

رسوبات است (Nazirova et al., 2021; Abascal-Zorrilla et al., 2020) که مستقیماً بر بحث انتقال رسوب تأثیرگذار است. با توجه به این موضوع، پایش مکانی و زمانی کدورت موضوع مهمی است که می‌تواند نقش عمده‌ای در مطالعات مختلف از جمله فرآیندهای زیست‌محیطی، هیدرولوژیکی، شیمیایی و فیزیکی، ارزیابی کیفیت آب، مدیریت دریاچه‌ها، انتقال و توزیع رسوب ایفا کند (Nazirova et al., 2021). علاوه بر موارد بیان شده، مسائلی مانند انتقال ریزآلاینده‌های محیطی و فلزات سنگین نیز تحت تأثیر کدورت آب قرار می‌گیرند، بنابراین کسب دانش دقیق در این زمینه منجر به مدیریت بهتر کیفیت آب و درک بهتر محیط‌های آبی به‌ویژه دریاچه‌ها می‌شود (Maimouni et al., 2022).

به طور سنتی، ارزیابی پارامترهای کیفیت آب مانند کدورت آب توسط نمونه‌های گرفته شده در محل و آنالیز در آزمایشگاه انجام می‌شود. این رویکرد علاوه بر هزینه بر بودن، زمانبر بود (Niroumand-Jadidi et al., 2021). علاوه بر این، استفاده از تعداد محدودی از این داده‌ها در محل برای نشان دادن توزیع کلی زمانی و مکانی پارامترهای کیفیت آب، به‌ویژه در دریاچه‌هایی که تغییرات قابل توجهی در زمان و مکان دارند، منطقی نیست. فناوری سنجش از دور، به عنوان یک روش جایگزین، می‌تواند طیف قابل قبولی از ویژگی‌های کیفیت آب را نشان دهد. محققان در دهه‌های اخیر از طریق تکنیک‌های سنجش از دور پیشرفت‌های قابل توجهی در پارامترهای کیفیت آب داشته‌اند (Liu et al., 2021).

به طور کلی انواع روشهای بازایی بر اساس ویژگی‌های طیفی ذرات به سه رویکرد اصلی تقسیم می‌شوند. رویکرد اول شامل روش‌های تجربی است که یک مدل رگرسیون مانند خطی یا چند جمله‌ای را بین ویژگی‌های مشتق شده از تصویر و مشاهده درجا آموزش و کالیبره می‌کند (Niroumand-Jadidi et al., 2020). رویکرد دوم شامل روش‌های نیمه تجربی است که در آن یک مدل رگرسیون بین طیف گسترده‌ای از مشاهدات درجا و ویژگی‌های مشتق شده از تصاویر ایجاد می‌شود، تفاوت اصلی بین روش‌های تجربی و نیمه تجربی این است که مدل توسعه یافته دارای پایگاه داده بسیار بزرگی است و حالت محلی وجود ندارد و مدل تولید شده حالت کلی دارد. رویکرد سوم شامل روش‌های مبتنی بر فیزیک است که بر انعکاس مدل‌های انتقال تابشی (Niroumand-Jadidi et al., 2020) به منظور بازایی پارامترهای مورد نظر تکیه دارند.

برای مدیریت پایدار پهنه‌های آبی، پایش به‌هنگام وضعیت کیفی آن‌ها، امری لازم است. پایش کیفی آب فرآیندی اصولی است؛ که مشتمل بر جمع‌آوری، نگهداری و تجزیه و تحلیل نمونه‌های آب است، که به منظور شناسایی خصوصیات کیفی آن انجام می‌گیرد، به عبارت دیگر همان نظارت کیفی منابع آب است. این نوع پایش، مسائل مختلفی از قبیل عوامل مورد سنجش، مکان اندازه‌گیری، دوره زمانی و تواتر اندازه‌گیری، چگونگی اندازه‌گیری، روش ثبت و نگهداری داده‌ها و اطلاعات را در برمی‌گیرد. روش‌های سنتی پایش کیفیت آب‌های سطحی، شامل جمع‌آوری دستی نمونه‌ها و انجام آزمایش‌های لازم بر روی آن‌ها در محیط آزمایشگاه است، که باید به‌طور مستقیم انجام شود (Su and Chou, 2015). این روش‌های نمونه‌برداری با وجود دارا بودن دقت بالا نیازمند صرف نیروی انسانی، وقت و هزینه زیاد است و نمی‌تواند خصوصیات دینامیکی کیفیت آب را که دارای تغییرات زمانی و مکانی زیاد است، به درستی نشان دهد (Chen et al. 2012). روش‌های معمول نمونه‌برداری آب، به جهت دلایل ذکر شده و همچنین نیاز به ابزارهای پیشرفته، تکنیک‌های متفاوت نمونه‌گیری، واسنجی ابزار و آنالیزهای آزمایشگاهی زیاد، برای تعیین محتویات آب، به نوعی محدود می‌شوند؛ حتی زمانی که به‌طور موفقیت‌آمیز انجام می‌شوند، غالباً نمونه‌های میدانی، نمی‌توانند به‌طور دقیق تمام پیکره‌ی آبی که، نمونه‌گیری در آن انجام شده است، به دلیل ناهمگنی و تغییرات سریع طبیعت آب (Bonansea et al., 2015)، نمایانگر مطلوبی باشند. در این نوع روش‌ها؛ اندازه‌گیری تنها در یک نقطه از زمان و مکان مناسب‌اند، و نمی‌توانند دید مکانی و زمانی مورد نیاز در پهنه‌های بزرگ آبی را برای مدیریت رسوب فراهم کنند. با توجه به موارد ذکر شده در صورتی که جهت پیاده‌سازی برنامه‌های پایش وضعیت کیفی و تعیین غلظت رسوبات معلق منابع آبی مطابق با روش‌های معمول انجام شود، مشکلات مذکور وجود خواهد داشت؛ بنابراین نیاز به فناوری‌هایی که محدودیت‌های ناشی از روش‌های نمونه‌برداری سنتی را برطرف نماید، احساس می‌گردد، و اینجاست که برتری و توانایی قابلیت‌های سنجش از دور روشن می‌گردد. فن‌آوری سنجش از دور علم وسیع و گسترده‌ای است که در طول سه دهه گذشته نقش و کاربرد آن در زمینه‌های مختلف رشد بسیار زیادی داشته است، و به‌صورت فزاینده‌ای در مطالعات منابع آبی مورد استفاده قرار گرفته است.

پارامتر کدورت شامل رسوبات معدنی، مواد آلی، ذرات زنده و غیر زنده و آلاینده‌های محیطی جامد در ستون آب است. کدورت آب یکی از اجزای مهم آب از نظر خصوصیات کیفی و همچنین منبع اصلی

۲- روش و داده‌های مطالعه

۲-۱- روش پژوهش

یکی از اهداف مهم در پژوهش حاضر برآورد پارامتر کدورت آب به واسطه داده‌های طیفی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ و لندست-۸ است؛ در راستای این موضوع باید با استفاده از پردازشگر C2RCC داده‌های طیفی را محاسبه و سپس فرآیند مدل‌سازی را ادامه داد.

پردازشگر C2RCC مبتنی بر رویکردهای یادگیری عمیق است. پردازنده C2RCC به یک پایگاه داده بزرگ از بازتاب‌های خروجی آب شبیه‌سازی شده است و متکی به بازتاب‌های بالای جو است. با استفاده از پردازشگر C2RCC می‌توان بازتاب‌های خروجی آب را در باندهای مختلف به دست آورد، همچنین، در این رویکرد که مبتنی بر روش‌های فیزیکی است می‌توان ۳ مؤلفه کیفی اصلی آب را به واسطه روابط مختلف محاسبه کرد. این ۳ پارامتر عبارتند از غلظت کل رسوبات معلق، کلروفیل-آ و مواد محلول ارگانیک رنگی؛ به طور کلی پردازشگر C2RCC برپایه روش‌های شبکه عصبی مصنوعی است (Niroumand-Jadidi et al., 2020) که از ۲ بخش مستقل، اجزای جوی و بخش مربوط به عناصر آب تشکیل شده است (Niroumand-Jadidi and Bovolo, 2021). نقش بخش جوی این است که تابش بالایی جو را به پهنه‌های آبی انعکاس دهد و نقش عناصر آب بازتاب این انعکاس است (Niroumand-Jadidi and Bovolo, 2021)؛ که این عناصر شامل چند خصوصیت هستند که عبارتند از: جذب رنگ دانه، جذب مواد آلی محلول رنگی، جذب ریزه، پراکندگی ذرات سفید و پراکندگی رسوبات معمولی. برای رویکرد پردازش C2RCC، ۲ حالت وجود دارد، حالت تشدید یا بحرانی C2RCC-E و حالت نرمال C2RCC-N. در واقع حالت نرمال یک حالت استاندارد است ولی حالت بحرانی شامل محدوده بسیار بزرگ‌تری می‌شود. در جدول ۱ این محدوده مشخص شده‌است.

Table 1- The IOP ranges considered in training the C2RCC neural network.

جدول ۱- مشخصات محدوده ضرایب عناصر آب در

پردازشگر C2RCC

Inherent Optical Properties	C2RCC-N	C2RCC-E
$a_{pig} [m^{-1}]$	[~0,5.3]	[~0,51]
$a_{det} [m^{-1}]$	[~0,5.9]	[~0,60]
$acDOM [m^{-1}]$	[~0,1.0]	[~0,60]
$b_{part}[m^{-1}]$	[~0,60]	[~0,590]
$b_{wit}[m^{-1}]$	[~0,60]	[~0,590]

تاکنون پژوهش‌های مختلفی در زمینه پایش وضعیت کیفی و سنجش غلظت رسوبات معلق، منابع آب سطحی با استفاده از سنجش از دور انجام شده‌است، و هرکدام از این مطالعات، از سنجنده‌های متنوعی بهره‌گرفته و از مدل‌های گوناگونی مانند: رگرسیونی، هوش محاسباتی و غیره جهت برآورد پارامترهای کیفیت آب و مدیریت رسوب استفاده نموده‌اند. در تحقیقی در سال ۲۰۱۵ که توسط ژیانو و همکاران انجام شد؛ محققین در رودخانه، هان از نمونه‌های زمینی هم‌زمان با برداشت تصاویر ماهواره‌ای ZY3 و HJ1A استفاده کرده و با به‌کارگیری شبکه عصبی، مدل بازبایی شاخص کیفیت آب را برای منطقه مورد مطالعه استخراج کردند. نتایج نشان داد که مدل تهیه‌شده دارای دقت بالایی است (Xiao et al., 2015). در پژوهشی دیگر که توسط (Su and Chou, 2015) انجام شد؛ پژوهشگران برای نقشه‌ای نمودن غلظت تروفیک مخزن آب تین-پو در تایلند، از تصاویر هواپیما بدون سرنشین استفاده نموده و جهت به‌دست آوردن بهترین مدل رگرسیونی برای نقشه مورد نظر وضعیت تروفیک، از دو روش MPP و میانگین‌گیری استفاده نمودند. نتایج نشان داد که روش MPP عملکرد بهتری دارد (Su and Chou, 2015).

در مطالعه (Lailia et al., 2015) محققین در بررسی وضعیت پارامترهای کیفیت آب؛ مواد جامد محلول TDS و کلروفیل-آ در قسمت کوچکی از آب‌های اندونزی، تصاویر ماهواره‌ای سنجنده OLI لندست ۸ بکارگرفته‌اند. ایشان بین تصاویر ماهواره‌ای و پارامترهای مذکور یک الگوریتم رگرسیونی پیدا نمودند که برای هر دو پارامتر بیان شده به ترتیب دارای R^2 برابر با ۰/۷۰۹ و ۰/۵۷۹ است (Lailia et al., 2015).

(Niroumand-Jadidi et al., 2021) محققین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ و همچنین استفاده از روش‌های مبتنی بر رویکرد فیزیکی همانند روش C2RCC، WASI و OC3 بررسی بر روی پارامترهای کیفی آب از جمله کلروفیل-آ، غلظت رسوبات معلق و مواد محلول ارگانیک رنگی را در دریاچه‌های گاردا، ایدرو و ادرو انجام دادند؛ و با بررسی مقایسه این روش‌ها؛ عملکرد بهینه هرکدام از آن‌ها ارزیابی کردند (Niroumand-Jadidi et al., 2021).

به طور کلی؛ هدف این پژوهش در مرحله نخست بررسی دقت‌سنجی داده‌های طیفی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ و لندست-۸ جهت برآورد پارامتر کدورت در منطقه مطالعاتی چاه‌نیمه‌ها می‌باشد و در قدم بعدی با استفاده ترکیبات باندی مختلف و مقایسه آنها با همدیگر مدل بهینه براساس ترکیبات باندی بهینه توسعه داده می‌شود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n}} \quad (3)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - y_i| \quad (4)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i) \quad (5)$$

به طور کلی پس از مدل سازی و تهیه مدل های بهینه، با استفاده از پارامترهای آماری دقت آنها ارزیابی و مدل بهینه انتخاب و نهایتاً جهت تهیه نقشه های پهنه بندی پارامتر کیفی کدورت آب را؛ می توان مدل را بر تصاویر اعمال کرد. در تصویر ۱ می توان روند کلی پژوهش را به طور خلاصه مشاهده کرد.

در این مطالعه از روش K-Fold در جهت اعتبارسنجی متقابل استفاده شده است؛ در حالتی که داده های آموزش؛ در یک مسأله یادگیری ماشین، نسبتاً کم باشد و یا اینکه نتیجه مربوط به داده های تست را خیلی دقیق نباشد؛ از روش اعتبارسنجی متقابل استفاده می کنیم. در این شرایط روش اعتبارسنجی متقابل Cross Validation به روش K-Fold به ما کمک می کند که داده ها را به K قسمت تقسیم کنیم. سپس طی K مرحله مختلف هر بار یکی از K قسمت را به عنوان تست و K-1 قسمت دیگر را به عنوان داده آموزشی در نظر بگیریم. در نهایت با هربار اعمال مدل توسعه یافته بر روی داده های تست و طبقه بندی آنها؛ داده های پیش بینی شده توسط مدل های توسعه یافته مراحل اعتبارسنجی متقابل را با داده های مشاهداتی واقعی از نظر پارامترهای آماری ارزیابی کرده و بهترین و مناسب ترین الگوریتم را انتخاب می کنیم. مقدار K در این پژوهش معادل ۴ در نظر گرفته شده است.

رابطه ۳-۵؛ برآورد غلظت کل رسوبات معلق را با استفاده از پردازنده C2RCC را نشان می دهد؛ f_{bpart} و f_{bwit} به ترتیب ضرایب عامل های بازتابش رسوبات معمولی و بازتابش مواد سفید هستند. این مقادیر به ترتیب معادل ۰/۹۴۲ و ۱/۰۶ هستند.

$$TSM = b_{part} \times f_{bpart} + b_{wit} \times f_{bwit} \quad (1)$$

هدف اصلی در این مرحله به دست آوردن داده های طیفی بازتابش RRS و برآورد مقادیر غلظت کل رسوبات معلق از رویکرد C2RCC می باشد.

پارامترهای آماری جهت اعتبارسنجی مدل ها بهینه مشتق شده از ترکیبات باندی در این مطالعه شامل؛ پارامتر ضریب تشخیص پارامتر ضریب تشخیص یک معیار آماری مهم است که در یک مدل رگرسیونی نشان دهنده نسبت اختلاف یا واریانس در شرایط آماری برای یک متغیر وابسته است که می تواند توسط یک متغیر مستقل شرح داده شود؛ ریشه میانگین مربعات خطا معیاری است که اغلب تفاوت بین مقادیر پیش بینی شده توسط یک مدل و مقادیر واقعی مشاهده شده از محیطی که در حال مدل سازی است، نشان می دهد؛ خطا میانگین مطلق خطای مطلق؛ قدر مطلق تفاوت بین مقدار پیش بینی شده و مقدار واقعی است. میانگین خطای مطلق دقت را برای متغیرهای پیوسته اندازه گیری می کند؛ خطا میانگین بایاس میانگین خطای سوگیری یا بایاس؛ می تواند به خوبی برآورد بیشتر از حد یا کمتر از حد؛ داده های مشاهداتی را نشان دهد. معادلات ۲ الی ۵ نشان دهنده این پارامترهای آماری هستند.

$$R^2 = \left(\frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}} \right)^2 \quad (2)$$

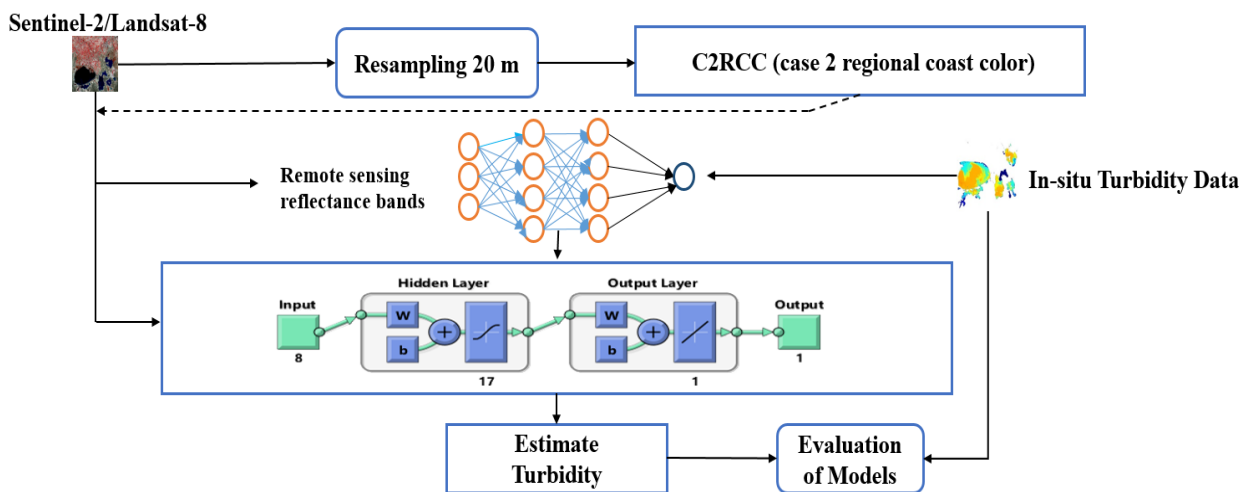


Fig. 1- Schematic of the steps taken in this study
 شکل ۱- شماتیک مراحل طی شده در این مطالعه

۳- منطقه مطالعاتی

رودخانه سیستان و تا حدود ۶ کیلومتری روستای زهک ادامه دارد. گودال شماره دو از مرز افغانستان شروع شده و تا اواسط چاهنیمه شماره یک، در جنوب آن ادامه می‌یابد. چاهنیمه شماره سه در غرب چاهنیمه شماره دو، واقع است. مخزن شماره چهار نیز، که در سالهای اخیر به بهره‌برداری رسیده است؛ در غرب چاهنیمه شماره سه قرار دارد و بزرگترین مخزن در بین مخازن موسوم به چاهنیمه می‌باشد. ارتفاع این مخازن از سطح دریا تا ۴۹۶ متر نیز برآورد شده است، و به وسیله آبراهه‌های شماره یک، دو و سه به هم متصل می‌شود. مخازن یک، دو و سه در سال ۱۳۵۲ به مساحت ۴۷ کیلومتر مربع و مخزن شماره چهار به مساحت ۹۴ کیلومتر مربع در سال ۱۳۸۷ به بهره‌برداری رسید. به عبارتی مجموعه این مخازن چاهنیمه می‌تواند سالانه ۱۴۴۰ میلیون متر مکعب آب را در خود ذخیره و در همان سال و در فصول خشک بخشی از آن را مورد استفاده قرار دهند. در شکل ۲ می‌توان منطقه مطالعاتی و نمونه‌های زمینی پارامتر کدورت را مشاهده کرد.

مخازن چاهنیمه به‌طور کلی از چهار گودال طبیعی سازماندهی شده تشکیل شده‌اند، موقعیت جغرافیایی این منطقه؛ در بخش شمالی دلتای رود هیرمند در منطقه سیستان ایران در محدوده جغرافیایی ۳۰ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی، ۶۱ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۴۵ دقیقه طول شرقی و ارتفاع متوسط ۵۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است. چاهنیمه منبع آب شیرین شهرستان زابل، زهک، زاهدان و سایر نواحی مسکونی سیستان و همچنین آب آبیاری حدود ۸۰۰۰۰ هکتار اراضی کشاورزی این منطقه را تأمین می‌کنند. چاهنیمه‌ها از نوع سدهای برون مسیر و گودال‌های طبیعی هستند؛ که همانند ظروف مرتبطه عمل نموده که آب‌های مازاد مصرف رودخانه هیرمند در فصول پر آب زمستان و بهار را جمع‌آوری نموده و در فصول کم آب و پر مصرف جهت مصارف کشاورزی و شرب در دسترس قرار می‌دهند. مخزن شماره یک، از مرز ایران و افغانستان به موازات

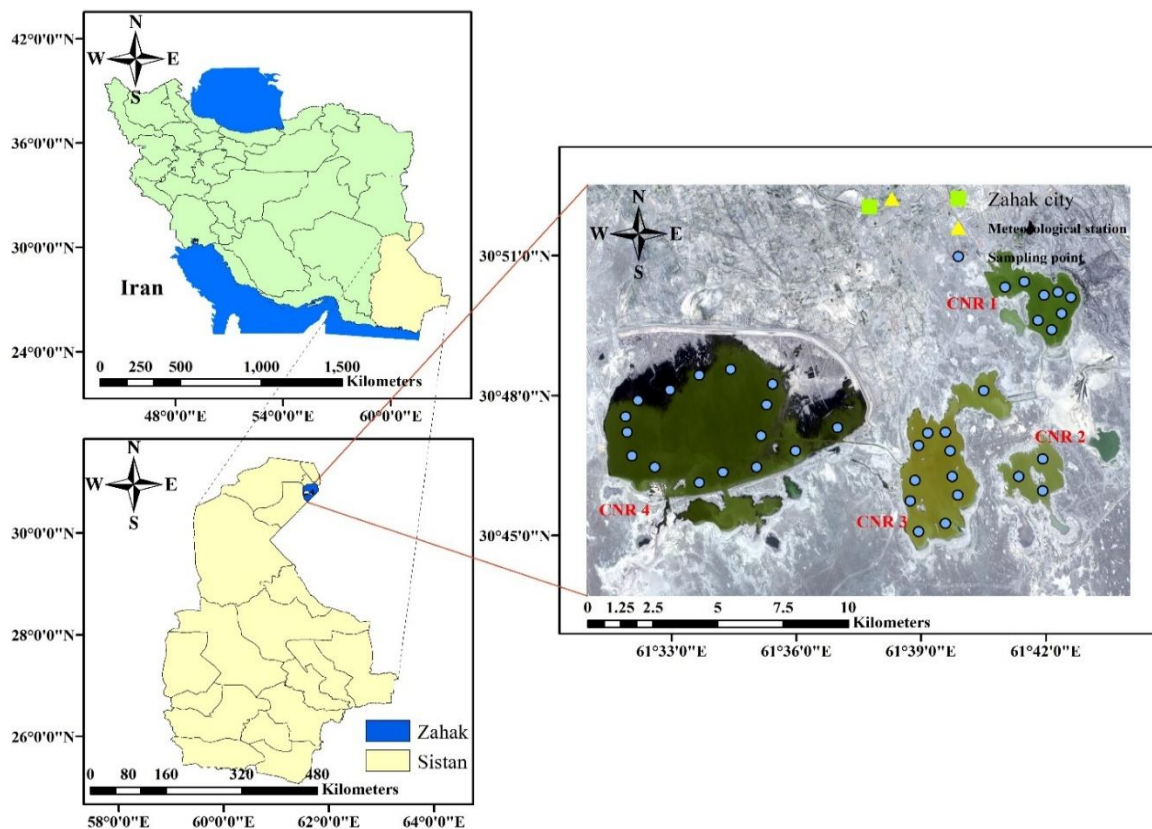


Fig. 2- Location of Chah-Nimeh reservoirs in Sistan Province and Sentinel-2 natural color RGB base image of 21 June 2021; the meteorological station is marked with a yellow triangle and the sampling sites are marked with blue circles

شکل ۲- موقعیت جغرافیایی چاه‌نیمه‌های استان سیستان و بلوچستان، تصویر مبتنی بر رنگ‌های طبیعی سنجنده سنتینل-۲ در تاریخ ۲۱ ژوئن ۲۰۲۱. ایستگاه هواشناسی با مثلث زرد رنگ و نقاط زمینی نمونه‌برداری آب با دایره‌های آبی رنگ نشان داده شده‌اند

۳-۱- داده‌های پژوهش

استفاده شده در پژوهش شامل باندهای تکی، نسبت بانندی، نسبت مشتق طیفی و شاخص اختلاف نرمال است که در معادلات ۶ الی ۸ به ترتیب ترکیبات بانندی نسبت بانندی، نسبت مشتق طیفی و شاخص اختلاف نرمال نشان داده شده است.

نسبت بانندی (Ratio):

$$\{R\}_{ij} = \frac{b_i}{b_j}, \quad i = \{1, \dots, N-1\} \quad j = \{i+1, \dots, N\} \quad (6)$$

نسبت مشتق طیفی (Spectral Derivative):

$$\{D\}_{ij} = \frac{b_i - b_j}{\lambda_i - \lambda_j}, \quad i = \{1, \dots, N-1\} \quad j = \{i+1\} \quad (7)$$

شاخص اختلاف نرمال (Normalized difference index):

$$\{NDI\}_{ij} = \frac{b_i - b_j}{b_i + b_j}, \quad i = \{1, \dots, N-1\} \quad j = \{i+1, \dots, N\} \quad (8)$$

نتایج فاز اعتبارسنجی و آموزش در این مطالعه در جداول ۴ و ۵ به ترتیب برای داده‌های طیفی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ و لندست-۸ گزارش شده است.

تصاویر ماهواره‌ای این پژوهش، شامل تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ و لندست-۸ می‌باشد؛ که در فاصله‌ای تقریباً ۳ ساله، با توجه داده‌های زمینی ثبت شده پارامتر کیفی غلظت رسوبات معلق برداشت شده است. این تصاویر از سایت www.scihub.copernicus.eu دریافت شدند، تصاویر ماهواره‌ای این فاز از تحقیق شامل ۲۷ تصویر سنتینل-۲ و ۲۴ تصویر لندست-۸ بوده که از سطح مخازن چاه‌نیمه برداشت شده‌اند. تصاویر دریافت شده در حالت LIC بوده، و نیازی به تصحیح هندسی ندارند، اما به علت این که رفلکتانس آن‌ها در حالت بالای اتمسفر است، باید تصحیحات اتمسفری روی آن‌ها اعمال شود تا به صورت رفلکتانس زمینی تغییر حالت داده شوند. در جدول ۲ تعداد تصاویر استفاده شده در این مطالعه براساس فصل مشخص شده است. مقادیر آماری داده‌های اندازه‌گیری شده کدورت آب در محل نیز در جدول ۳ براساس مدل‌سازی برای داده‌های طیفی تصاویر ماهواره‌ای نشان داده شده است.

۴- نتایج و تحلیل نتایج

در این پژوهش با استفاده از الگوریتم‌های شبکه عصبی و داده‌های طیفی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ و لندست-۸ به واسطه استفاده از ترکیبات بانندی مختلف؛ چند مدل توسعه داده شد. ترکیبات بانندی

Table 2- Number of Sentinel-2/Landsat-8 images used in four seasons from 2018 to 2021

جدول ۲- تعداد تصاویر سنتینل-۲ و لندست-۸ استفاده شده در این مطالعه از چهار فصل سال؛ از سال ۲۰۱۸ الی ۲۰۲۱

Year	Winter	Spring	Summer	Autumn
2018	2	8	4	5
2019	5	4	-	3
2020	3	4	6	2
2021	2	-	1	2
Total	12	16	11	12

Table 3- Turbidity ground data for modeling using spectral data from this research; S.D is standard deviation, C.V. is coefficient of variation, and N is the number of observations

جدول ۳- اطلاعات پارامتر زمینی کدورت جهت مدل‌سازی با استفاده از داده‌های طیفی در این پژوهش، S.D انحراف معیار است، C.V. ضریب تغییرات است و N تعداد مشاهدات است

Satellite	Parameter	Units	Min	Max	S.D	C.V. (%)	N
Sentinel-2	Turbidity	NTU	0.000	37.40	8.536	59.81	76
Landsat-8	Turbidity	NTU	0.000	77.70	11.53	71.31	83

Table 4- The results of the training and validation phase of different band combinations in Sentinel-2 satellite images

جدول ۴- نتایج فاز آموزش و اعتبارسنجی ترکیبات باندهای مختلف تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲

Band Combinations	R-Squared	MBE	RMSE [NTU]	MAE	R-Squared	MBE	RMSE [NTU]	MAE
	Training Result				Validation Result			
Ratio	0.83	0.44	3.52	2.81	0.81	1.79	4.06	3.35
Single Band	0.86	0.36	3.26	2.52	0.85	0.83	3.36	2.73
Spectral Derivative	0.83	0.26	3.43	2.60	0.82	-1.33	3.89	2.90
Normalized difference index	0.89	0.30	2.79	2.14	0.86	0.69	3.33	2.64

Table 5- The results of the training and validation phase of different band combinations in Landst-8 satellite images

جدول ۵- نتایج فاز آموزش و اعتبارسنجی ترکیبات باندهای مختلف تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸

Band Combinations	R-Squared	MBE	RMSE [NTU]	MAE	R-Squared	MBE	RMSE [NTU]	MAE
	Training Result				Validation Result			
Ratio	0.83	2.33	4.96	3.84	0.79	0.55	4.81	3.20
Single Band	0.87	0.67	3.74	2.98	0.86	0.08	3.89	2.63
Spectral Derivative	0.86	0.67	3.94	2.45	0.82	0.28	4.37	2.93
Normalized difference index	0.87	0.35	3.72	2.67	0.84	0.38	4.29	2.81

ادامه مدل توسعه داده شده بر اساس داده‌های طیفی سنتینل-۲ و لندست-۸ بر روی تصاویر این سنجنده‌ها اعمال و بررسی خواهد شد. شکل‌های ۵ و ۶ نشان‌دهنده این موضوع هستند.

همانطور که از شکل‌های پنج و شش مشخص است پارامتر کدورت آب در فصل‌های گرم سال به جهت وزش بادهای ۱۲۰ روزه و عوامل محیطی منطقه مطالعاتی مدنظر؛ مقدار بالایی دارد از سوی دیگر در فصل‌های سرد و سال به جهت کاهش مقدار آلودگی هوا و وزش بادهای ۱۲۰ روزه و عواملی از این قبیل مقدار کدورت کاهش می‌یابد که این را مدل به خوبی نشان داده است.

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان به این موضوع پی برد که نتایج ترکیبات باندهای Normalized difference index به مراتب نتایج بهتری را ارائه کرده است؛ اما همچنین با توجه به اینکه نتایج Single Band نیز نتایج قابل قبولی می‌باشد و ذکر این نکته که استفاده از Single Band موجب کاهش محاسبات ریاضی در فرآیند تولید نقشه‌های پهنه‌بندی می‌شود. بنابراین در این مطالعه مدل‌های مبتنی بر Single Band جهت برآورد پارامتر کدورت استفاده می‌شود. در تصاویر ۳ و ۴، نتایج ترکیبات باندهای طیفی تصاویر سنتینل-۲ و لندست-۸ نشان داده شده است.

همانطور که بیان شد؛ در ادامه جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی از مدل‌های توسعه داده شده مبتنی بر Single Band استفاده می‌شود. در

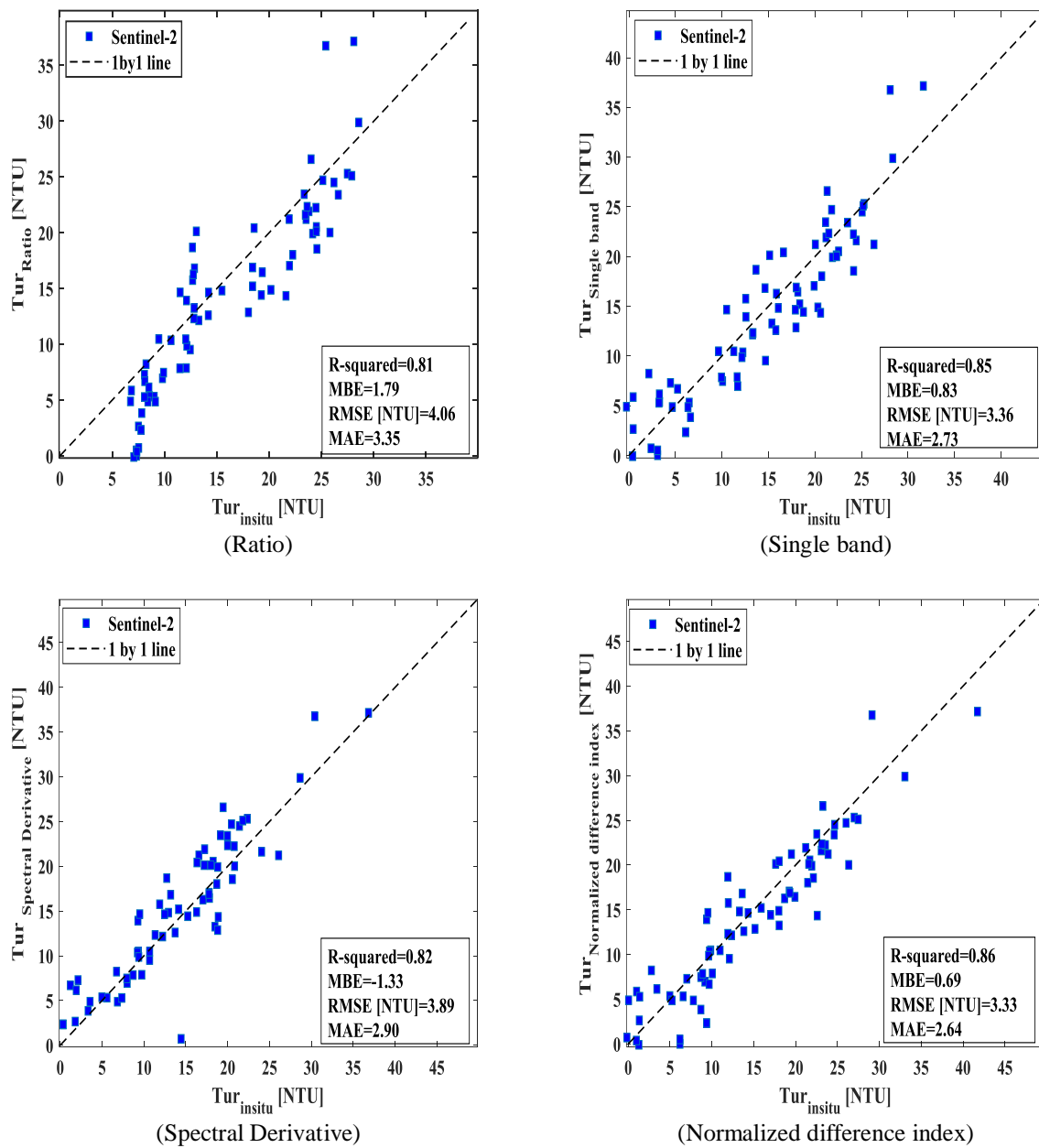


Fig. 3- Validation of models derived from band combinations of spectral data of Sentinel-2 images

شکل ۳- اعتبارسنجی مدل‌های مشتق از ترکیبات باندهای داده‌های طیفی تصاویر سنتینل-۲

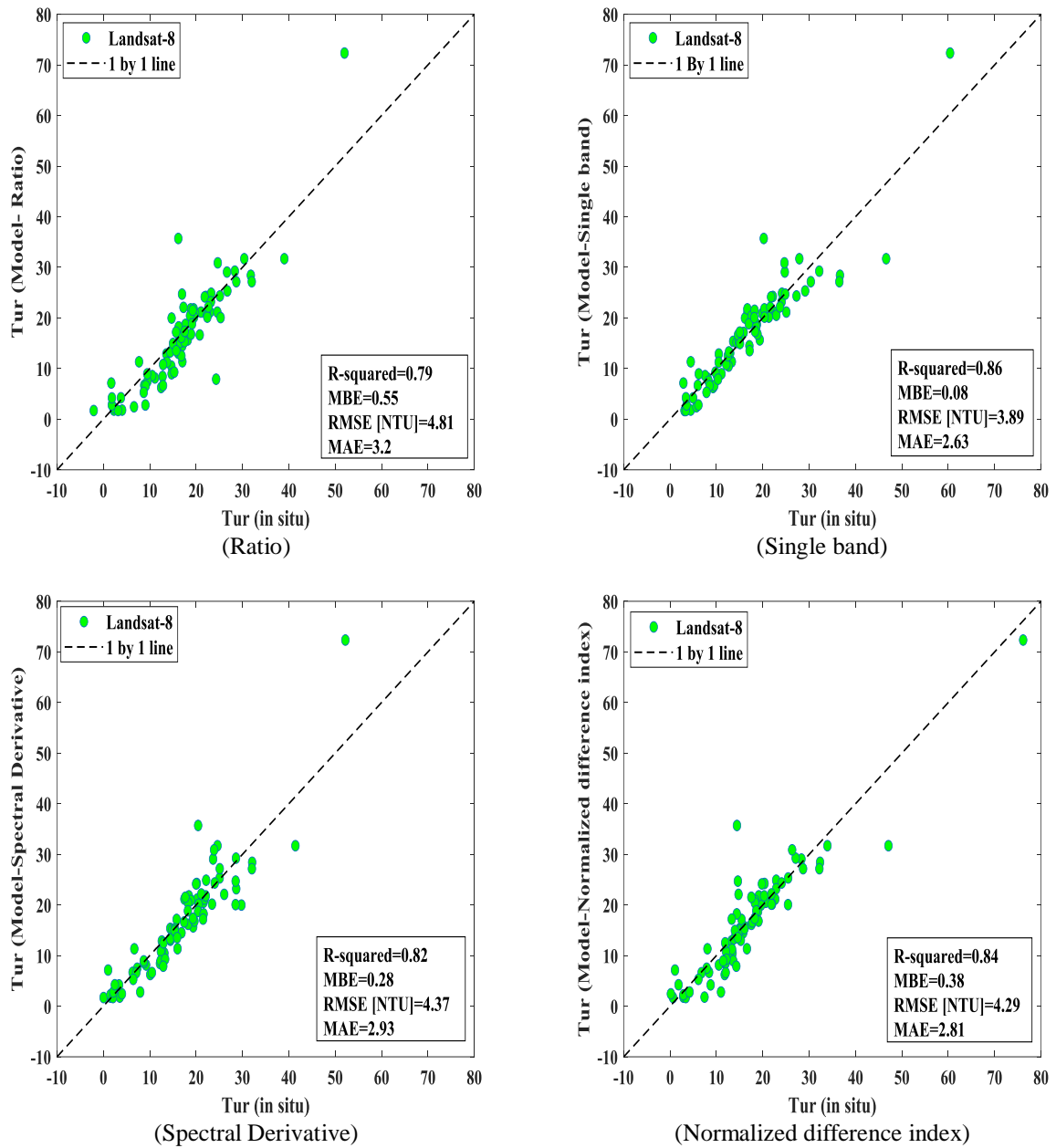


Fig. 4- Validation of models derived from band combinations of spectral data of Landsat-8 images
 شکل ۴- اعتبارسنجی مدل‌های مشتق از ترکیبات بانندی داده‌های طیفی تصاویر لندست

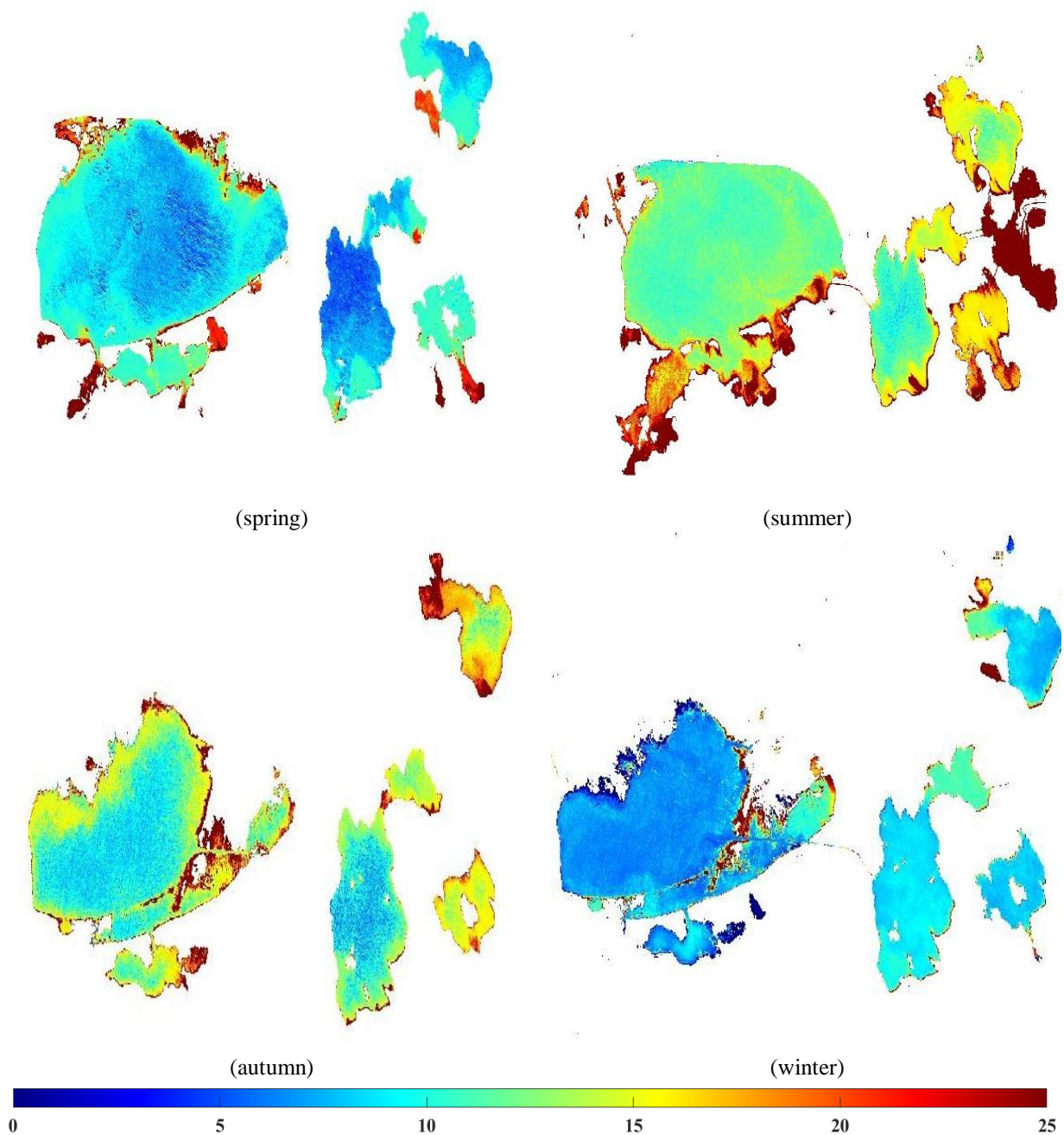


Fig. 5- Zoning maps of turbidity derived from developed models based on Sentinel-2 spectral data
 شکل ۵- نقشه‌های پهنه‌بندی از پارامتر کدورت مشتق شده از مدل‌های توسعه داده شده مبتنی بر داده‌های طیفی سنتینل-۲

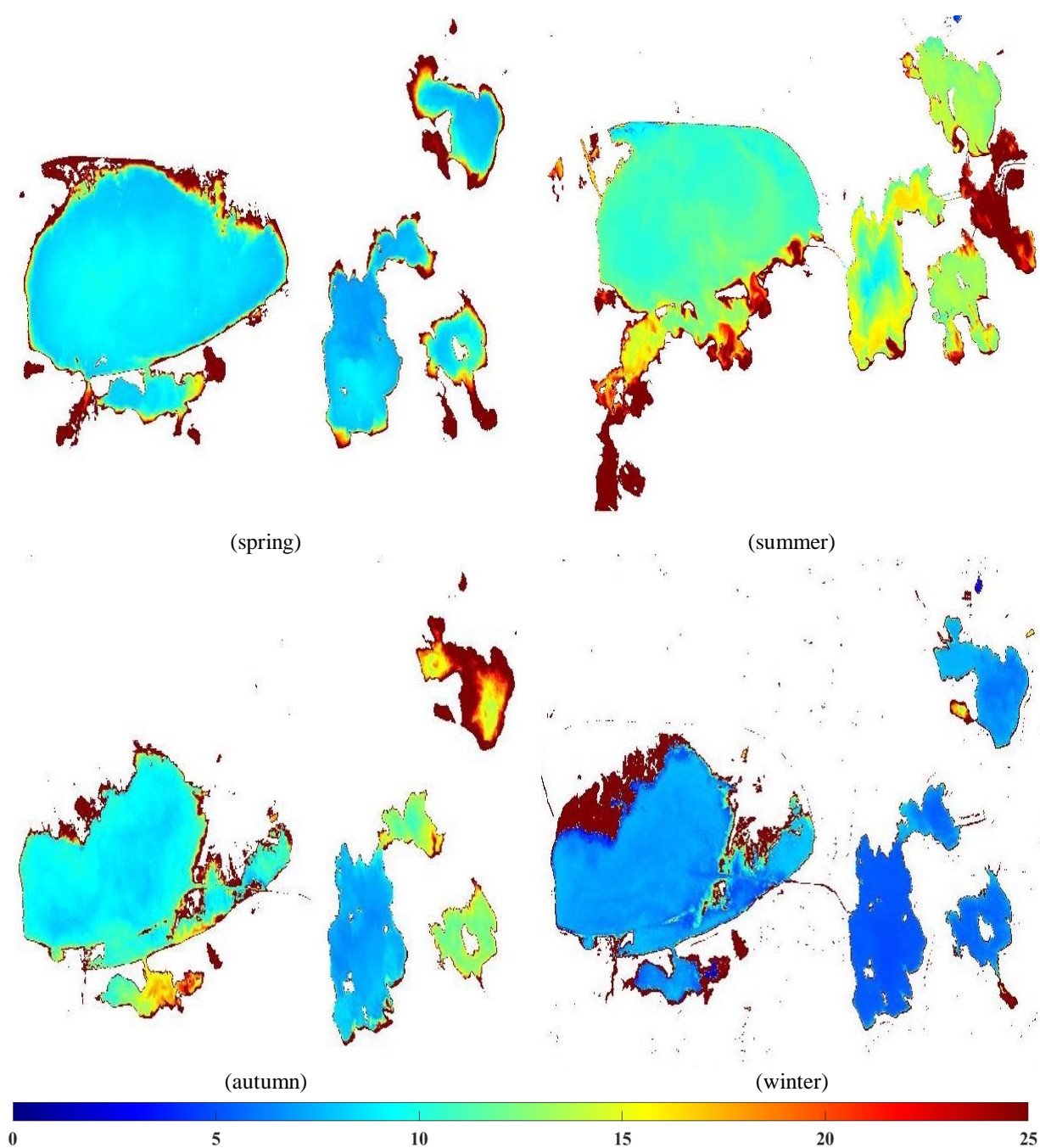


Fig. 6- Zoning maps of turbidity derived from developed models based on Landsat-8 spectral data.

شکل ۶- نقشه‌های پهنه‌بندی از پارامتر کدورت مشتق شده از مدل‌های توسعه داده شده مبتنی بر داده‌های طیفی لندست-۸

۵- جمع‌بندی

نتایج حاصل از مطالعه نشان می‌دهد که؛ با اعمال مدل بهینه بر روی تصاویر سنتینل ۲ و لندست ۸ در فصول مختلف سال؛ در فصل‌های گرم سال به جهت وقوع پدیده بادهای ۱۲۰ روزه در این منطقه جغرافیایی و همچنین عوامل محیطی مانند وزش باد آلودگی هوا موجب افزایش پارامترهای کیفی آب همچون کدورت و غلظت رسوبات معلق در مخازن چاه نیمه است همانطور که در شکل‌های این مطالعه قابل رویت است در فصول سرد سال به جهت کاهش عوامل ذکر شده مقادیر پارامترهای کیفی همچون کدورت آب کاهش یافته است و موارد بیان شده به خوبی توسط مدل نشان داده شده است.

پی‌نوشت‌ها

- 1) MPP: Matching Pixel by Pixel
- 2) TSD: Total Dissolved Solids
- 3) OLI: Operational Land Imager
- 4) C2RCC: Case-2 Regional Coast Colour
- 5) WASI: Water Color Simulator
- 6) OC3: 3-band Ocean Color Algorithm
- 7) RRS: Reflectance Remote Sensing
- 8) a_{pig} : Pigment Absorption
- 9) a_{det} : Absorption of Detritus
- 10) a_{CDOM} : Colored Dissolved Organic Matter Absorption
- 11) b_{part} : Typical Sediment Scatter
- 12) b_{wit} : Scattering of White Particles
- 13) R^2 : R-squared
- 14) RMSE: Root Mean Square Error
- 15) MAE: Mean Absolute Error
- 16) MBE: Mean Bias Error

این منطقه مطالعاتی که به واسطه نوع اقلیم و شرایط مرزی؛ اندازه‌گیری پارامترهای کیفی آب همچون کدورت همراه با چالش است و همچنین مشکلاتی در ارتباط با اندازه‌گیری‌های زمینی از جمله محدود بودن به زمان و مکان صرف هزینه زیاد موجب اهمیت این مطالعه و پژوهش می‌باشد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان‌دهنده این موضوع است که به واسطه استفاده از قابلیت‌های سنجش از دور و داده‌های طیفی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ و لندست-۸ و همچنین مدل‌سازی شبکه عصبی می‌توان مدل‌های پارامترهایی کیفی آب همچون کدورت آب و غلظت رسوبات معلق را با دقت مناسبی توسعه داد.

در این پژوهش به واسطه استفاده از ۴ نوع ترکیب باندی مستقل؛ شامل باندهای تکی، نسبت باندی، نسبت مشتق طیفی و شاخص اختلاف نرمال که هرکدام از این ترکیبات باندی به طور مستقل به عنوان ورودی فرآیند مدل‌سازی قرار گرفتند؛ نهایتاً با انجام بررسی و دقت‌سنجی انجام شده بر روی مدل‌های توسعه داده شده هر یک از ترکیبات باندی؛ نتایج نشان‌دهنده این موضوع بود که مدل مبتنی بر شاخص اختلاف نرمال در داده‌های طیفی سنجنده سنتینل-۲ و مدل مبتنی بر باندهای تکی در داده‌های طیفی لندست-۸ داده دارای دقت بالاتری می‌باشند. اما با توجه به اختلاف کم دو مدل باندهای تکی و شاخص اختلاف نرمال در داده‌های طیفی سنتینل-۲ و همچنین اهمیت این موضوع که استفاده از باندهای تکی موجب کاهش محاسبات می‌شود؛ مدل‌های مبتنی بر باندهای تکی در داده‌های طیفی تصاویر ماهواره‌های سنتینل-۲ و لندست-۸ عنوان مدل بهینه در نظر گرفته شد.

۶- مراجع

- Abascal-Zorrilla N, Vantrepotte V, Huybrechts N, Ngoc D D, Anthony E J, and Gardel A (2020) Dynamics of the estuarine turbidity maximum zone from landsat-8 data: The case of the maroni river Estuary, French Guiana', *Remote Sensing* 12(13):2173
- Bonanse M, Rodriguez M C, Pinotti L, and Ferrero S (2015) Using multi-temporal Landsat imagery and linear mixed models for assessing water quality parameters in Río Tercero reservoir (Argentina). *Remote Sensing of Environment* 158:28-41
- Chen Q, Wenqiang W, Blanckaert K, Ma J, and Huang G (2012) Optimization of water quality monitoring network in a large river by combining measurements, a numerical model and matter-element analyses. *Journal of Environmental Management* 110:116-24
- Lailia N, Arafah F, Jaelani A, and Pamungkas A D (2015) Development of water quality parameter retrieval algorithms for estimating total suspended solids and chlorophyll-A concentration using Landsat-8 imagery at Poteran island water. *Joint International Geoinformation Conference*, Kuala Lumpur, 28-30 October 2015, 55-62
- Yongming L, Zhao J, Deng R, Liang Y, Gao Y, Chen Q, Xiong L, Liu Y, Tang Y, and Tang D (2021) A downscaled bathymetric mapping approach combining multitemporal Landsat-8 and high spatial resolution imagery: Demonstrations from clear to turbid waters. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 180:65-81
- Soufiane M, Moufkari A A, Daghor L, Fekri A, Oubraim S, and Lhissou R (2022) Spatiotemporal monitoring of low water turbidity in Moroccan coastal lagoon using Sentinel-2 data. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 26:100772
- Nazirova K, Alferyeva Y, Lavrova O, Shur Y, Soloviev D, Bocharova T, and Stochkov A (2021) Comparison of in situ and remote-sensing methods to determine turbidity and concentration of suspended matter in the estuary zone of the mzymta river, black sea. *Remote Sensing* 13(1):143
- Niroumand-Jadidi M, and Bovolo F (2021) Sentinel-2 reveals abrupt increment of total suspended matter while ever given ship blocked the Suez Canal. *Water* 13:3286
- Niroumand-Jadidi M, Bovolo F, and Bruzzone L (2020) Water quality retrieval from PRISMA hyperspectral images: First experience in a Turbid Lake and comparison with Sentinel-2. *Remote Sensing* 12(23):3984
- Niroumand-Jadidi M, Bovolo F, Bruzzone L, and Gege P (2021) Inter-comparison of methods for Chlorophyll-a retrieval: Sentinel-2 time-series analysis in Italian Lakes. *Remote Sensing* 13(12):2381
- Su T, and Chou T (2015) Application of multispectral sensors carried on unmanned aerial vehicle (UAV) to trophic state mapping of small reservoirs: A case study of Tain-Pu reservoir in Kinmen, Taiwan. *Remote Sensing* 7(8):10078-10097
- Xiao X, Jian X, Xiongfei W, Chengfang H, Xuejun C, Zhaohui W, and Dengzhong Z (2015) Evaluation method of water quality for river based on multi-spectral remote sensing data. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40:1517