکانی قابل قبولی برای تحقیق حاضر هستند، از این تصاویر برای بررسی غلظت رسوب معلق در دلتای هندوچان استفاده شده است. تصاویر ماهواره لندست ۸، سنجنده OLI از منطقه مورد مطالعه (گذر^۲ ۱۶۵ و ردیف^۳ ۳۹) همزمان با روزهای نمونه‌برداری (۱ اسفند ۱۳۹۴ و ۱۸ بهمن ۱۳۹۵)، تهیه و به روش نزدیک‌ترین همسایه^۴ (Torres و Hayat، ۲۰۰۳) تصحیح هندسی شدند. تصحیح اتمسفری تصاویر به روش‌های مختلف انجام شد. در نهایت با مقایسه مقادیر بازتابش به دست آمده و مقادیر غلظت رسوب معلق اندازه‌گیری شده، الگوریتم SWIR که از نوارهای ۶ و ۷ (nm ۱۶۰۹ و nm ۲۲۰۱) ماهواره لندست ۸ استفاده می‌کند (Vanhellemont و Ruddick، ۲۰۱۵) به عنوان بهترین روش تصحیح اتمسفری در منطقه دلتای هندوچان انتخاب شد. به این ترتیب مقادیر بازتابش خالص سطحی تصاویر SWIR استخراج شدند.

تحلیل داده‌ها و آزمون‌های آماری: به طور کلی، هدف از آزمون‌های آماری تعیین حکمی درباره داده‌های مجهول است که می‌تواند درست یا نادرست باشد. هرگاه یک ادعا درباره داده مجهول از طریق تایید آن به وسیله اطلاعات حاصل از نمونه بخواند اثبات شود، ادعای مورد نظر به عنوان فرضیه یک^۵ و

^۶ Null hypothesis

^۷ P-value

^۸ Normality test

^۹ Kolmogorov-Smirnov

^{۱۰} Pearson coefficient of correlation

^۱ Flash

^۲ Path

^۳ Row

^۴ Nearest neighbor

^۵ Alternative hypothesis

الگوریتم به دست آمده بر تصاویر ماهواره لندست ۸ در روزهای اول اسفند ۹۴ و ۱۸ بهمن ۹۵ برآزش داده شد و نقشه غلظت رسوب معلق در دلتای هندیجان تولید شد. برآورد تغییرات غلظت رسوب معلق سطحی در دلتا، به وسیله رسم سه پروفایل حدود ۱۲ کیلومتری عمود بر ساحل شمالی، دهانه رودخانه و ساحل جنوبی به سمت دریا بر روی نقشه‌های غلظت رسوب معلق کشیده شد. همچنین، الگوریتم تهیه شده به وسیله Yavari (۲۰۰۴) که بر اساس نوارهای ماهواره IRS سنجنده Liss III برای منطقه‌ای در حد فاصل هندیجان تا بندر دیلم ارائه شده بود، با نوارهای ماهواره لندست ۸ بازنویسی شد و بر تصاویر تصحیح شده ماهواره لندست ۸ در منطقه دلتای هندیجان اعمال شد و با نتایج این تحقیق مقایسه شد.

نتایج و بحث

نتایج به دست آمده نشان داد که غلظت رسوب معلق در مجموع هر دو نمونه برداری برای ۶۴ ایستگاه در دلتای هندیجان $\pm 1 (0-740)$ mg l^{-1} بوده است. شکل ۳، مقادیر بازتابش در نوارهای مختلف تصاویر SWIR در ایستگاه‌های اندازه‌گیری به همراه مقادیر حد بالا و پایین غلظت رسوب معلق را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، ایستگاه‌هایی که مقادیر بازتابش بالاتری داشتند، دارای مقادیر غلظت رسوب معلق اندازه‌گیری شده بیشتری بودند (150 mg l^{-1} تا 370). این امر برای مقادیر پایین بازتابش سطحی نیز صادق است (12 mg l^{-1} تا 33). همچنین، به‌طور کلی نقاطی که دارای غلظت بالای رسوب بودند (مقادیر بازتابش بیشتر نقاط اندازه‌گیری شده در این محدوده قرار گرفته است)، مقدار بازتابش از سطح آب در نوار ۴ (655 nm) بیشتری داشته‌اند. کمترین میزان بازتابش از سطح آب در نوار ۵ (865 nm) مشاهده شد. آزمون نرمال مقادیر بازتابش در نوار ۴ و باند ۵ تصویر ماهواره لندست ۸ و مقادیر غلظت رسوب اندازه‌گیری شده، نشان داد که مقدار معیار تصمیم آماره P از سطح معنی‌دار 0.05 بیشتر است. به عبارتی، فرض صفر آزمون که مبتنی بر نرمال بودن داده‌ها است، تایید شد (جدول ۳).

برای مقایسه انتخاب شدند. پس از انتخاب نوارهای مناسب به وسیله مقایسه پارامترهای آماری مختلف، می‌بایست نوع رگرسیون مشخص شود. لذا، بیش از ۵۰ مدل رگرسیون مورد آزمون قرار گرفتند. الگوریتم حاکم بر غلظت رسوب معلق در دلتای هندیجان در مرحله اول با مقایسه مقدار ضریب تعیین R^2 و ضریب همبستگی r تعیین شد. در صورتی که این مقادیر نزدیک به هم باشند، مقایسه نتایج با استفاده از آماره P ، آماره F^1 ، پارامتر خطای استاندارد^۲ و معیار آکائیک^۳ انجام می‌شود. به این ترتیب، الگوریتم محلی غلظت رسوب معلق در دلتای هندیجان حاصل شد. معنی‌داری ضرایب معادله رگرسیون با استفاده از آزمون t و آماره P مورد بررسی قرار گرفت.

اعتبار سنجی مدل: به منظور صحت‌سنجی نتایج حاصل از اعمال الگوریتم به دست آمده بر تصاویر ماهواره‌ای، مقادیر رسوب اندازه‌گیری شده با مقادیر جدید رسوب سطحی حاصل از داده‌های تصاویر ماهواره لندست ۸ مورد قیاس قرار گرفت.

اعتبارسنجی مدل با روش LOOCV (leave-one-out cross-validation) انجام شد. این روش در سنجش از دور هنگامی که تعداد داده‌ها به اندازه کافی زیاد نیست که بتوان آن‌ها را به دو دسته شاهد و آزمون طبقه‌بندی کرد، استفاده می‌شود (Schlerf و همکاران، ۲۰۰۵؛ Sterckx و همکاران، ۲۰۰۷؛ Martin و همکاران، ۲۰۰۸). با استفاده از معادلات (۲) و (۳) پارامتر جزر میانگین مربعات خطا و درصد خطای نسبی رابطه رگرسیونی مورد ارزیابی قرار گرفتند (Lu و Wang، ۲۰۱۰؛ Duan و همکاران، ۲۰۱۳).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i,f=1}^n (SSC_i - SSC_f)^2}{n}} \quad (2)$$

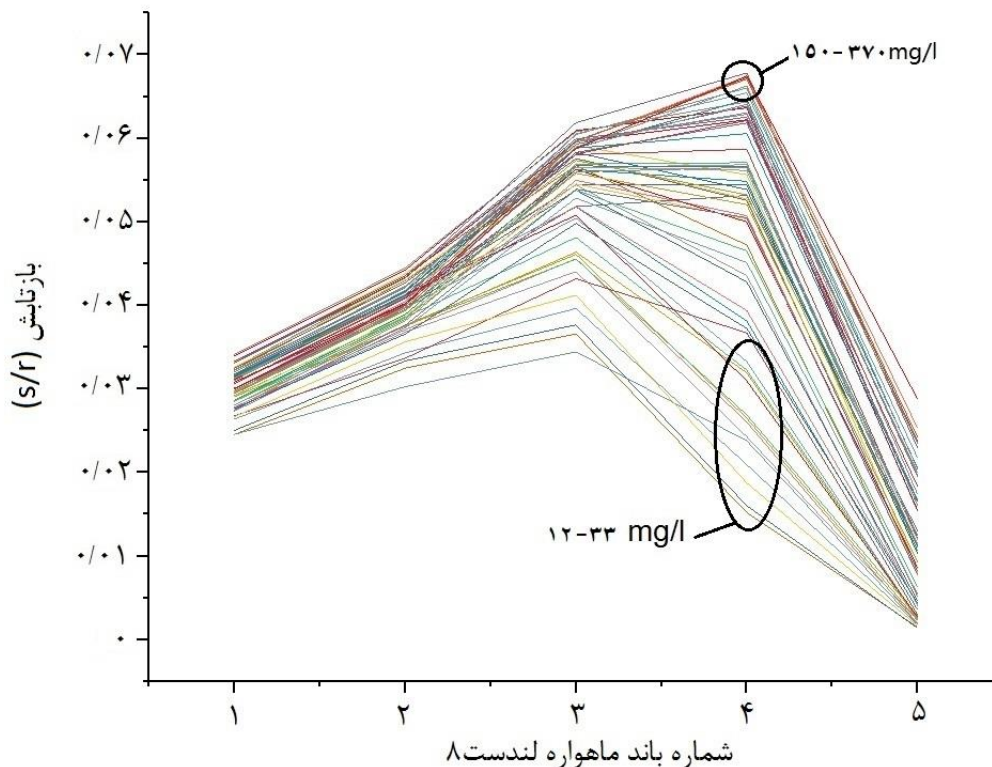
$$RRMSE = RMSE / \frac{\sum_{i=1}^n SSC_i}{n} \quad (3)$$

که در آن، SSC_i داده‌های رسوب اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه و SSC_f داده‌های رسوب به دست آمده از تحلیل تصاویر ماهواره‌ای بوده و n تعداد نمونه‌ها است.

¹ F-value

² Standard error

³ Akaike information criterion



شکل ۳- مقادیر بازتابش ماهواره لندست ۸ از سطح نقاط اندازه‌گیری غلظت رسوب معلق به همراه مقادیر حد بالا و پایین غلظت رسوب معلق اندازه‌گیری شده در مجموع دو نمونه‌برداری

جدول ۳- آزمون نرمال مقدار بازتابش در نوارهای ۴ و ۵ ماهواره لندست ۸ و مقادیر غلظت رسوب معلق سطحی به‌دست آمده (مقدار معیار تصمیم در سطح ۰/۰۵ است)

آماره p	مقادیر مورد آزمون نرمال
۰/۴۲۷۵۲	$R_{rs}(655)$
۰/۳۵۹۶۸	$R_{rs}(865)$
۰/۰۵۵۳	SSC

ترکیبی $R_{rs}(865) + R_{rs}(655)$ ، با مقادیر یک به یک رسوب سطحی اندازه‌گیری شده در عملیات میدانی، دارای بالاترین مقدار ضریب همبستگی r و آماره F بود. طبق نتایج، مقدار ضریب تعیین R^2 و ضریب همبستگی r در معادلات انتخابی بسیار نزدیک به هم بود. همچنین مقدار آماره P تمام معادلات کمتر از ۰/۰۱ به‌دست آمد. از میان معادلات بررسی شده، معادله نمایی^۲ (۴) دارای مقدار آماره F بیشتر و خطای استاندارد و معیار آکائیک کمتری بود و به‌عنوان بهترین معادله معرفی شد.

در شکل ۴، توزیع نرمال مقادیر بازتابش در نوار ۵ و مقادیر بازتابش ترکیب باندهای مختلف، مقایسه شده است. توزیع مقادیر بازتابش در نوار ترکیبی $R_{rs}(865) + R_{rs}(655)$ از توزیع نرمال گوسی^۱ پیروی کرده است.

در آزمون همبستگی، مقدار آماره P کمتر از ۰/۰۵ به‌دست آمد (جدول ۴). در نتیجه همبستگی بین مقادیر غلظت رسوب معلق اندازه‌گیری شده با نوار ۵ و همچنین، با نوارهای ترکیبی ماهواره لندست ۸ به‌صورت تصادفی نبوده است. با توجه به جدول ۴، نوار

² Exponential

¹ Gaussian distribution

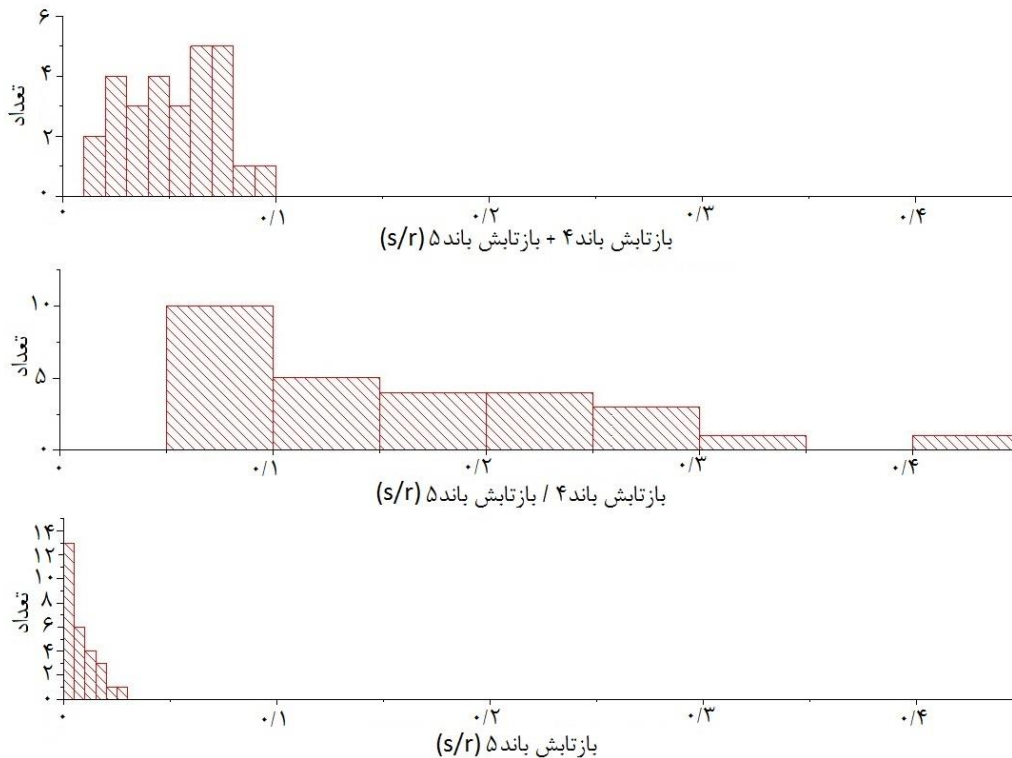
۰/۰۱ بود که نشان‌دهنده فرض صفر آزمون که بیانگر صفر بودن ضرایب رابطه خطی a و b است، رد شد و فرض مقابل آن که ضرایب ثابت a و b را مخالف صفر می‌داند، تایید شد.

شکل ۵، نحوه همبستگی نوار ترکیبی $R_{rs}(865) + R_{rs}(655)$ و مقدار غلظت رسوب به‌دست آمده را نشان داده است.

$$(mg/l) = a \times \exp(b \times (c + d)) \quad (4)$$

که در آن، c بازتابش نوار ۴ و d بازتابش نوار ۵ ماهواره لندست ۸ تعیین شد. مقدار ضرایب ثابت a و b در جدول ۵ آمده است.

نتایج آزمون معنی‌داری ضرایب ثابت a و b در جدول ۵ آمده است. مقدار آماره P آزمون t کمتر از



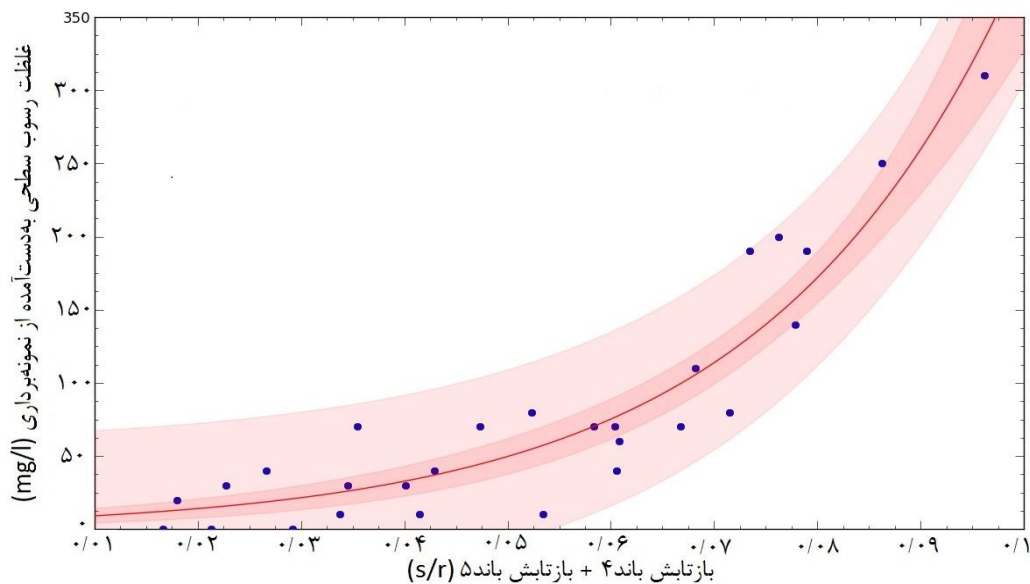
شکل ۴- مقایسه توزیع نرمال باندهای ترکیبی انتخاب شده

جدول ۴- مقادیر آماری نوارهای انتخاب شده در آزمون همبستگی (مقدار معیار تصمیم در سطح ۰/۰۵ است)

نوار	آماره P	r	R^2	آماره F
$R_{rs}(865) + R_{rs}(655)$	$1/2.43e-8$	۰/۹۳	۰/۸۸	۲۰۸/۸۷
$R_{rs}(865)/R_{rs}(655)$	$1/673.04e-11$	۰/۹۱	۰/۸۲	۱۲۶/۹۳
$R_{rs}(865)$	$1/643.13e-12$	۰/۹۲	۰/۸۵	۱۵۶/۶۱

جدول ۵- ضرایب رابطه رگرسیون و آزمون معنی‌دار بودن آن‌ها

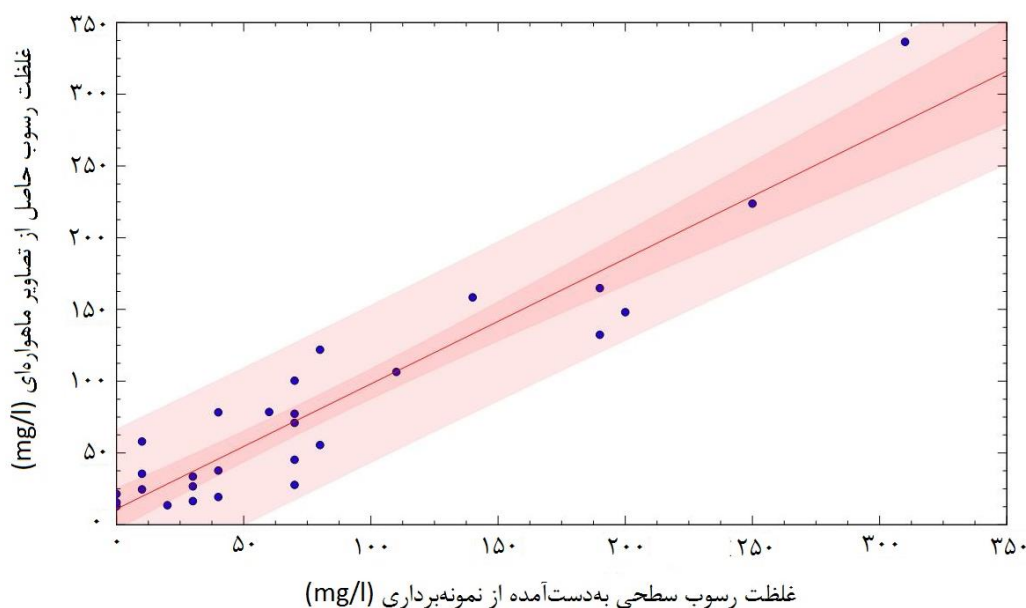
ضرایب ثابت	مقدار	خطای استاندارد	آماره t	آماره p
a	۶/۴۵۶۹۳	۱/۸۱۶۸۲	۳/۵۵۳۹۶	۰/۰۰۱۴۸
b	۴۱/۱۰۴۹۷	۳/۴۰۳۶	۱۲/۰۶۰۰۴	$3/75233e-12$



شکل ۵- همبستگی نوار ترکیبی بازتابش سطحی و مقدار غلظت رسوب به دست آمده از سطح دلتای هندوچان

معلق اندازه‌گیری شده $1 \text{ mg l}^{-1} \pm (0-740)$ بسیار مطلوب بود. این تحقیق در مقایسه با مطالعاتی همچون Monopo و همکاران (۲۰۱۷) با ضریب همبستگی ۰/۷۹ و Islam و همکاران (۲۰۰۱) با ضریب همبستگی ۰/۳۶ و Dekker و همکاران (۲۰۰۱) با ضریب همبستگی ۰/۳ و Ritchie و Cooper (۱۹۹۱) با ضریب همبستگی ۰/۳۴ نتیجه بهتری داشت.

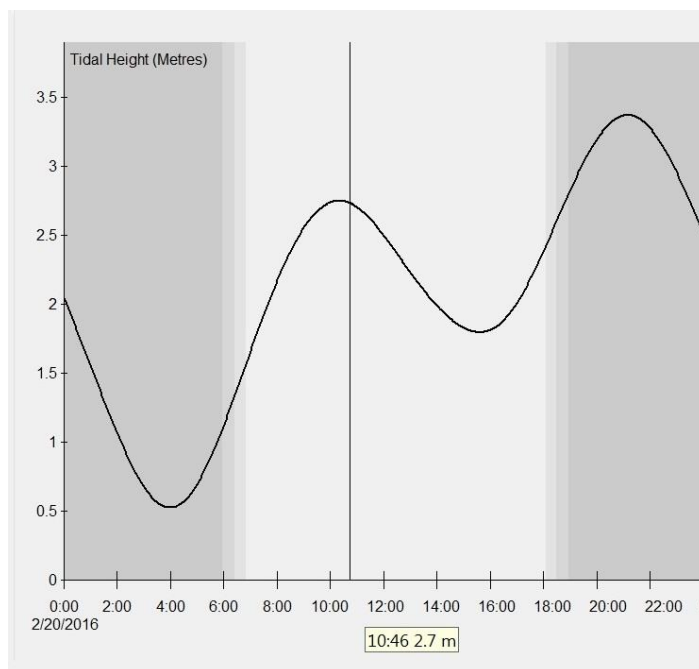
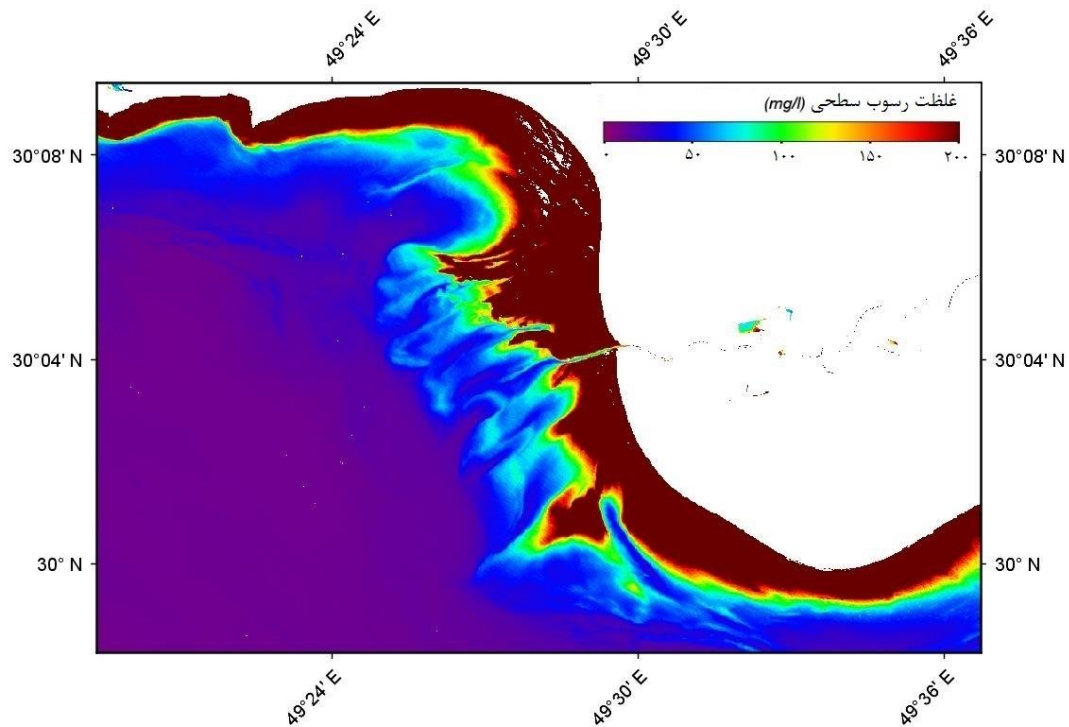
نتایج صحت‌سنجی حاصل از اعمال الگوریتم به دست آمده بر تصاویر ماهواره‌ای (شکل ۶) با ضریب همبستگی پیرسون $r = 0.93$ ریشه مربعات خطا $RMSE = 28/12 \text{ mg l}^{-1}$ و خطای نسبی درصد $RRMSE = 34/24$ حاکی از تطابق غلظت رسوب اندازه‌گیری شده در عملیات میدانی و غلظت رسوب معلق سطحی حاصل از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای بوده است. این نتایج با توجه به محدوده غلظت رسوب



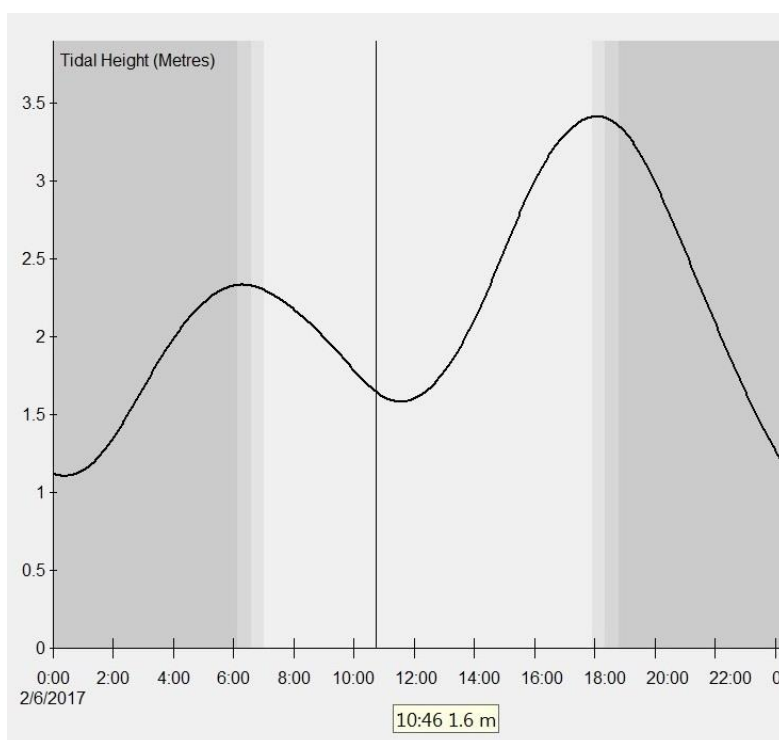
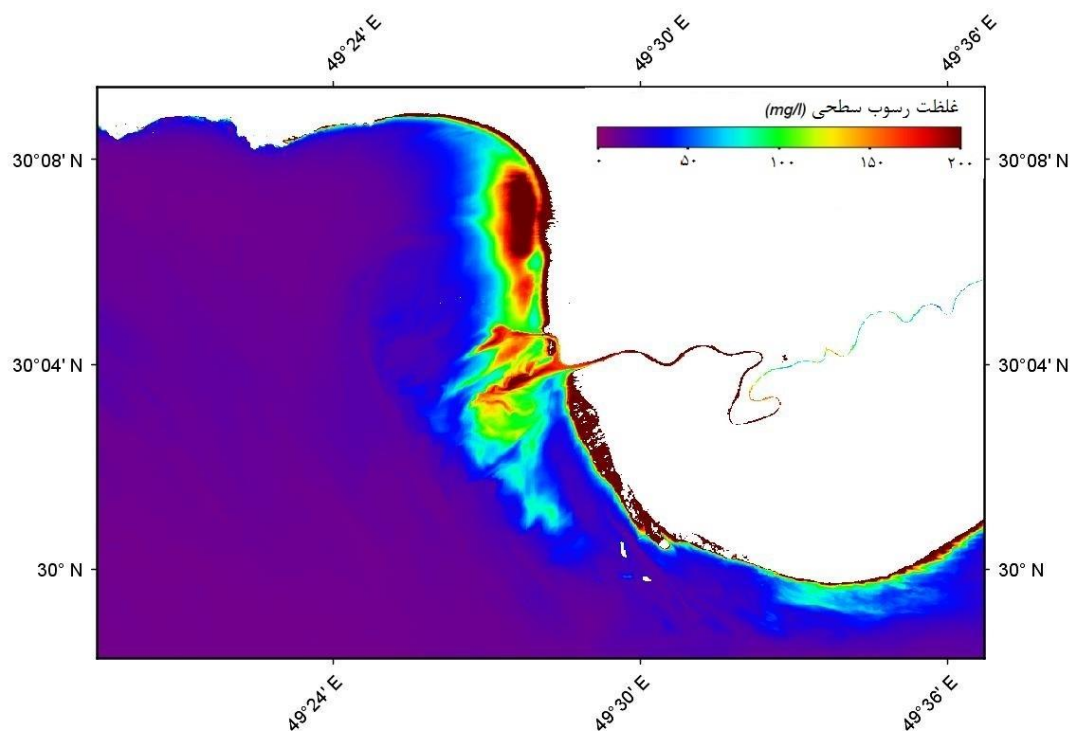
شکل ۶- مقایسه مقدار رسوب به دست آمده از الگوریتم مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای و رسوب سطحی اندازه‌گیری شده

تصویربرداری ماهواره لندست ۸ در شکل‌های ۷ و ۸ آمده است.

نقشه غلظت رسوب معلق حاصل از اعمال الگوریتم بر تصاویر ماهواره‌ای به همراه شرایط جزرومد در لحظه



شکل ۷- نقشه رسوبی به دست آمده پس از اعمال الگوریتم بر تصویر ماهواره لندست ۸ در ۱ اسفند ۱۳۹۴ (بالا) به همراه ارتفاع جزرومدی هنگام تصویربرداری لندست ۸ در ساعت ۱۰:۳۰ به وقت محلی (پایین)



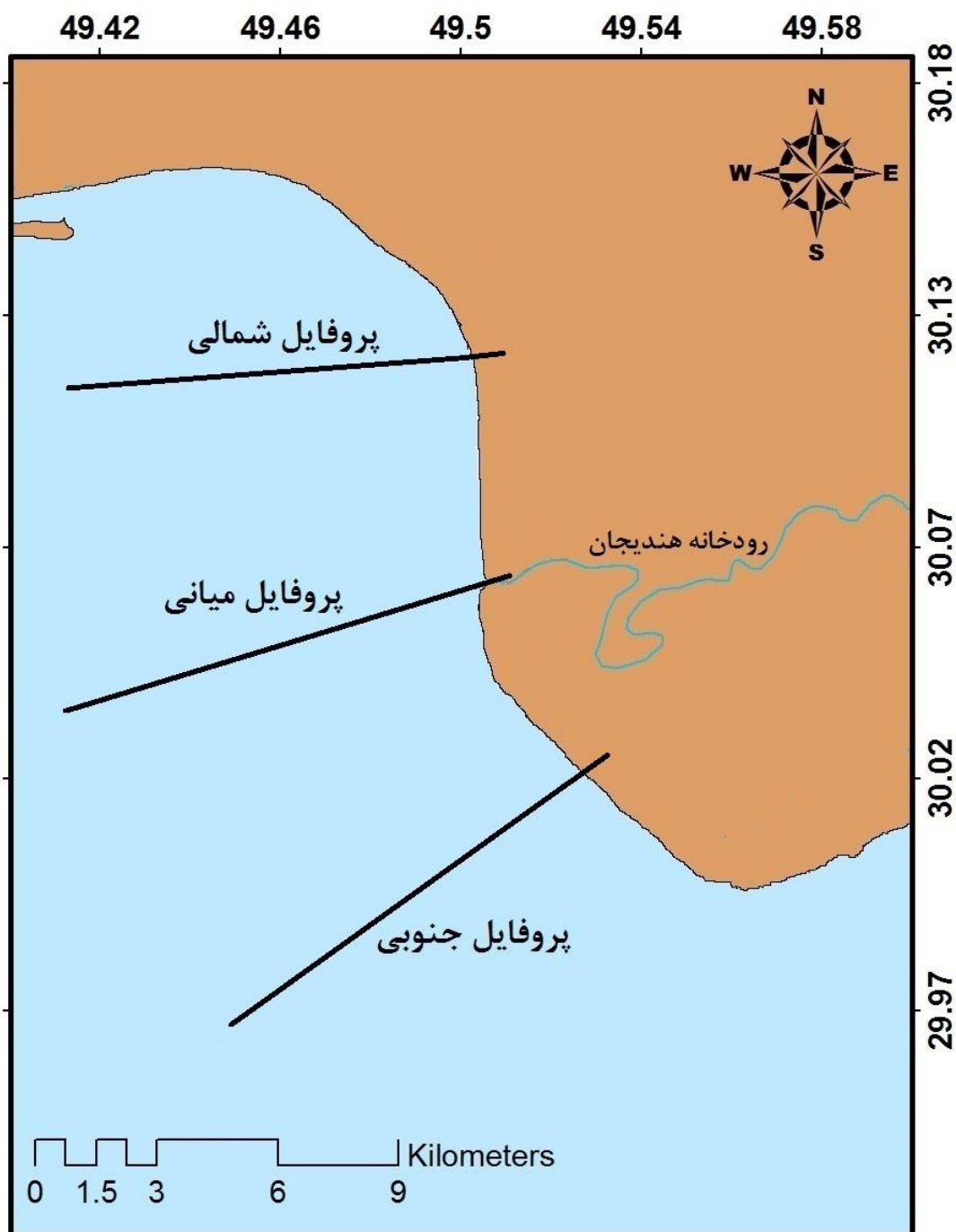
شکل ۸- نقشه رسوبی به دست آمده پس از اعمال الگوریتم بر تصویر ماهواره لندست ۸ در ۱۸ بهمن ۱۳۹۵ (بالا) به همراه ارتفاع جزرومدی هنگام تصویربرداری لندست ۸ در ساعت ۱۰:۳۰ به وقت محلی (پایین)

پروفایل رسم شده در قسمت‌های مختلف دلتای هندیجان در شکل ۹ نمایش داده شده است. تغییرات عمده غلظت رسوب معلق تا فاصله هفت کیلومتری از سواحل دلتا بود. از فاصله هفت کیلومتری تا ۱۱ کیلومتری از ساحل، غلظت رسوب معلق در دریا مقدار

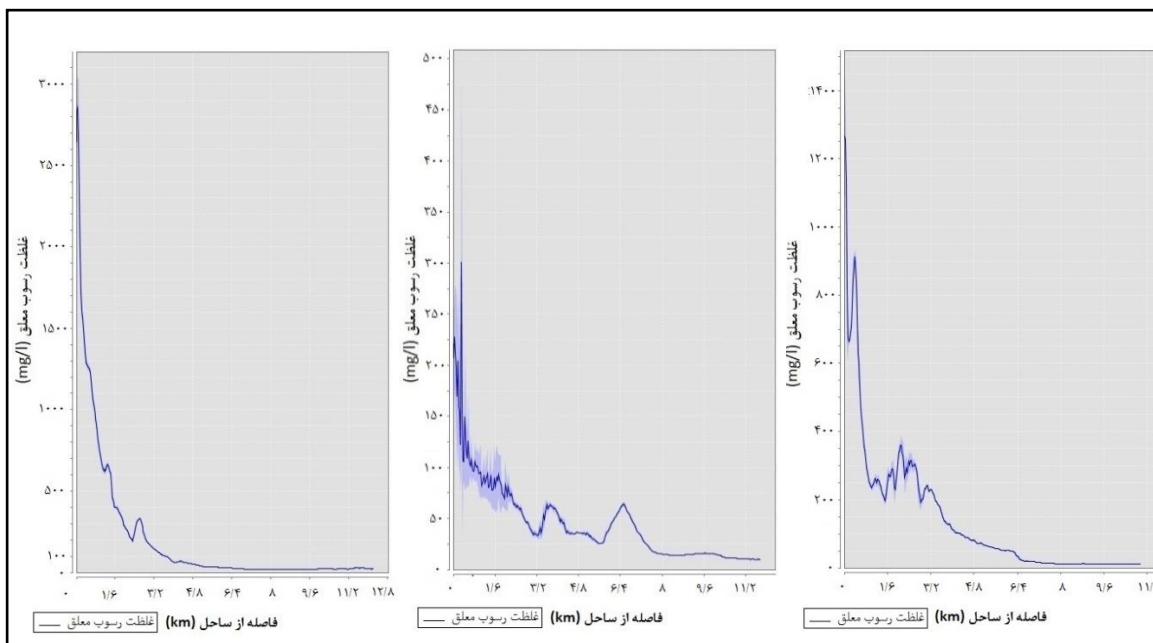
آب‌های شفاف مقادیر کمتر بازتابش از سطح، و آب‌های با شفافیت کم، بازتابش بالاتری را نشان دادند. هر دو این تصاویر مربوط به فصل زمستان بود و بارش باران در روزهای قبل از ثبت تصاویر ماهواره‌ای، اتفاق نیافتاده است (<https://www.underground.com>). سه

در تصویر ۱۸ بهمن ۹۵ به ترتیب ۱۲-۸۰۰، ۱۶-۱۹۰ و ۱۲-۳۵۰ میلی گرم بر لیتر بوده است (شکل ۱۱). در نتیجه به طور کلی غلظت رسوب معلق از ساحل دلتای هندیکان به سمت دریا روند کاهشی داشته است.

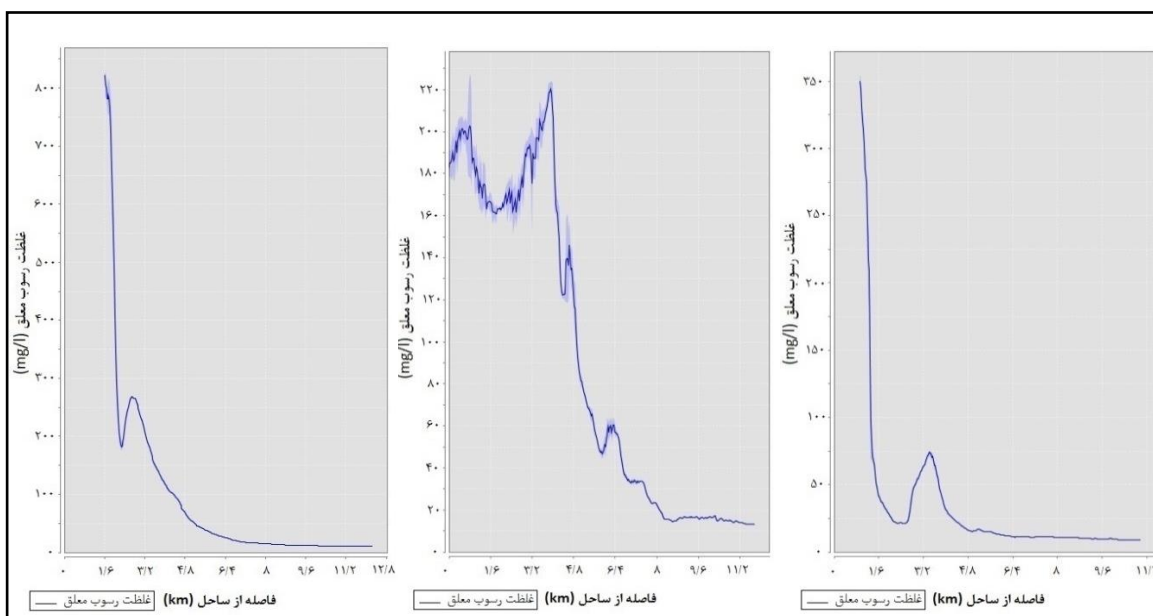
تقریباً ثابتی (12 mg l^{-1}) داشته است. تغییرات غلظت رسوب معلق در طول ۱۱ کیلومتر پروفایل شمالی، میانی و جنوبی در تصویر نقشه غلظت رسوبی ۱ اسفند ۹۴ به ترتیب ۲۰-۲۸۰۰، ۱۳-۲۲۰ و ۱۵-۱۲۰۰ میلی گرم بر لیتر بوده است (شکل ۱۰). این تغییرات



شکل ۹- شمایی از پروفایل های رسم شده بر روی نقشه های غلظت رسوب معلق سطحی در دلتای هندیکان



شکل ۱۰- تغییرات غلظت رسوب معلق از نزدیک ساحل تا فاصله حدود ۱۲ کیلومتری به سمت دریا در دلتای هندیجان در تاریخ ۱ اسفند ۹۴ در پروفایل‌های شمالی (سمت چپ)، میانی (وسط) و جنوبی (سمت راست)



شکل ۱۱- تغییرات غلظت رسوب معلق از نزدیک ساحل تا فاصله حدود ۱۲ کیلومتری به سمت دریا در دلتای هندیجان در تاریخ ۱۸ بهمن ۹۵ در پروفایل‌های شمالی (سمت چپ)، میانی (وسط) و جنوبی (سمت راست).

رودخانه روانه شده است. میانگین عمق حدود دو متر تا فاصله افقی ۱۰ کیلومتری از ساحل اندازه‌گیری شد. در این تاریخ سرعت متوسط باد حدود ۷/۲ متر بر ثانیه بوده است (جدول ۶). لذا امواج بادرانده^۱ در این

مقدار و جهت جریان‌های جزرومدی در دلتای هندیجان، می‌تواند از مهمترین عوامل اختلاف دو تصویر در میزان پخش غلظت رسوب معلق باشد. در تاریخ اول اسفند ۱۳۹۴ در طی مد و مه‌کشند (همزمان با تصویربرداری ماهواره لندست ۸)، آب شفاف و کم رسوب دریا، آب گل‌آلود و تیره رنگ رودخانه را کنار زده، به درون کانال جزر و مدی

¹ Wind-driven

حدود هفت کیلومتری از دهانه رودخانه را تحت تاثیر قرار داده است (شکل ۸).

نتیجه اعمال الگوریتم تهیه شده به وسیله Yavari (۲۰۰۴) بر تصاویر ماهواره لندست ۸ در تاریخ های اول اسفند ۱۳۹۴ و ۱۸ بهمن ۱۳۹۵، محدوده مقادیر غلظت رسوب معلق را بین ۰/۰۱ تا ۰/۰۷ میلی گرم بر لیتر برآورد کرد که با نتایج تحقیق حاضر تطابقی نشان نداد. علت این تناقض به واسطه متفاوت بودن مناطق مورد مطالعه، نوع سنجنده و نوارهای مورد استفاده است.

ساحل کم عمق، باعث پراکندگی رسوبات در لایه های سطحی و عمقی آب در دلتای هندیجان شده است. غلظت رسوب معلق اندازه گیری شده در تاریخ اول اسفند ۹۴ (۱۰ تا ۷۴۰ میلی گرم بر لیتر) بسیار بیشتر از غلظت رسوب معلق اندازه گیری شده در تاریخ ۱۸ بهمن ۱۳۹۵ (۰ تا ۳۲۰ میلی گرم بر لیتر) بود. در تاریخ ۱۸ بهمن ۱۳۹۵ در طی جزر و کهکشدن (همزمان با تصویربرداری ماهواره لندست ۸)، جریان آب از رودخانه به سمت دریا بوده، بار رسوبی رودخانه به ویژه بار معلق به دریا تخلیه شده است و تا فاصله

جدول ۶- شرایط هواشناسی و جزرومدی منطقه مورد مطالعه در زمان تصویربرداری ماهواره لندست ۸، OLI (ایستگاه هواشناسی ماهشهر)

تاریخ	متوسط سرعت باد (ms ⁻¹)	جهت باد (°)	جزرومد در لحظه تصویربرداری لندست ۸	جزرومد
۱ اسفند ۹۴	۷/۲	جنوب شرق	مد	مه کشند
۱۸ بهمن ۹۵	۲/۱	غرب-شمال غرب	جزر	که کشند

نتیجه گیری

تغییرات غلظت رسوب معلق از ساحل تا فاصله هفت کیلومتری به سمت دریا روند کاهشی حدود ۲۸۰۰ تا ۲۰ میلی گرم در لیتر در تاریخ اول اسفند ۹۴ و ۸۰۰ تا ۱۵ میلی گرم در لیتر در تاریخ ۱۸ بهمن ۹۵ داشت. این نتایج نشان داد که تصاویر ماهواره لندست ۸، OLI و الگوریتم محلی به دست آمده در تحقیق حاضر، برای محاسبه غلظت رسوب معلق در دلتای هندیجان مناسب است. از این الگوریتم می توان در زمان هایی که امکان جمع آوری داده میدانی وجود ندارد، برای برآورد غلظت رسوب معلق از تصاویر ماهواره لندست ۸ در دلتای رودخانه هندیجان استفاده کرد.

نتایج تحلیل های آماری حاکی از هماهنگی داده های میدانی غلظت رسوب معلق $1 \pm 740 \text{ mg l}^{-1}$ و مقادیر بازتابش ترکیب نوارهای ۴ و ۵ تصاویر SWIR ماهواره لندست ۸ بود. میزان این همبستگی ۰/۹۳ با مقدار خطای $28/12 \text{ mg l}^{-1}$ ارزیابی شد. رابطه معنی داری به صورت معادله نمایی با ضریب تعیین ۰/۸۸ بین غلظت رسوب معلق و مقدار بازتابش ثبت شده در داده های ماهواره ای به دست آمد. باد و جزرومد تا فاصله هفت کیلومتری از سواحل دلتا تاثیر به سزایی بر پخش رسوب معلق در سراسر ستون آب داشت.

منابع مورد استفاده

- Dekker, A.G., R.J. Vos and S.W.M. Peters. 2001. Comparison of remote sensing data, model results and in situ data for Total Suspended Matter (TSM) in the southern Frisian lakes. *Science of the Total Environment*, 268(1): 197-214.
- Doxaran, D., J.M. Froidefond and P. Castaing. 2002. A reflectance band ratio used to estimate suspended matter concentrations in sediment-dominated coastal waters. *International Journal of Remote Sensing*, 23(23): 5079-5085.
- Duan, S.B., Z.L. Li, B.H. Tang, H. Wu, L. Ma, E. Zhao and C. Li. 2013. Correction: land surface reflectance retrieval from hyperspectral data collected by an unmanned aerial vehicle over the baotou test site. *PloS one*, 8(8): 10-1371.
- Gharibreza, M., A. Habibi, S.R. Imamjomeh and M.A. Ashraf. 2014. Coastal processes and sedimentary facies in the Zohreh River Delta (Northern Persian Gulf). *Catena*, 122: 150-158.
- Hansen, D.V. and M. Rattray. 1966. New dimensions in estuary classification. *Limnology and Oceanography*, 11(3): 319-326.
- Islam, M.R., Y. Yamaguchi and K. Ogawa. 2001. Suspended sediment in the Ganges and Brahmaputra Rivers in Bangladesh: observation from TM and AVHRR data. *Hydrological*

- Processes, 15(3): 493-509.
7. Kazemzadeh, M.B. 2013. Assessment of temporal and spatial changes of suspended sediment concentration in Bahmanshir tidal estuary using remote sensing technique. MSc Thesis, 140 pages.
 8. Lathrop, R.G., T.M. Lillesand and B.S. Yandell. 1991. Testing the utility of simple multi-date Thematic Mapper calibration algorithms for monitoring turbid inland waters. *Remote Sensing*, 12(10): 2045-2063.
 9. Li, J., S. Gao and Y. Wang. 2010. Delineating suspended sediment concentration patterns in surface waters of the Changjiang Estuary by remote sensing analysis. *Acta Oceanologica Sinica*, 29(4): 38-47.
 10. Manoppo, A.K. and S. Budhiman. 2017. Estimation on the concentration of total suspended matter in Lombok Coastal using Landsat 8 OLI, Indonesia. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 54(1): 012073.
 11. Martin, M.E., L.C. Plourde, S.V. Ollinger, M.L. Smith and B.E. McNeil. 2008. A generalizable method for remote sensing of canopy nitrogen across a wide range of forest ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 112(9): 3511-3519.
 12. Min, J.E., J.H. Ryu, S. Lee and S. Son. 2012. Monitoring of suspended sediment variation using Landsat and MODIS in the Saemangeum coastal area of Korea. *Marine Pollution Bulletin*, 64(2): 382-390.
 13. Morel, A. and L. Prieur. 1977. Analysis of variations in ocean color. *Limnology and oceanography*, 22(4): 709-722.
 14. Mueller, J.L., G.S. Fargion and C.R. McClain. 2003. Ocean optics protocols for satellite ocean color sensor validation. Goddard Space Flight Space Center, Revision 4, volume III.
 15. Oxford, M.S. 1976. Remote sensing of suspended sediments in surface waters. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 42(12): 1539-1545.
 16. Qiu, Z., C. Xiao, W. Perrie, D. Sun, S. Wang, H. Shen, D. Yang and Y. He. 2017. Using Landsat 8 data to estimate suspended particulate matter in the Yellow River estuary. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 122(1): 276-290.
 17. Ritchie, J.C. and C.M. Cooper. 1988. Comparison of measured suspended sediment concentrations with suspended sediment concentrations estimated from Landsat MSS data. *Remote Sensing*, 9(3): 379-387.
 18. Ritchie, J.C. and C.M. Cooper. 1991. An algorithm for estimating surface suspended sediment concentrations with Landsat MSS digital data. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 27(3): 373-379.
 19. Ritchie, J.C. and F.R. Schiebe. 2000. Water quality. In *Remote Sensing in Hydrology and Water Management* (pp. 287-303). Springer Berlin Heidelberg.
 20. Sathyendranath, S., L. Prieur and A. Morel. 1989. A three-component model of ocean colour and its application to remote sensing of phytoplankton pigments in coastal waters. *International Journal of Remote Sensing*, 10(8): 1373-1394.
 21. Schlerf, M., C. Atzberger and J. Hill. 2005. Remote sensing of forest biophysical variables using HyMap imaging spectrometer data. *Remote Sensing of Environment*, 95(2): 177-194.
 22. Sterckx, S., E. Knaeps, M. Bollen, K. Trouw and R. Houhuys. 2007. Retrieval of suspended sediment from advanced hyperspectral sensor data in the Scheldt Estuary at different stages in the tidal cycle. *Marine Geodesy*, 30(1-2): 97-108.
 23. Teodoro, A.C. and F. Veloso-Gomes. 2007. Quantification of the total suspended matter concentration around the sea breaking zone from in situ measurements and TERRA/ASTER data. *Marine Georesources and Geotechnology*, 25(2): 67-80.
 24. Topliss, B.J., C.L. Almos and P.R. Hill. 1990. Algorithms for remote sensing of high concentration, inorganic suspended sediment. *International Journal of Remote Sensing*, 11(6): 947-966.
 25. Torres, S.N. and M.M. Hayat. 2003. Kalman filtering for adaptive nonuniformity correction in infrared focal-plane arrays. *Journal of the Optical Society of America A*, 20(3): 470-480.
 26. Vanhellefont, Q. and K. Ruddick. 2015. Advantages of high quality SWIR bands for ocean colour processing: Examples from Landsat-8. *Remote Sensing of Environment*, 161: 89-106.
 27. Wang, J.J. and X.X. Lu. 2010. Estimation of suspended sediment concentrations using Terra MODIS: An example from the Lower Yangtze River, China. *Science of the Total Environment*, 408(5): 1131-1138.
 28. Yavari, M.S. 2004. Study of sedimentation distribution pattern Zohreh River and Dealam Port along northeast coast of Persian Gulf. Msc Thesis, 89 pages.