**بارزسازی پلوم رودخانه‌های تجن، تلار، شازده و بابلرود با استفاده از سنتینل 2**

**علی قربانی\*1، مهدی هنرمند 2**

1-کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور زمین‌شناختی، گروه اکولوژی، پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

2-دانشیار زمین‌شناسی، گروه اکولوژی، پژوهشکده علوم محیطی دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

**چکیده:** پلوم‌ها، توده‌های آبی هستند که توسط رودخانه‌ها وارد آب‌های ساحلی شده و دارای خصوصیات متفاوتی نسبت به آب‌های ساحلی هستند. پلوم‌ها می‌توانند انواع بار معلق و محلول حمل شده توسط رودخانه‌ها را تا نواحی دور از ساحل انتقال دهند. پایش آب‌های ساحلی از دیدگاه زیست‌محیطی اهمیت بسیار دارد زیرا بر اکولوژی و شرایط اجتماعی-اقتصادی سواحل تأثیر بسزایی دارد. سنجش‌ازدور به دلیل در اختیار قرار دادن داده‌های به‌روز که قابلیت آشکارسازی و پایش پلوم‌ها را دارد یکی از ابزارهای بسیار مفید برای این منظور است. در این مطالعه با استفاده از داده سنتینل2 پلوم‌های رودخانه‌های تجن، تلار، شازده و بابلرود در سواحل مازندران موردبررسی قرارگرفت. به جهت بارزسازی از نسبت باندی مواد معلق و شاخص نرمال شده مواد معلق استفاده شد. نتایج نشان داد که نسبت باندی حجم و مساحت بیشتری نسبت به شاخص مواد معلق را بارز نموده است. همچنین بخش بیشتر پلوم رودخانه تجن در نزدیکی ساحل رسوب می‌کند اما پلوم 3 رودخانه تلار، شازده و بابلرود که فواصل نزدیکی به یکدیگر دارند حجم بیشتری داشته و مساحت بیشتری از آب‌های ساحلی را اشغال می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** **پلوم، سنجش‌ازدور، سنتینل 2، رود تجن، رود تلار، رود شازده، بابلرود**

**Enhancing the plume of Tajan, Telar, Shazdeh and** **Babol Roud rivers using Sentinel 2**

**Ali Ghorbani1\*,** **Mehdi Honarmand2**

1- MSc Geological Remote Sensing, Department of Ecology, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman

2- Associate Professor of Geology, Department of Ecology, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman

**Abstract:** Plumes are masses of water that enter coastal waters by rivers and have different characteristics than coastal waters. Plumes can transport a variety of suspended and dissolved loads carried by rivers to areas far from the coast. Coastal water monitoring is so important from an environmental point of view because it has a significant impact on the ecology and socio-economic conditions of the coasts. Remote sensing is one of the most effective tools for this purpose because it provides useful data that can detect and monitor masses. In this study, using Sentinel 2 data, the plumes of Tajan, Telar, Shazdeh, and Babol Roud rivers in the coasts of Mazandaran Province were investigated. for enhancing plumes, the Band Ratio of suspended sediments and the Normalized Suspended Material Index (NSMI) were used. The results showed that the Band Ratio showed more volume and area than the NSMI. Also, most of the Tajan river plume is deposited near the coast, but the plume of 3 Talar, Shazdeh and Babol Roud rivers, which are close to each other, has a larger volume and occupies a larger area of coastal waters.

**Keywords: Plume, Remote Sensing, Sentinel-2, Tajan river, Telar river, Shazdeh river, Babol roud river**

**مقدمه:**

پلوم رودخانه‌ای یک توده آب شیرین است که درنتیجه اختلاط جریان رودخانه و آب شور دریا ایجاد می‌شود[1]. پلوم‌ها در نواحی ساحلی بسیاری از مناطق جهان تشکیل‌شده و نقش مهمی در فرایندهای پویای سواحل ایفا می‌کنند[2][3]. پلوم‌های رودخانه عموماً به شکل لایه‌ای گسترده، اما کم‌عمق در سطح دریا به وجود می‌آیند که توسط گرادیان چگالی شدید محدودشده‌اند و به‌آرامی با آب دریا مخلوط می‌شوند[4][3]. مساحت پلوم رودخانه 3تا 5 برابر بزرگ‌تر از عمق آن است، به‌نحوی‌که حتی رودخانه‌های کوچک با دبی تقریبی بین 1تا10 متر بر ثانیه پلوم‌هایی به وسعت تقریبی10تا100 متر را تشکیل می‌دهند. مساحت پلوم‌های رودخانه‌ای که توسط بزرگ‌ترین رودخانه‌های جهان تشکیل‌شده 100-1000 کیلومترمربع است. علیرغم حجم نسبتاً کم رواناب کل آب شیرین به اقیانوس‌ها، پلوم‌های رودخانه‌ای تا 21 درصد از مناطق فلات قاره را اشغال می‌کنند[4]. پلوم را به‌عنوان مکانیسم اصلی انتقال آب شیرین به دریا، رسوبات معلق، کربن محلول، مواد مغذی و آلاینده‌ها در مصب و آب‌های ساحلی در نظر می‌گیرند[1][5]. تغییرات زمانی-مکانی پلوم‌های رودخانه‌ای به‌شدت با عوامل محیطی ازجمله نیروی کوریولیس، باد، میزان رواناب رودخانه هنگام تخلیه به دریا، جریان‌های ساحلی، چرخه‌های جزر و مدی، شیب فلات قاره و جهت کانال‌های زیردریایی مرتبط است[6][5]. پلوم‌ها نمایانگر ویژگی فرایندهای حوضه رودخانه بوده و بر اکوسیستم دریایی نواحی فلات قاره تأثیر می‌گذارند[7]. پلوم‌ها غلظت بالایی از مواد بیولوژیکی، شیمیایی، آلاینده‌ها، فلزات سنگین، رسوبات محلول و معلق و مواد مغذی را حمل می‌کنند که بر محیط رسوبی، فرایندهای فیزیکی، ژئوشیمیایی و زیستی مانند سلامت آبزیان تأثیرگذارند همچنین به دلیل غلظت بالای مواد معلق می‌توانند نفوذ نور در محیط آبی کاهش داده و بر رشد گیاهان محیط آبی تأثیر گذارد[2][8][3][7].عواملی چون تغییرات اقلیمی، فرایندهای زمین‌شناختی، تغییرات کاربری اراضی و عوامل انسانی بر میزان غلظت رسوب و مواد حامل توسط رودخانه‌ها تأثیر مستقیم دارند[9]. ازآنجایی‌که نواحی ساحلی اکوسیستم خاص خود را داشته و ازلحاظ زیست‌محیطی و اقتصادی دارای اهمیت فراوانی هستند پایش آن‌ها اهمیت فراوانی دارد[10]. به دلیل تنوع زمانی-مکانی پلوم‌ها، ردیابی آن‌ها در درون محیط دریا صرفاً با کشتی و یا شناورها دشوار است. استفاده از یک رویکرد هماهنگ و یکپارچه با استفاده از شناورها، هواپیما و ماهواره‌ها می‌تواند بسیار مؤثر و دقیق باشد[7]. استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به دلیل پوشش گسترده، دسترسی آسان و رایگان و توانایی تصویربرداری در طول‌موج‌های مختلف و قدرت تفکیک مکانی متنوع می‌تواند در شناخت، پایش و رصد پلوم‌های رودخانه‌ای بسیار مفید باشد[11][7][12]. داده‌های ماهواره‌ای بیشتر پلوم‌ها را می‌توانند تشخیص دهند زیرا پلوم‌ها ازلحاظ رنگ، کدورت، ذرات معلق و رسوبات محلول، شوری و حتی دما نسبت به آب دریا متفاوت هستند[7]. به همین دلیل می‌توان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای نماهای همدیدی مکرر به دست آورد و با تکیه‌بر خصوصیات بازتابی آب‌های ساحلی برای شناسایی پلوم‌ها بهره برد[5]. محدوده موردمطالعه بخشی از سواحل استان مازندران، شامل مصب رودخانه‌های تجن، رود تلار، بابلرود و رودخانه شازده می‌شود. این رودخانه‌ها با گذر از میان زمین‌های کشاورزی، شهرها، روستاها و مراکز اقامتی تفریحی، وجود معادن شن و ماسه و همچنین رهاسازی فاضلاب و وجود مراکز دپوی زباله دچار مشکلات عدیده زیست‌محیطی هستند. لازم به ذکر است که مصب دو رودخانه شازده و بابلرود به یکدیگر بسیار نزدیک بوده و رودخانه بابلرود رودخانه بزرگ‌تری نسبت به رود شازده است. از آنجا که دریای خزر یک محیط بسته محسوب شده و به دریاهای آزاد راه نداشته و نقش مسائل زیست‌محیطی بویژه سلامت آبزیان خزر اهمیت خاصی دارد، شناسایی و پایش پلوم‌های رودخانه‌ای اهمیت دوچندان می‌یابد. استفاده از داده‌های ماهواره‌ای همچون سنتینل 2 که دارای توان تفکیک مکانی، طیفی و زمانی خوبی هستند می‌تواند در شناسایی و پایش پلوم‌های حاشیه خزر بسیار مفید باشد.

**روش مطالعه:**

همان‌گونه که اشاره شد استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به‌منظور مطالعه پلوم‌های رودخانه‌ای، بسیار مفید و کارآمد است. از داده‌های ماهواره‌ای متفاوتی بنا به هدف و مقیاس مطالعه درزمینه پلوم‌های رودخانه‌ای استفاده‌شده است. ازجمله داده‌هایی همچون مادیس، سری لندست و سنتینل 2 [13] [14][15] . در پژوهش حاضر با استفاده از داده‌های ماهواره سنتینل 2 به بررسی پلوم‌های رودخانه‌ای سواحل استان مازندران پرداخته می‌شود. ماهواره سنتینل 2 یک ماهواره منابع زمینی است که دارای 13 باند با وضوح مکانی 10 متر،20 متر و 60 متر است. پهنای برداشت آن 290 کیلومتر با چرخه بازگشت 12 روز (5 روز به‌شرط بکار گیری دو ماهواره) است. این ماهواره با دارا بودن توان تفکیک مکانی مناسب در گستره مرئی و فروسرخ نزدیک (10 متر) و فروسرخ موج‌کوتاه (20 متر) می‌تواند جهت انجام پژوهش‌های علوم زمین کارآمد واقع شود این ماهواره از سنجنده MSI با سامانه تصویربرداری Pushbroom استفاده می‌کند.سنتینل2 درواقع بخشی از برنامه فراگیر پایش زمین اتحادیه اروپا موسوم به کوپرنیک است. ویژگی‌های این ماهواره در جدول1 آورده شده است.

جدول 1- مشخصات ماهواره سنتینل 2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| سنتینل 2 | | |
| توان تفکیک مکانی(m) | مرکز باند (µm) | باند |
| 60 | 0.443 | باند 1- آبی |
| 10 | 0.490 | باند 2- آبی |
| 10 | 0.560 | باند 3- سبز |
| 10 | 0.665 | باند 4- قرمز |
| 20 | 0.705 | باند 5- لبه قرمز |
| 20 | 0.740 | باند 6- لبه قرمز |
| 20 | 0.783 | باند 7- لبه قرمز |
| 10 | 0.842 | باند 8- فروسرخ نزدیک |
| 20 | 0.865 | باند A8– لبه قرمز |
| 60 | 0.945 | باند 9- بخارآب |
| 60 | 1.375 | باند 10- سیروس |
| 20 | 1.610 | باند 11- فروسرخ موج‌کوتاه |
| 20 | 2.190 | باند 12- فروسرخ موج‌کوتاه |

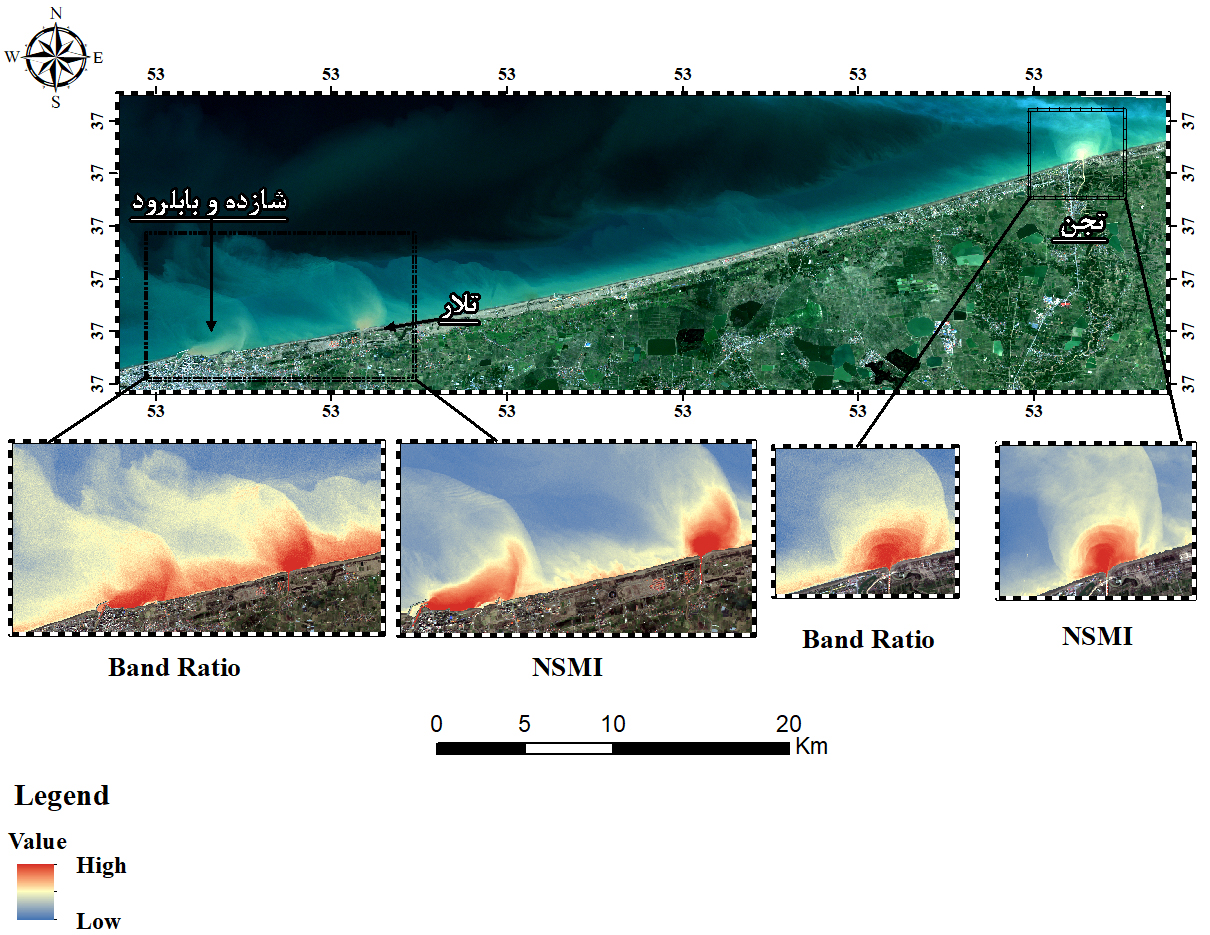
در ابتدا باید داده موردنظر را پیش‌پردازش نمود. به این منظور از تصحیح اتمسفری Dark Object Subtraction(DOS) استفاده شد. DOS روشی صحنه پایه، ساده و کارآمد است که در مطالعات مربوط به توده‌های آبی و ساحلی قابلیت مناسبی را ارائه داده است[16][17][12][18]. برای آشکارسازی پلوم‌های رودخانه‌ای روش‌های متفاوتی وجود دارد از روش‌های ساده و مفید که برای بارزسازی پلوم‌های رودخانه‌ای استفاده می‌شود یکی شاخص نرمال شده مواد معلق (NSMI) است با فرمول زیر:

که در آن red𝜌 طول‌موج قرمز، green𝜌 طول‌موج سبز و blue𝜌 طول‌موج آبی است[19][24][25]. روش دیگر، یک نسبت باندی برای رسوبات معلق است به فرمول زیر:

که در آن green𝜌 طول‌موج سبز و blue𝜌 طول‌موج آبی است[19][20][21].

**بحث:**

با استفاده از دو روش مطرح‌شده پلوم رودخانه‌های تجن، تلار، شازده و بابلرود بارزسازی شد، در شکل 1 نتایج به‌دست‌آمده از دو روش بر روی تصویر سنتینل 2 نمایش داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود غلظت پلوم در زمانی که وارد دریا می‌شود



شکل 1-پلوم رودخانه‌های تجن، تلار، شازده و بابلرود

بسیار زیاده بوده و به‌مرور هر چه بیشتر از مصب و ساحل فاصله گرفته غلظت آن کمتر می‌شود؛ نحوه حرکت و رقیق شدن پلوم نیز بسته به جریانات دریایی، باد و دیگر عوامل وابسته است اما آنچه مشخص است شناسایی پلوم و نحوه گسترش آن و مسیری است که پلوم در آب دریا طی می‌کند، با استفاده از روش و داده موردنظر به‌خوبی بارز شده است. در مصب رودخانه تجن بخش عمده پلوم به شکل نیم‌دایره در نزدیکی ساحل قرار داشته و به‌مرور با غلظت کمتر به نواحی دور از ساحل منتقل می‌شود، شکل حرکت آن نیز تقریباً به‌صورت مستقیم با تمایل به سمت شرق دیده می‌شود یعنی حرکت پلوم رود تجن در فواصل بیشتر به سمت شمال تا شمال شرق میل دارد و با غلظت کمتر و طی فاصله از ساحل به سمت شمال غرب تغییر مسیر می‌دهد. همچنین روش نسبت باندی مواد معلق بیشتری را نسبت به شاخص NSMI به‌ویژه در خط ساحلی نشان می‌دهد. در مصب رودخانه‌های تلار، شازده و بابلرود پلوم‌ها بزرگ‌تر و گسترده‌تر بوده و محیط بیشتری را در آب‌های ساحلی اشغال کرده‌اند و در پهنه‌های بزرگ‌تری مواد معلق به فواصل دور از ساحل منتقل‌شده‌اند. پلوم رودخانه تلار پس از ورود به آب‌های ساحلی با روند حرکت به سمت شمال و تمایل اندک به سمت شمال شرق ادامه مسیر داده و در ادامه با غلظت کمتر به سمت شمال غرب تغییر مسیر می‌دهد. پلوم رودخانه‌های شازده و بابلرود پس از ورود به آب‌های ساحلی به سمت شرق حرکت نموده و پس از طی مسافتی با غلظت کمتر به جهت شمال حرکت خود را ادامه داده و در ادامه با کاهش غلظت به سمت شمال‌غرب تغییر مسیر می‌دهد. باید در نظر داشت که مصب رودخانه بابلرود و رودخانه شازده حدود 1.5 کیلومتر باهم فاصله داشته و مصب رود تلار با مصب رود بابلرود حدود 8 کیلومتر است و این 3 رودخانه حجم قابل‌توجهی از رسوبات و مواد معلق و آلودگی را با خود حمل می‌کنند.همچنین در مصب بابلرود یک سازه موج‌شکن وجود دارد که بر نحوه حرکت پلوم بابلرود تأثیر گذاشته است. در محدوده رود تلار تا بابلرود نیز روش نسبت باندی حجم و مساحت بیشتری از پلوم و رسوبات آن را نسبت به شاخص NSMI نشان داده است. پلوم و بار رسوبی آن در محدوده رود تلار تا بابلرود بزرگ‌تر از پلوم رودخانه تجن است.

**نتیجه‌گیری:**

پایش محیط‌های ساحلی به دلیل اکوسیستم خاصی که دارند اهمیت دارد. پلوم رودخانه‌های تلار، شازده و بابلرود نسبت به پلوم رود تجن پویایی بیشتری نشان می‌دهند. پلوم رود شازده و بابلرود به دلیل نزدیکی به یکدیگر باهم ادغام‌شده و حجم گسترده‌تری از رسوبات معلق را تشکیل می‌دهند به‌نحوی‌که پلوم حاصل از این دو رودخانه نسبت به رود تجن و حتی رود تلار بزرگ‌تر است. نحوه حرکت پلوم هرکدام از رودهای موردنظر علاوه بر عوامل محیطی می‌تواند به دلیل سازه‌های ساحلی نیز باشد که این مورد در مصب بابلرود خود را نمایان ساخته است. بطور کلی پلوم‌های مورد بررسی در غلظت‌های متفاوت تا نواحی دور از ساحل و جهت‌های مختلف حرکت نموده و رسوبات را تا فواصل دورتر انتقال داده‌اند. استفاده از داده‌های ماهواره‌ای همچون سنتینل2 می‌تواند برای پایش و شناسایی پلوم‌های رودخانه‌ای مفید واقع شود زیرا این پلوم‌ها علاوه بر رسوبات آلودگی‌های زیست‌محیطی را نیز به دریا منتقل کرده و بر اکوسیستم ساحل، سلامت آبزیان و گیاهان دریایی تأثیر می‌گذارند. البته برای پایش و شناخت صحیح پلوم‌های رودخانه‌ای نیاز به داده‌های میدانی دقیق می‌باشد. استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در کنار پایش به‌وسیله شناورها برای مطالعه پلوم‌ها می‌تواند نتایج بسیار مفید و دقیق‌تری را ارائه دهد.

**منابع**

[1] **A. R. Horner-Devine, R. D. Hetland, and D. G. MacDonald, 2015.** “Mixing and Transport in Coastal River Plumes,” Annu. Rev. Fluid Mech., vol. 47, no. 1, pp. 569–594, doi: 10.1146/annurev-fluid-010313-141408.

[2] **C. Manzo et al., 2017.** “Spatio-temporal analysis of prodelta dynamics by means of new satellite generation: the case of Po river by Landsat-8 data,” Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf., vol. 66, no. November 2017, pp. 210–225, 2018, doi: 10.1016/j.jag.

[3] **A. Osadchiev et al., 2022.** “Lateral Border of a Small River Plume: Salinity Structure, Instabilities and Mass Transport,” Remote Sens., vol. 14, no. 15, doi: 10.3390/rs14153818.

[4] **Y. Kang et al., 2013.** “Areas of the global major river plumes,” Acta Oceanol. Sin., vol. 32, no. 1, pp. 79–88, doi: 10.1007/s13131-013-0269-5.

[5] **K. Guo, T. Zou, D. Jiang, C. Tang, and H. Zhang, 2017.** “Variability of Yellow River turbid plume detected with satellite remote sensing during water-sediment regulation,” Cont. Shelf Res., vol. 135, pp. 74–85, doi: 10.1016/j.csr.2017.01.017.

[6] **V. E. Brando et al., 2015.** “High-resolution satellite turbidity and sea surface temperature observations of river plume interactions during a significant flood event,” Ocean Sci., vol. 11, no. 6, pp. 909–920, 2015, doi: 10.5194/os-11-909-

[7] **V. Klemas, 2012 .**“Remote sensing of coastal plumes and ocean fronts: Overview and case study,” J. Coast. Res., vol. 28, no. 1 A, pp. 1–7, , doi: 10.2112/JCOASTRES-D-11-00025.1.

[8] **A. Osadchiev and R. Sedakov, 2018.** “Spreading dynamics of small river plumes off the northeastern coast of the Black Sea observed by Landsat 8 and Sentinel-2,” Remote Sens. Environ., vol. 221, no. November 2018, pp. 522–533, 2019, doi: 10.1016/j.rse.

[9] **H. Cremon, A. M. S. da Silva, and O. C. Montanher, 2020.** “Estimating the suspended sediment concentration from TM/Landsat-5 images for the Araguaia River–Brazil,” Remote Sens. Lett., vol. 11, no. 1, pp. 47–56, doi: 10.1080/2150704X.2019.1681597.

[10] **A. Faulkner, C. E. Bulgin, and C. J. Merchant, 2019.** “Coastal tidal effects on industrial thermal plumes in satellite imagery,” Remote Sens., vol. 11, no. 18, pp. 1–14, , doi: 10.3390/rs11182132.

[11] **O. Y. Lavrova, D. M. Soloviev, M. A. Strochkov, T. Y. Bocharova, and A. V. Kashnitsky, 2016 ,**“River plumes investigation using Sentinel-2A MSI and Landsat-8 OLI data,” Remote Sens. Ocean. Sea Ice, Coast. Waters, Large Water Reg., vol. 9999, no., p. 99990G, 2016, doi: 10.1117/12.2241312.

[12] **J. P. Mondejar and A. F. Tongco, 2019.** “Near infrared band of Landsat 8 as water index : a case study around Cordova and,” Sustain. Environ. Res., vol. 5, pp. 1–15,

[13] **B. B. Barnes, C. Hu, C. Kovach, and R. N. Silverstein, 2015.** “Sediment plumes induced by the Port of Miami dredging: Analysis and interpretation using Landsat and MODIS data,” Remote Sens. Environ., vol. 170, pp. 328–339, doi: 10.1016/j.rse.2015.09.023.

[14] **N. Rudorff, C. M. Rudorff, M. Kampel, and G. Ortiz, 2018.** “Remote sensing monitoring of the impact of a major mining wastewater disaster on the turbidity of the Doce River plume off the eastern Brazilian coast,” ISPRS J. Photogramm. Remote Sens., vol. 145, pp. 349–361, , doi: 10.1016/j.isprsjprs.2018.02.013.

[15] **J. Chen, W. Zhu, Y. Q. Tian, and Q. Yu, 2020.**“Monitoring dissolved organic carbon by combining Landsat-8 and Sentinel-2 satellites: Case study in Saginaw River estuary, Lake Huron,” Sci. Total Environ., vol. 718, p. 137374, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.137374.

[16] **W. Yanjiao, Z. Peiqun, D. Wenjie, and Z. Ying, 2007.** “Study on Remote Sensing of Water Depths Based on BP Artificial Neural Network,” Mar. Sci. Bull., vol. 9, no. 1, pp. 26–35,

[17] **S. Gilmore, A. Saleem, and A. Dewan, 2015.** “Effectiveness of DOS (Dark-Object Subtraction) method and water index techniques to map wetlands in a rapidly urbanising megacity with Landsat 8 data,” CEUR Workshop Proc., vol. 1323, no. March, pp. 100–108,

[18] **P. Wicaksono and M. Hafizt, 2018.**, “Dark target effectiveness for dark‐object subtraction atmospheric correction,” IET Image Process., vol. 12, no. 4, pp. 582–587,

[19] **L. G. Montalvo, 2010.** “Spectral analysis of suspended material in coastal waters : A comparison between band math equations,” Department of Geology University of Puerto Rico, Mayaguez.,

[20] **D. Arisanty and A. Nur Saputra, 2017 .**“Remote Sensing Studies of Suspended Sediment Concentration Variation in Barito Delta,” in IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, , vol. 98, no. 1, pp. 0–6. doi: 10.1088/1755-1315/98/1/012058.

[21] **M. Munir et al., 2019.** “Utilization of sentinel-2A imagery for mapping the dynamics of total suspended sediment at the river mouth of the Padang City,” in Proceedings - 2019 5th International Conference on Science and Technology, ICST 2019, , pp. 1–6. doi: 10.1109/ICST47872.2019.9166298.