

Research Paper



Detection of Babolroud River Plume Using Sentinel-2 Satellite Image, Case Study: Flood in 2018



Mohammad Akbarinasab*¹, Faezeh Abbasi², Nadia Talebpour³



This paper is an open access and licenced under the CC BY NC licence.



DOI: DOI: 10.22034/HYD.2023.54406.1664

Reference to this article: Akbarinasab, M; Abbasi, F; Talebpour, N. (2023). Detection of Babolroud River Plume Using Sentinel-2 Satellite Image Case Study: Flood in 2018. *Hydrogeomorphology*, 10(35): 1-15.

Keywords

Plume, Sentinel-2 satellite, Optimum index factor, Decision tree, Babolroud River North of Iran

Receive Date: 2022/12/10

Accept Date: 2023/05/20

Available: 2023/07/21

ABSTRACT

Floods play an important role in the flow of rivers, so their investigation and analysis are importance. Studying the dynamics of floods and the water discharged into the sea (plume) is very important in the fields of fisheries, sedimentation, transportation and environment. Babolrud-River originates from the south of Babol city and flows into the Caspian-Sea after traveling about 67 kilometers. In this research, the expansion of the plume entering from the Babolrud-River to the Caspian Sea during the spring flood of 2018 has been investigated. For this purpose, firstly the images of Sentinel-2 satellite were taken, then the required pre-processing including geometric and radiometric correction was applied. According to the spectral behavior of muddy and clear waters, in the spectral range of wavelengths of 0.4 to 0.78 micrometers, this phenomenon can be distinguished. As a result, by using this feature and the optimal index factor (OIF), the best color combination with the largest information was detected. The combination bands of 3, 4 and 8, with the OIF of 0.19, was defined as the best band combination. In the next step, NDVI, NDFI, and MNDWI were applied, and thresholds were applied to the defined indices for better separation of muddy and clear waters. These thresholds were identified by drawing spectral profiles at the plume of river and checking their histograms. Finally, by building the decision tree with all these indicators and applying the thresholds, the amount of muddy water from the flood entering the Caspian Sea from the Babolrud-River was revealed.

* Corresponding Author: Mohammad Akbarinasab

E-mail: m.akbarinasab@umz.ac.ir

1. Associate Professor, Faculty of Marine Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran.

2. M.S. Degree in Marine Physics, Faculty of Marine Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran,

Extended Abstract

1-Introduction

The plume is formed in the entire rivers and affects the areas near the coast and causes the movement of sediments of nutrients and pollutants (Mestres et al., 2007). The high content of cohesive sediments causes turbidity in water (Maciel et al., 2021). The outflows of rivers create plumes, since they have different spectral effects, they can be identified from the surrounding waters (Hashmi et al., 2016). One of the most important features of a plume is the difference in the physical, chemical and biological characteristics of the two fluids, therefore identifying this place as the plume front is important (Soyuf Jahromi et al., 2018). The applications of remote sensing include investigating sediments and suspended substances in the water of seas and rivers, investigating the color of water, the amount of chlorophyll, water quality, etc. (Maciel et al., 2021).

2-Methodology

The study area is Baddddddd rrrr tttt t tt caaaaaaaatttt ef ff fff ,, ,, "" ,, °°° °°°°°°°° NNN NNNN is located in the south part of the Caspian Sea and the north of Iran (Fig.1).



Fig (1): The study area position

In this article, the plume entering the Caspian Sea from the Babolroud River during the spring flood of 2018 has been investigated. In this regard, after receiving Sentinel-2 satellite images, the methods of calculating the correlation coefficient, standard deviation, optimal index factor (eq.1), spectral behavior curve (Fig.2), NDVI, NDFI and MNDWI indexes (eq. 2, 3, 4) and also thresholding were used. (Sri Sumantyo et al., 2017, Fazel et al., 2016, Ba-aghideh et al., 2011, Ghosh et al., 2015, Wan et al., 2018).

$$OIF = \frac{\sum_{i=1}^3 \sigma_i}{\sum_{j=1}^3 r_j} \tag{1}$$

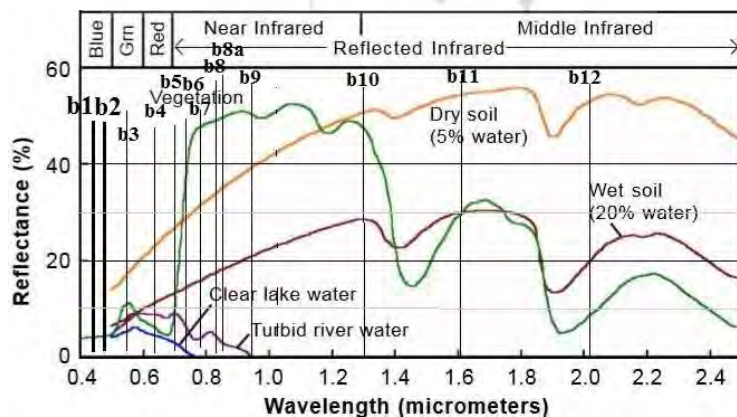


Fig (2): Spectral signature of turbid and clear waters

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (2)$$

$$MNDWI = \frac{Green - SWIR}{Green + SWIR} \quad (3)$$

$$NDFI_3 = \frac{Blue - SWIR_2}{Blue + SWIR_2} \quad (4)$$

3- Results and Discussion

According to the spectral behavior of muddy and clear waters, this phenomenon can be distinguished in the spectral range of wavelengths from 0.5 to 0.78 micrometers (bands 3 to 8). At first, the OIF index was used to identify optimal combinations, then according to the repeatability of bands 3 and 4 in different combinations, they were placed at the top of the appropriate bands. To separate water from other phenomena, the NDVI index, which is the measured difference between visible red (band 4) and near-infrared (band 8) spectral range, was used. On the other hand, MNDWI and NDFI indexes were also used, which is the measured difference of the shortwave infrared spectral range (bands 11 and 12) with visible green (band 3) for MNDWI and visible red (band 4) for NDFI. In the range of near-infrared (NIR) and shortwave infrared (SWIR), water absorbs all infrared wavelengths, and in the sea area, any phenomenon other than water, will have a higher reflective value. Therefore, in choosing the threshold on the indicators, this feature was effective. Finally, a decision tree was created by applying thresholds on NDVI indices (values less than -0.03 and greater than -0.39), MNDWI (values greater than 0.4) and NDFI (values greater than 0.5) and bands 3 and 4 (values greater than 0.10). The result showed in Figure 3.

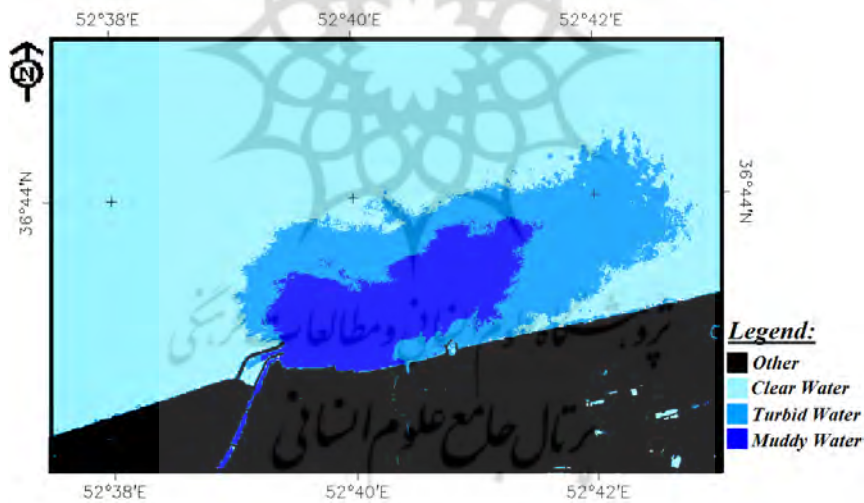


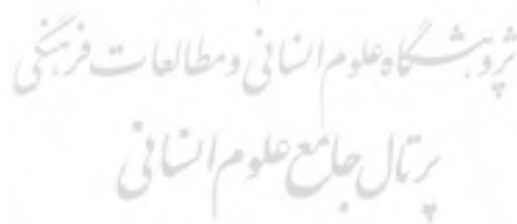
Fig (3): The plume of turbid water detected at the estuary of the Babolroud river

4-Conclusions

In this research, by using the Sentinel-2 satellite images, the muddy waters which were entered the Babolroud River to the Caspian Sea during the flood of 2018 were detected. For this purpose, by using the remote sensing methods including the OIF indicator, NDVI, MNDWI, and NDFI indexes, and also the classification by decision tree, the muddy water entering the sea due to flood was classified with two levels of mud pollution. The results of this research show that, during the flood, the area of muddy water intrusion to the Caspian Sea was approximately 9 km². On the other hand, the results show that this plume has also expanded to the east.

5-References

- Ba-aghdeh, M., & Ziaian, p. (2011). Investigation of the Use of NDVI Vegetation Index in Isfahan Province Drought Analysis. *J. Geographical studies of dry area*, 4, 1- 16. (In Persian).
- Fazel Dehkordi, L., Azarnivand, H., Zare Chahouki, M. A., Mahmoudi Kohan, F., & Khalighi Sigaroudi, S. (2016). Drought Monitoring Using Vegetation Index (NDVI) (Case study: Rangelands of Ilam Province). *Journal of Range and Watershed Management*, 69(1), 141-154.
- Ghosh, M. K., Kumar, L., & Roy, C. (2015). Monitoring the coastline change of Hatiya Island in Bangladesh using remote sensing techniques. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 101, 137-144.
- Hashemi, N., Abarinasab, M., & Safar rad, T. (2018). Revealing the mass of the Arvand River through hydrogeomorphology satellite images. *Hydrogeomorphology*, 4 (13), 147-164. (In Persian)
- Maciel, F. P., Santoro, P. E., & Pedocchi, F. (2021). Spatio-temporal dynamics of the Río de la Plata turbidity front; combining remote sensing with in-situ measurements and numerical modeling. *Continental Shelf Research*, 213, 104301.
- Mestres, M., Sierra, J. P., & Sánchez-Arcilla, A. (2007). Factors influencing the spreading of a low-discharge river plume. *Continental Shelf Research*, 27(16), 2116-2134.
- Soyuf Jahromi, M., & Rezaee Pourmashizi, E. (2019). The footmarks of the Arvand River plume in the north of the Persian Gulf during the spring. *Iranian Journal of Marine Science and Technology*, 23(90), 35-41. (In Persian)
- Sri Sumantyo, J. T. (2017). Assessment of Multi-Temporal Image Fusion for Remote Sensing Application. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 7(3), 778-784.
- Wan, K. M., & Billa, L. (2018). Post-flood land use damage estimation using improved Normalized Difference Flood Index (NDFI3) on Landsat 8 datasets: December 2014 floods, Kelantan, Malaysia. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(15), 1-12.



مقاله پژوهشی



آشکارسازی پلوم رودخانه بابلرود با استفاده از تصویر ماهواره سنتینل-۲ مطالعه موردی: سیلاب سال ۱۳۹۸



محمد اکبری نسب^{۱*}، فائزه عباسی^۲، نادیا طالب پور^۲



این مقاله به صورت دسترسی باز و با لایسنس CC BY NC کرییتیو کامنز قابل استفاده است.



ارجاع به این مقاله: اکبری نسب، محمد؛ عباسی، فائزه؛ طالب پور، نادیا (۱۴۰۲). آشکارسازی پلوم رودخانه بابلرود با استفاده از تصویر ماهواره سنتینل-۲ مطالعه موردی: سیلاب سال ۱۳۹۸. هیدروژنومورفولوژی، ۱۰ (۳۵): ۱-۱۱.

DOI: 10.22034/HYD.2023.54406.1664



چکیده

سیلاب‌ها نقش اساسی در جریان رودخانه‌ها دارند بنابراین بررسی و تحلیل آنها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مطالعه دینامیک سیلاب و آب تخلیه شده آن به دریا (پلوم) در زمینه‌های شیلات، رسوب‌گذاری، حمل و نقل و محیط زیست اهمیت بسیاری دارد. در این پژوهش به بررسی گسترش پلوم وارده از رودخانه بابلرود به دریای کاسپین در جریان سیلاب بهار سال ۱۳۹۸ پرداخته شده است. با توجه به اینکه این سیلاب از لحاظ بزرگی شدیدترین سیلاب رخ داده در ۵۰ سال اخیر است، برآورد میزان نفوذ پلوم سیلابی به دریا می‌تواند حداکثر میزان نفوذ پلوم رودخانه بابلرود به دریا و در نتیجه انتقال رسوبات و آلاینده‌ها را مشخص سازد. بدین منظور ابتدا تصاویر سنجنده sentinel-2، اخذ گردید سپس پیش پردازش‌های مورد نیاز شامل تصحیح هندسی انجام شد. با استفاده از ویژگی رفتار طیفی آب‌های گل‌آلود و شفاف و همچنین شاخص بهینه (OIF)، بهترین ترکیب رنگی با بیشترین حجم اطلاعات، با فاکتور شاخص بهینه ۰.۱۹، ترکیب باندهای ۳ و ۴ و ۸ تشخیص داده شد. برای تفکیک بهتر آب‌های کدر و شفاف، بر روی شاخص‌های NDVI، NDFI و MNDWI، آستانه‌هایی اعمال شد. در نهایت با رسم درخت تصمیم‌گیری و برآیند همه این شاخص‌ها و اعمال آستانه‌ها، میزان پلوم حاصل از سیلاب آشکار شد. براساس نتایج بدست آمده، مساحتی در حدود ۹ کیلومتر مربع از زبانه پلوم وارد شده در اثر سیلاب به دریای کاسپین قابل شناسایی است. از طرفی نتایج نشان می‌دهد این زبانه نیز به سمت شرق گسترش یافته است.

کلیدواژه‌ها

پلوم، ماهواره sentinel-2، شاخص بهینه (OIF)، درخت تصمیم‌گیری، رودخانه بابلرود، شمال ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۳۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۴/۳۰

* نویسنده مسئول: محمد اکبری نسب

رایانامه: m.akbarinasab@umz.ac.ir

۱- دانشیار فیزیک دریا، گروه علوم دریایی، دانشگاه مازندران بابلسر، ایران.

۲- کارشناسی ارشد فیزیک دریا، گروه علوم دریایی، دانشگاه مازندران بابلسر، ایران.

۱- مقدمه

پلوم رودخانه، منطقه‌ای است که در آنجا شدیدترین تعامل بین رودخانه، دریا و زمین اتفاق می‌افتد (کانگ^۲ و همکاران، ۲۰۱۳: ۱). پلوم توده آبی است که دارای شوری کمتری نسبت به آب دریا و دارای رسوبات معلق بیشتری نسبت به آب‌های اطراف خودش است (نزلین^۳ و همکاران، ۲۰۰۸: ۲۹۰). پلوم‌های رودخانه‌ای جایگاه مهمی در محیط‌زیست سواحل دارند و موجب انتقال مواد مغذی، رسوبات، آلودگی‌ها و آب‌های تازه از دهانه رودخانه به درون دریا می‌شوند (فرناندز^۴ و همکاران، ۲۰۱۵: ۴۰). بنابراین پیش و آشکارسازی تغییرات در محدوده رودخانه می‌تواند به شناخت و مدیریت بهینه آبراه و بستر رودخانه‌ها منجر شود. پلوم در دهانه رودخانه‌ها شکل گرفته و مناطق مجاور ساحل را تحت تأثیر قرار می‌دهد و باعث جابه‌جایی رسوبات مواد مغذی و آلاینده‌ها می‌شود (مسترس و همکاران^۵، ۲۰۰۷: ۲۱۱۶). محتوای بالای رسوبات ریز منسجم باعث ایجاد کدورت در آب‌ها می‌شود (میکائیل و همکاران^۶، ۲۰۲۱: ۲۱۳). جریان‌های خروجی رودخانه‌ها پلوم‌ها را به وجود می‌آورند و چون اثرات طیفی متفاوتی از خود دارند می‌توان آن‌ها را از آب‌های اطرافشان شناسایی کرد (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۴۷). پلوم‌های ساحلی تحت تأثیر تخلیه آب‌شور شیرین رودخانه قرار می‌گیرند و نقش مهمی در شکل‌گیری محیط‌زیست مجاور رودخانه‌ها دارد. از دیدگاه دینامیکی، محل تخلیه اغلب دهانه رودخانه‌ها می‌تواند منبعی برای تغییرات تکانه و شناوری باشد. این تغییرات ناشی از سیال سبک‌تر بر روی سیال سنگین‌تر (چگال‌تر) می‌باشد (کورافالو و همکاران^۷، ۱۹۹۶: ۳۴۱۵). مهم‌ترین ویژگی که پلوم را حائز اهمیت می‌کند تفاوت ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی دو سیال است و از این رو شناسایی این مکان به‌عنوان جبهه پلوم حائز اهمیت است (سیوف جهرمی و همکاران، ۱۳۹۸).

سنجش‌ازدور یکی از روش‌های جمع‌آوری داده محسوب می‌شود که در آن تماس مستقیم فیزیکی با پدیده مورد اندازه‌گیری به حداقل ممکن رسیده‌است در صورتی که در اندازه‌گیری زمینی عامل انسانی وظیفه داده‌برداری و تفسیر آن را بر عهده دارد (فاطمی و همکاران، ۱۳۹۱). از جمله کارهایی که می‌توان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای انجام داد بررسی رسوبات و مواد معلق در آب دریاها و رودخانه‌ها، بررسی رنگ آب‌ها، میزان کلروفیل، کیفیت آب و غیره است (میکائیل و همکاران^۸، ۲۰۲۱: ۲۱۳). امروزه به دلیل مدیریت نامناسب شهری، صنعتی و کشاورزی، اکثر منابع آب دچار تخریب کیفیت شده‌اند. سنجش‌ازدور می‌تواند نقش مهمی را در ارزیابی کیفیت آب و مدیریت آن ایفا نماید (مومی‌پور و همکاران، ۱۳۹۴).

د جوسوس^۹ و همکاران (۲۰۲۳) در مقاله‌ای با استفاده از داده‌های هواشناسی ژوئن تا سپتامبر سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۱ به تجزیه و تحلیل و پراکندگی توده آب رودخانه‌های Tecolutla، Cazonas و صخره‌های Lobos-Tuxpan پرداختند. نتایج نشان داد که بیشترین میزان بارندگی و دبی رودخانه در این مناطق در فصل تابستان و سپتامبر مشاهده می‌شود و پلوم رودخانه می‌تواند تحت تأثیر بادهای ساحلی که به سمت شمال می‌وزند به صخره‌های Tuxpan برسند و جریان‌های ساحلی را در همان جهت القا کنند. پلوم رودخانه در اطراف منطقه صخره‌های Lobos-Tuxpan (۵۰ کیلومتر دورتر) پراکنده می‌شود، بنابراین این پلوم در دسته پلوم دوردست طبقه‌بندی می‌شوند. اعداد کلومین مرتبط با رودخانه‌ها کوچک هستند، دینامیک کوریولیس، اجازه می‌دهد جهت پلوم‌ها به سمت شمال برود. گونرگلو^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۳) به آشکارسازی پلوم بخشی از جنوب شرقی دریا سیاه پرداختند، در این تحقیق از ماهواره لندست استفاده شد، به این صورت که ابتدا عملیات پیش‌پردازش بر روی تصاویر انجام گرفت و با استفاده از الگوریتم نیمه نظارت شده K-means، پلوم استخراج شد. گارگ^{۱۰} و همکاران (۲۰۲۰) در مقاله‌ای در دوران کرونا و در غیاب مشاهدات زمینی، به بررسی تغییر کیفیت آب رودخانه از نظر کدورت و صرفاً از طریق داده‌های سنجش از دور پرداختند. تغییر در بازتاب طیفی آب در امتداد رودخانه و در ناحیه مرئی با استفاده از داده‌های سنجش از دور چندطیفی Sentinel-2 در بخش‌های مختلف رودخانه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌است. این مطالعه نشان داد که نوارهای قرمز و NIR به کدورت حساس هستند بنابراین رویکرد سنجش از دور می‌تواند برای تخمین‌های کیفی کدورت، حتی در غیاب مشاهدات میدانی مورد استفاده قرار گیرد.

هدف از انجام این پژوهش آشکارسازی میزان نفوذ زبانه سیلابی به دریا و برآورد مساحت پلوم وارد شده به دریا در اثر سیلاب سال ۹۷-۹۸ است. با توجه به اینکه این سیلاب از لحاظ بزرگی شدیدترین سیلاب رخ داده در ۵۰ سال اخیر است، برآورد میزان نفوذ پلوم سیلابی به دریا می‌تواند حداکثر میزان نفوذ پلوم رودخانه بابلرود به دریا و در نتیجه انتقال رسوبات و آلاینده‌ها را مشخص سازد.

۲- مواد و روش

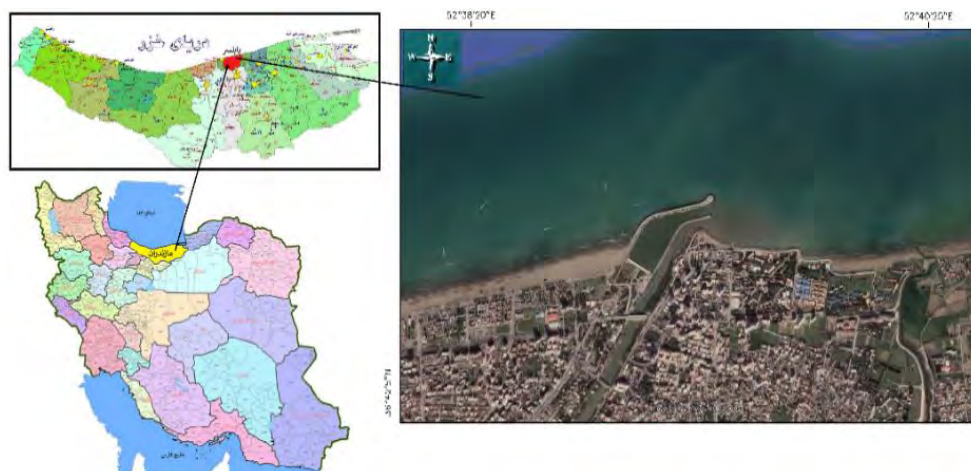
۱-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در بخش جنوبی دریای خزر از ورود رودخانه بابلرود به جلگه تا مصب رودخانه به دریا در مختصات جغرافیایی ۵۲°۳۶' تا ۵۲°۴۲' طول شرقی و ۳۶°۳۱' تا ۳۶°۳۴' عرض شمالی است. رودخانه بابلرود به صورت دائمی در طول

1- Plume
2- Kang et al.
3- Nezlin et al.
4- Fernández
5- Mestres et al.

6- Maciel et al.
7- Kourafalou et al.
8- de Jesús Salas Pérez et al.
9- Guneroglu et al.
10- Garg et al.

سال جریان دارد و از رشته کوه البرز مرکزی سرچشمه گرفته سرشاخه‌های مهم آن رودخانه‌های آذر، اسکلیم، بابلک، سجارود، کارسنگ، کلارود و سنبل رود می‌باشد. و پس از طی مسیر کوهستانی وارد شهرهای بابل و بابلسر شده و در نهایت به دریا کاسپین می‌ریزد (عمونیا و همکاران، ۱۴۰۰). شکل (۱) منطقه مورد مطالعه در این تحقیق را نمایش می‌دهد.



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه

Fig (1): The study area

۲-۲- روش تحقیق

در این مقاله به بررسی پلوم وارده از رودخانه بابلرود به دریای کاسپین در سیلاب بهار سال ۹۷-۹۸ پرداخته شده است. بزرگ‌ترین سیلابی که در حوزه رودخانه بابلرود به وقوع پیوسته در سال ۴۲-۴۳ با دبی پیک سیلاب ۹۴۶ متر مکعب بر ثانیه بوده که پس از آن سیلاب سال ۹۷-۹۸ با دبی پیک سیلاب ۳۱۸ متر مکعب بر ثانیه از لحاظ بزرگی رتبه دوم را در طول این سال‌ها داشته است. سیلاب ۹۷-۹۸ که بدلیل شدت و تداوم بارندگی‌ها در مرکز و شرق استان مازندران (از حوزه بابلرود تا نکارود) رخ داده منجر به سیلابی شدن رودخانه‌ها و مسیل‌ها در این منطقه گردید. همچنین بارندگی سراسری روزهای ۹۸/۰۱/۱۱ الی ۹۸/۰۱/۱۳ به همراه جریان حاصل از ذوب برف منجر به سیلابی شدن رودخانه بابلرود گردید. بارش مولد سیلاب در رودخانه بابلرود با متوسط بارندگی ۸۶، ۳ میلی‌متر منجر به تجمع حجم بارندگی ۱۴۵، ۸ میلیون متر مکعب گردید که باعث تشدید سرعت جریان رودخانه و در نتیجه حجم آورد رسوب بالایی به سمت دهانه ورودی رودخانه به دریا گردید. در این پژوهش سعی شد تا میزان نفوذ پلوم وارد شده به دریا، در زمان سیلاب آشکارسازی شود. در این راستا ابتدا تصاویر بدون ابرناکی ماهواره سنتینل-۲ در نزدیک زمان ممکن به سیلاب در تاریخ ۲۶ فروردین ۹۸ اخذ گردید سپس با استفاده از روش‌های محاسبه ضریب همبستگی^۱، انحراف معیار^۲، عامل شاخص بهینه^۳ و منحنی رفتار طیفی^۴، شاخص‌های NDVI^۵، NDFI^۶، MNDWI^۷ و آستانه‌گذاری به آشکارسازی میزان نفوذ زبانه سیلابی به دریا پرداخته شد.

۲-۳- داده‌ها

۲-۳-۱- ماهواره سنتینل-۲

سنتینل-۲ شامل دو سنجنده تصویربرداری سنتینل ۲a و ۲b است. این سنجنده دارای ۱۳ نوار شناسایی در محدوده‌ی انعکاسی است که توانایی آشکارسازی طول‌موج‌های مرئی مادون‌قرمز نزدیک و میانی را دارند. تصاویر این سنجنده مکمل تصاویر لندست است. تصاویر این ماهواره دارای توان تفکیک زمانی بالا (۵ روز) دقت هندسی بالا و پوشش جهانی است (عزت‌آبادی پور، ۱۳۹۵: ۸). سنتینل یک سنجنده خورشید آهنگ و دوره چرخش مداری آن ۱۰ روز است (صفراد و همکاران، ۱۳۹۸). از جمله ویژگی‌های یک سنجنده می‌توان به؛ توان تفکیک طیفی، توان تفکیک مکانی، توان تفکیک زمانی و توان تفکیک رادیو متریک اشاره کرد (فاطمی و همکاران، ۱۳۹۱). تصاویر این ماهواره دارای توان تفکیک مکانی متغیر ۱۰ تا ۶۰ متر و قدرت تفکیک رادیو متریک (تعداد بیت‌هایی که پیکسل نیاز دارد تا شدت نور را ذخیره کنند) ۱۲ بیتی است. محدوده‌ی طول موج قدرت تفکیک مکانی و پهنای نوار سنجنده سنتینل-۲ در جدول (۱) آمده است.

1- Corralation
2- Standard deviation
3- Index factor optimum
4- Spectral behavior curve

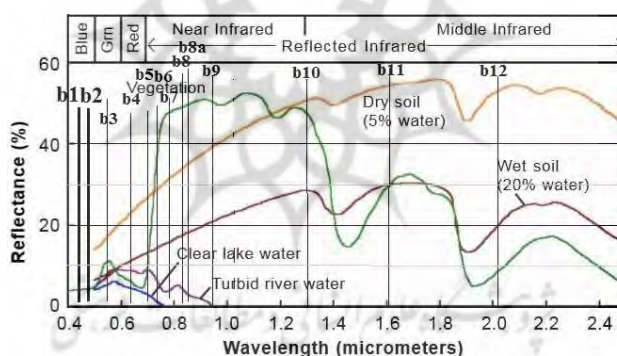
5- Normalized Difference Vegetation Index
6- Normalized Difference Flood Index
7- Modified Normalized Difference Water Index

جدول (۱): جدول قدرت تفکیک مکانی، محدوده طول موج ماهواره سنتینل و پهنای هر نوار (کلورزا و همکاران، ۲۰۱۳: ۲)
 Table (1): Table of Spatial Resolution, Wavelength Range of Sentinel Satellite and Width of Each Band

باند	نام باند	قدرت تفکیک مکانی (m)	پهنای (nm)	طول موج مرکزی (nm)
1	Coastal aerosol	۶۰	۲۰	۴۴۳
2	Blue	۱۰	۶۵	۴۹۰
3	Green	۱۰	۳۵	۵۶۰
4	Red	۱۰	۳۰	۶۶۵
5	Vegetation red edge	۲۰	۱۵	۷۰۵
6	Vegetation red edge	۲۰	۱۵	۷۴۰
7	Vegetation red edge	۲۰	۲۰	۷۸۳
8	NIR	۱۰	۱۵	۸۴۲
8a	Narrow NIR	۲۰	۲۰	۸۶۵
9	Water vapour	۶۰	۲۰	۹۴۵
10	SWIR-Cirrus	۶۰	۳۰	۱۳۷۵
11	SWIR	۲۰	۹۰	۱۶۱۰
12	SWIR	۲۰	۱۸۰	۲۱۹۰

۲-۳-۲- منحنی رفتار طیفی

اگر برای هر جسم مقدار کارمایه بازتاب شده از کل کارمایه رسیده به جسم را در طول موج‌های مختلف را به صورت یک نمودار رسم کنیم به آن نمودار منحنی رفتار طیفی می‌گویند (فاطمی و همکاران، ۱۳۹۱). در شکل (۲) نمودار رفتار طیفی آب‌های کدر شفاف و ذرات معلق در آب رودخانه‌ها را نشان می‌دهد. هر پدیده رفتار طیفی مخصوص خودش را دارد و با استفاده از این منحنی می‌توان پدیده را به راحتی شناسایی کرد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۵: ۳۵).



شکل (۲): نمودار رفتار طیفی آب‌های گل‌آلود و زلال (دانسگر، ۲۰۱۵: ۲۶)

Fig (2): Spectral signature of turbid and clear waters

سنجندها، با توجه به طول موج‌های دریافتی مشخص در هر نوار، توانایی شناسایی پدیده‌های متفاوت را دارند. با استفاده از نمودار رفتار طیفی شکل (۲) در آ‌ه و ۱۰ ول (۱) ملاحظه می‌شود که این پدیده در طول موج‌ها بین ۰/۴ تا ۰/۸۷ میکرومتر که شامل باندهای ۱ تا ۸a در سنجنده سنتینل-۲ هستند به راحتی قابل تفکیک می‌باشند زیرا بیشترین تمایز در منحنی‌های رفتار طیفی این پدیده در این محدوده طول موج مشاهده می‌شود. در حالت کلی برای ۱۳ نوار موجود در این سنجنده ۲۶۸ ترکیب رنگی قابل ایجاد هستند.

۲-۳-۲- فاکتور شاخص بهینه ۲

برای استفاده‌ی مطلوب از داده‌های چند طیفی جهت تشخیص کدورت وارده لازم است بهترین ترکیب رنگی مشخص شود. در این راستا کمیت آماری فاکتور شاخص بهینه (OIF) به منظور تعیین بهترین ترکیب رنگی کاذب سه باندهای ماهواره‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شاخص

یک محاسبه‌ی استاتیک از سه نوار مناسب در ترکیب RGB است (چاوز و همکاران^۱، ۱۹۸۲: ۲۳). عامل شاخص بهینه باعث می‌شود بهترین ترکیب رنگ که دارای حجم زیادی از اطلاعات است انتخاب شود (سنگیز و همکاران^۲، ۲۰۰۶: ۱۵۵).

$$OIF = \frac{\sum_{i=1}^3 \sigma_i}{\sum_{j=1}^3 r_j} \quad (1)$$

در این رابطه σ انحراف معیار و r همبستگی سه نوار مناسب در ترکیب رنگی است (سری سومانتیو و همکاران^۳، ۲۰۱۷: ۷۷۸). مقدار بالای شاخص بهینه (انحراف معیار بالا) نشان‌دهنده‌ی بیشترین حجم اطلاعات با حداقل تکرار بین نوارها است.

۲-۳-۴- شاخص NDVI

این شاخص برای اولین بار توسط رز و همکاران در سال ۱۹۷۳ مطرح شد که تفاضل نوارهای قرمز نزدیک و مادون قرمز به مجموع این دو نوار محاسبه می‌شود رابطه (۲). تغییرات این شاخص از ۱- تا ۱ است. برای پوشش گیاهی شاخص به سمت ۱ و برای ابر، برف و آب به سمت منفی یک می‌رود (فاضل و همکاران، ۲۰۱۶ و باعقیده و همکاران، ۲۰۱۱: ۱).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (2)$$

۲-۳-۵- شاخص MNDWI

برای تفکیک مرز آب و خشکی از شاخص MNDWI استفاده می‌شود. این شاخص از ترکیب باندهای سبز و مادون قرمز کوتاه تشکیل می‌شود. باند سبز حساس به تفاوت کدورت آب، رسوب و توده آلودگی است و باند مادون قرمز موج کوتاه تفاوت زیاد بین ویژگی‌های زمین و آب را با توجه به درجه بالا جذب توسط آب و بازتاب توسط زمین در این محدوده نشان می‌دهد (قوش و همکاران^۴، ۲۰۱۵: ۱۳۷). این شاخص از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$MNDWI = \frac{Green - SWIR}{Green + SWIR} \quad (3)$$

۲-۳-۶- شاخص NDFI

دو شاخص سیل که در ارزیابی آب مؤثر است، شاخص MNDWI و شاخص NDFI می‌باشند (هانکیو و همکاران^۵، ۲۰۰۵: ۵۸۹ و بوسچتی و همکاران^۶، ۲۰۱۴). شاخص NDFI در تشخیص سیل زراعی به‌ویژه در مزارع شالیزاری بهترین عملکرد را دارد. شاخص NDII که در آن باند قرمز و مادون قرمز موج کوتاه استفاده می‌شود با توجه به رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$NDFI_2 = \frac{Red - SWIR}{Red + SWIR} \quad (4)$$

این شاخص زمین‌های با پوشش گیاهی را نسبت به زمین‌های معمولی تفکیک می‌کند. باین حال، اثرات سایه ابر بر روی سطح زمین را به اندازه کافی تشخیص نمی‌دهد (وان و همکاران^۷، ۲۰۱۸: ۱). در این پژوهش از شاخص NDFI استفاده گردید این شاخص که به انتقال ذرات ریز معلق (رسوبات) در آب سیلاب حساس می‌باشد از رابطه (۵) بدست می‌آید:

$$NDFI_3 = \frac{Blue - SWIR_2}{Blue + SWIR_2} \quad (5)$$

1- Chavez at el.

2- Cengiz at el.

3- Sri Sumantyo at el.

4- Ghosh at el.

5- Han-Qiu at el.

6- Boschetti at el.

7- Wan at el.

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- استفاده از نمودار رفتار طیفی و انتخاب بهترین باند برای تفکیک آب کدر و شفاف

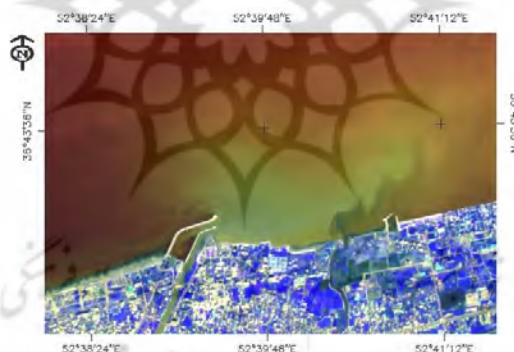
با توجه به شکل (۲) رفتار طیفی آب‌های گل آلود و شفاف در باندهای ۳ تا ۸ قابل تفکیک هستند بنابراین از بین ۱۳ نوار این سنجنده ۶ نوار مناسب‌تر در نظر گرفته شده است که می‌توان ۲۰ ترکیب ایجاد کرد. جدول (۲) نتایج خروجی عامل شاخص بهینه است که برای ۷ ترکیب اول به ترتیب اولویت بیشترین مقدار شاخص بهینه آورده شده است.

جدول (۲): نتایج خروجی عامل شاخص بهینه

Table (2): The output results of the optimal indicator factor

فاکتور شاخص بهینه	همبستگی	انحراف معیار	ترکیب رنگی	تعداد
۰/۱۹۰۳۱۱	۲/۹۱۳۸۸۵	۰/۵۵۴۵۴۵	۳۴۸	۱
۰/۱۸۹۴۹۳	۲/۹۸۸۱۵۸	۰/۵۶۶۲۳۴	۴۷۸	۲
۰/۱۸۹۲۶۷	۲/۹۴۸۲۵۳	۰/۵۵۸۰۰۸	۴۶۸	۳
۰/۱۸۸۵۲۶	۲/۹۳۱۰۷۸	۰/۵۵۲۵۸۳	۳۷۸	۴
۰/۱۸۸۰۷۶	۲/۸۵۶۷۵۱	۰/۵۳۷۲۸۷	۴۵۸	۵
۰/۱۸۷۶۱۴	۲/۹۶۳۷۷۹	۰/۵۵۶۰۴۶	۶۷۸	۶
۰/۱۸۷۳۰۴	۲/۹۲۶۲۳۱	۰/۵۴۸۰۹۶	۳۴۷	۷

با توجه به جدول (۲)، ترکیب رنگی با بالاترین OIF، محتوی بیشترین اطلاعات می‌باشد. نتایج به دست آمده از محاسبه شاخص OIF، منطبق با ویژگی‌های رفتار طیفی آب است بدین صورت که ترکیب‌های بهینه حاوی باندهایی هستند که در آن رسوبات و آب‌های کدر بیشترین تمایز را با آب شفاف دریا دارد. براساس این جدول، بهترین ترکیب رنگی ۳-۴-۸ است که با مقدار فاکتور شاخص بهینه ۰/۱۹ بالاترین اطلاعات را در خود جای داده است. در شکل (۳) بهترین ترکیب رنگی کاذب انتخاب شده بر اساس شاخص OIF آمده است.



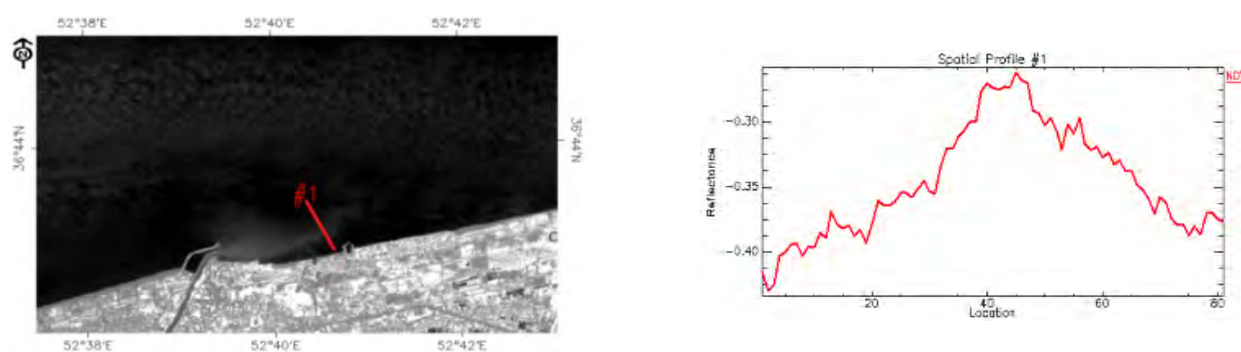
شکل (۳): بهترین ترکیب رنگی کاذب براساس شاخص OIF (ترکیب باندی ۳-۴-۸)

Fig (3): The best false color combination based on the OIF Index (band combination 348)

۳-۲- اعمال شاخص‌ها و آستانه‌گذاری

پس از محاسبه شاخص‌ها، برای افزایش دقت تفکیک آب‌های کدر و شفاف در تصاویر ماهواره‌ای آستانه‌هایی بر روی شاخص‌های تعریف شده NDVI، MNDWI، NDFI اعمال شد. بارسم چندین هیستوگرام برای نقاط مختلف مقدار دقیق آستانه به روش تجربی تعیین شد. این آستانه‌ها از طریق ترسیم نیم‌رخ‌های طیفی در محل خروج سیلاب از رودخانه بابل‌رود و بررسی هیستوگرام آن‌ها به روش تجربی شناسایی شدند. در شاخص NDVI که با استفاده از رابطه (۶) بدست آمده، آب تیره‌تر از سایر پدیده‌ها دیده می‌شود. با توجه به نیم‌رخ طیفی رسم شده برای NDVI وجود یک جهش با آستانه حدود ۰/۲۵- به وضوح قابل مشاهده است (شکل ۴)، که حاکی از وجود دو پدیده متفاوت در این محدوده می‌باشد. بنابراین برای تنظیم نمودار درختی یک شرط با مقادیر بزرگتر از ۰/۳۹- برای جداسازی دو پدیده از یکدیگر و همچنین آستانه دیگری با مقادیر کوچکتر از ۰/۰۳- برای از بین بردن عوارض غیرضروری در تصویر نظیر پوشش گیاهی و خاک بر روی شاخص NDVI اعمال گردید.

$$NDVI = \frac{B(\lambda) - B(\varphi)}{B(\lambda) + B(\varphi)} \quad (6)$$

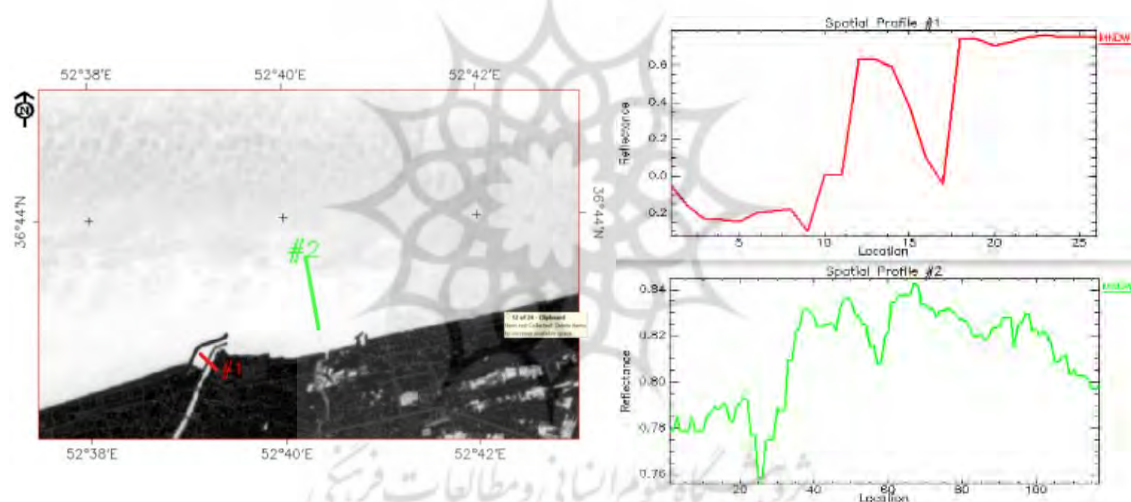


شکل (۴): شاخص NDVI و نیمرخ طیفی رسم شده

Fig (4): NDVI index and spectral profile

پس از محاسبه شاخص MNDWI از رابطه (۷) نیمرخهایی بر روی آن رسم گردید. با توجه به نیمرخ رسم شده در محدوده موجشکن و دهانه رودخانه بابلرود (شکل ۵) یک آستانه با مقادیر بزرگتر از ۰/۴ می‌تواند مرز بین خشکی و آب را به خوبی متمایز کند.

$$MNDWI = \frac{B(2) - B(11)}{B(2) + B(11)} \quad (7)$$

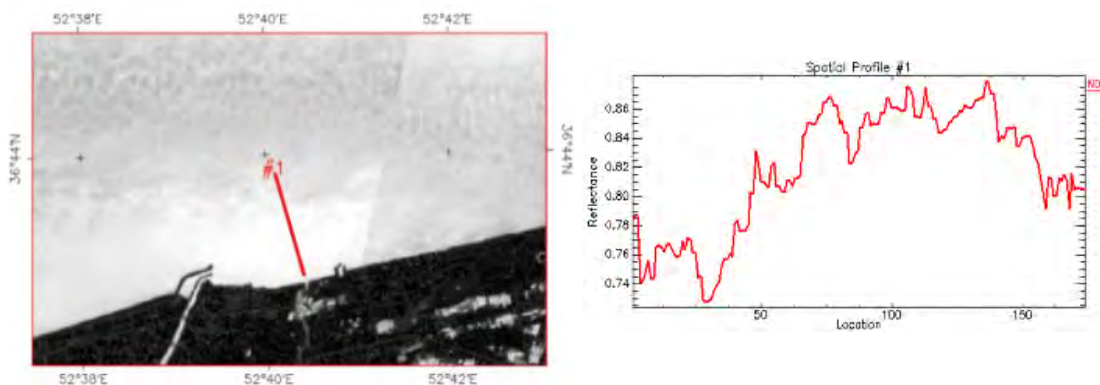


شکل (۵): شاخص MNDWI و نیمرخ طیفی رسم شده

Fig (5): MNDWI index and spectral profile

در شاخص NDII از باند آبی استفاده شده است. باند آبی به خوبی سایه ابرها بر روی سطح زمین و آب گل‌آلود ناشی از سیل را تفکیک می‌کند در حالی که در شاخص NDII از باند قرمز استفاده شده که سایه ابرها بر روی زمین را به درستی پوشش نمی‌دهد. بنابراین در این پژوهش از شاخص NDII (از رابطه ۸) استفاده گردید. این شاخص قابلیت تشخیص بالایی در شناسایی سیلاب در منابع خاکی دارد. بنابراین با توجه به نمودار هیستوگرام (شکل ۶) تمامی مقادیر بیشتر از ۰/۵ برای شناسایی سیلاب مناسب هستند.

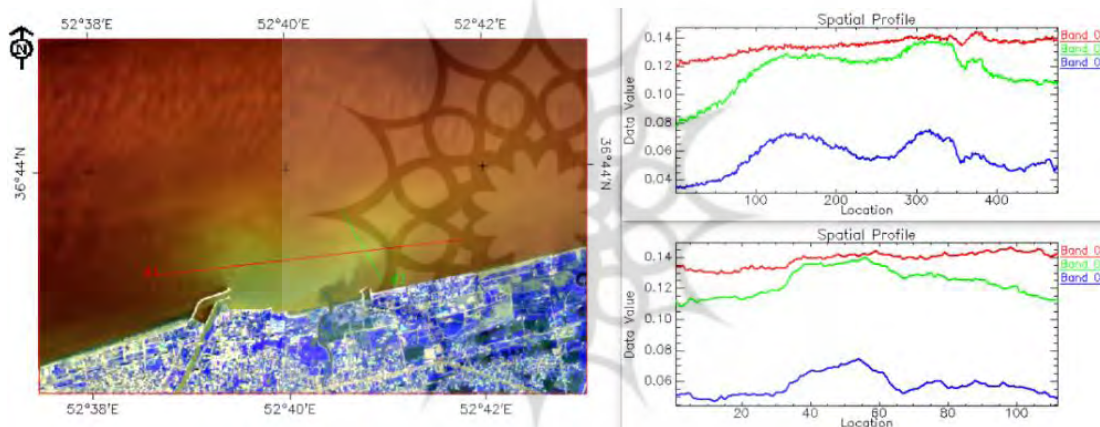
$$NDFI_3 = \frac{B(2) - B(12)}{B(2) + B(12)} \quad (8)$$



شکل (۶): شاخص NDFI و نیمرخ طیفی رسم شده

Fig (6): NDFI index and spectral profile

از طرف دیگر با توجه به نمودار رفتار طیفی آب کدر و شفاف (بخش ۲-۳-۲) و همچنین تکرارپذیری زیاد باندهای ۳ و ۴ در ترکیبات بهینه از جدول (۲) مشخص گردید که بررسی مقادیر بازتاب این باندها در دهانه ورودی رودخانه به دریا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، بنابراین با رسم نیم رخ‌های طیفی متعدد به بررسی دقیق مقدار آستانه تغییرات این دو باند پرداخته شد در نتیجه مقادیر بازتاب بزرگتر از ۰/۱۰ برای باند ۳ و ۴ بعنوان آستانه در تنظیم نمودار درختی در نظر گرفته شد.



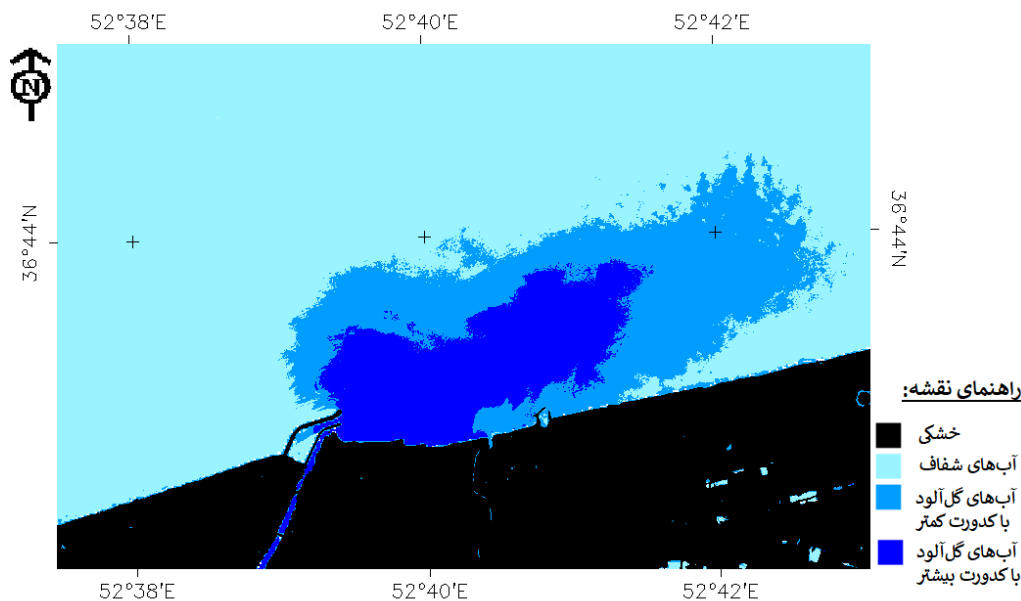
شکل (۷): نیمرخ طیفی ترکیب رنگی کاذب ۳-۴-۸

Fig (7): The false color combination spectral profile 3-4-8

۳-۳- طبقه‌بندی بر اساس درخت تصمیم‌گیری

با استفاده از نمودار رفتار طیفی آب کدر و شفاف (بخش ۲-۳-۲) و بررسی مقادیر بازتاب نوارهای مناسب در شناسایی این پدیده و همچنین نیم‌رخ‌های طیفی رسم شده بر روی شاخص‌های مورد استفاده در این پژوهش (بخش ۲-۳)، در محدوده ورودی رودخانه، آستانه‌هایی بر روی شاخص‌ها و همچنین باندهای ۳ و ۴ اعمال شد و در درخت تصمیم‌گیری قرار گرفت که بر اساس این طبقه‌بندی پدیده مورد نظر با دقت خوبی متمایز گردید (شکل ۸). طبقه‌بندی این پدیده از این لحاظ حائز اهمیت است که پلوم‌های رودخانه‌ای، مکانیزم اصلی حمل و نقل مواد مغذی، رسوبات و آلاینده‌ها هستند، بعلاوه پلوم‌ها باعث افزایش آلاینده‌های زمینی می‌شوند، که این یک تهدید بزرگ برای آبهای ساحلی و اکوسیستم‌ها می‌باشد (پتوس^۱ و همکاران، ۲۰۱۴: ۳۵). بنابراین پهنه بندی پلوم‌های رودخانه‌ای، نقش مهمی در شناخت محیط زیست مناطق مجاور دهانه‌ی رودخانه دارند.

1- Petus



شکل (۸): کدورت آب آشکار شده در دهانه رودخانه بابل رود
Fig (8): Water turbidity detected at the estuary of the Babolroud river

با توجه به شکل (۸) پلوم وارد شده به دریا تا مساحت ۹ کیلومتر مربعی اطراف دهانه رودخانه بابلرود گسترش می‌یابد. بر اساس نتایج، مساحت زبانه پلوم نفوذی با غلظت بالای رسوبات مساحتی در حدود ۳، ۵ کیلومتر مربع را در برمی‌گیرد. از طرفی نتایج نشان می‌دهد بدلیل اینکه جهت گردش غالب جریانات در سواحل جنوبی دریای کاسپین از سمت غرب به شرق می‌باشد، این زبانه نیز به سمت شرق گسترش یافته است.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه امروزه، نمونه برداری میدانی کاری سخت، پرهزینه و اغلب غیر قابل تکرار است، سنجش از دور روشی مناسب، به نسبت ارزان و مکرر به شمار می‌رود. در این پژوهش با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره سنتینل-۲، به شناسایی میزان پلوم وارد شده به دریای کاسپین از رودخانه بابلرود در جریان سیلاب سال ۹۷-۹۸ پرداخته شد. با توجه به رفتار طیفی آب‌های گل‌آلود و شفاف، در محدوده طیفی طول موج‌های ۰/۵ تا ۰/۷۸ میکرومتر (نوارهای ۳ تا ۸) این پدیده قابل تفکیک است. در ابتدا از شاخص OIF برای شناسایی ترکیب‌های بهینه استفاده شد سپس با توجه به تکرار پذیری باندهای ۳ و ۴ در ترکیبات مختلف، در صدر باندهای مناسب قرار گرفتند. برای جداسازی آب از سایر پدیده‌ها از شاخص NDVI که تفاضل معیار شده محدوده طیفی قرمز مرئی (باند ۴) و مادون قرمز نزدیک (باند ۸) است، استفاده گردید. از طرف دیگر از شاخص‌های MNDWI و شاخص NDFI نیز استفاده گردید که تفاضل معیار شده محدوده طیفی مادون قرمز کوتاه (باند ۱۱ و ۱۲) با سبز مرئی (باند ۳) برای MNDWI و قرمز مرئی (باند ۴) برای NDFI است. در محدوده امواج مادون قرمز نزدیک (NIR) و مادون قرمز کوتاه (SWIR)، آب تمامی طول موج‌های مادون قرمز را جذب می‌کند و در محدوده‌ی دریا اگر پدیده‌ای به جز آب وجود داشته باشد، مقدار انعکاسی بیشتری خواهد داشت. که بر همین اساس، در انتخاب آستانه بر روی شاخص‌ها به این ویژگی توجه شد. در نهایت با اعمال آستانه‌هایی بر روی شاخص‌های NDVI (مقادیر کمتر از ۰.۰۳- و بیشتر از ۰.۳۹-)، MNDWI (مقادیر بیشتر از ۰.۴) و NDFI (مقادیر بیشتر از ۰.۵) و نوارهای ۳ و ۴ (مقادیر بیشتر از ۰.۱۰) یک درخت تصمیم‌گیری برای تفکیک آب‌های کدر و شفاف ایجاد شد و آب وارد شده به دریا ناشی از سیلاب با دو مرتبه از شدت گل‌آلودگی طبقه‌بندی گردید. براساس نتایج بدست آمده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، مساحتی در حدود ۹ کیلومتر مربع از زبانه پلوم وارد شده در اثر سیلاب به دریای کاسپین قابل شناسایی است.

۵-منابع

- Alias, N. E., Mohamad, H., Chin, W. Y., & Yusop, Z. (2016). Rainfall analysis of the Kelantan big yellow flood 2014. *Jurnal Technology*, 78, 9-4.
- Amounia, H., Shayan, S., Yamani, M. (2021). Analysis of the Caspian shoreline changes Effectiveness in Connection with Land-use Changes Case study: Babolrood shoreline. *Hydrogeomorphology*, 8(26), 78-61. (In Persian).
- Ba aghideh, M., & Ziaian, p. (2011). Investigation of the Use of NDVI Vegetation Index in Isfahan Province Drought Analysis. *J. Geographical studies of dry area*, 4, 1- 16. (In Persian).
- Boschetti, M., Nutini, F., Manfron, G., Brivio, P. A., & Nelson, A. (2014). Comparative analysis of normalised difference spectral indices derived from MODIS for detecting surface water in flooded rice cropping systems. *PLoS one*, 9(2), e88741.
- Cengiz, O., Sener, E., & Yagmurlu, F. (2006). A satellite image approach to the study of lineaments, circular structures and regional geology in the Golcuk Crater district and its environs (Isparta, SW Turkey). *Journal of Asian Earth Sciences*, 27(2), 155-163.
- Chavez, PS., Berlin, GL., & Sowers, LB. (1982). Statistical method for selecting Landsat MSS ratios. *Journal of Applied Photographic Engineering*, 8(1), 23-30.
- Clevers, J. G., & Gitelson, A. A. (2013). Remote estimation of crop and grass chlorophyll and nitrogen content using red-edge bands on Sentinel-2 and-3. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 23, 344-351.
- Daneshgar, S. (2015). Remote sensing observations for monitoring coastal zones: Volturno River mouth case study. *Master graduation thesis*.
- De Jesús Salas Pérez, J., Monreal, D. S., Jordán-Garza, A. G., & Lehovc, F. R. (2023). Satellite features of river plumes over the Lobos–Tuxpan reef system. *Journal of Oceanography*, 1-17.
- Ezat Aabadipor, H. (2016). Introducing Sentinel-2 satellite images, *The third national conference on recent innovations in civil engineering in Tehran*, 8. (In Persian).
- Fatemi, S.B., & Rezai, Y. (2012). Basics of remote sensing. Azadeh. (In Persian).
- Fazel Dehkordi, L., Azarnivand, H., Zare Chahouki, M. A., Mahmoudi Kohan, F., & Khalighi Sigaroudi, S. (2016). Drought Monitoring Using Vegetation Index (NDVI) (Case study: Rangelands of Ilam Province). *Journal of Range and Watershed Management*, 69(1), 141-154.
- Fernández-Nóvoa, D., Mendes, R., Dias, J. M., Sánchez-Arcilla, A., & Gómez-Gesteira, M. (2015). Analysis of the influence of river discharge and wind on the Ebro turbid plume using MODIS-Aqua and MODIS-Terra data. *Journal of Marine Systems*, 142, 40-46.
- Garg, V., Aggarwal, S. P., & Chauhan, P. (2020). Changes in turbidity along Ganga River using Sentinel-2 satellite data during lockdown associated with COVID-19. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 11(1), 1175-1195.
- Ghosh, M. K., Kumar, L., & Roy, C. (2015). Monitoring the coastline change of Hatiya Island in Bangladesh using remote sensing techniques. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 101, 137-144.
- Guneroglu, A., Karsli, F., and Dihkan, M. (2013). Automatic detection of coastal plumes using Landsat TM/ETM+ images. *International journal of remote sensing*, 34(13), PP.702-4714.
- Han-Qiu, X. U. (2005). A study on information extraction of water body with the modified normalized difference water index (MNDWI). *Journal of remote sensing*, 9(5), 589-595.
- Hashemi, N., Abarinasab, M., & Safar rad, T. (2018). Revealing the mass of Arvand river through hydrogeomorphology satellite images. *Hydrogeomorphology*, 4 (13), 147-164. (In Persian).
- Jalal Zade, Z. (2006). Investigating the relationship between the sea surface temperature obtained from the AVHRR sensor data from the NOAA satellite and the data obtained from the ground survey in the South Caspian., *Master's thesis in the field of marine physics (m.sc)*. (In Persian).

- Kang, Y., Pan, D., Bai, Y., He, X., Chen, X., Chen, C. T. A., & Wang, D. (2013). Areas of the global major river plumes. *Acta Oceanologica Sinica*, 32, 79-88.
- Kourafalou, V. H., Oey, L. Y., Wang, J. D., & Lee, T. N. (1996). The fate of river discharge on the continental shelf: 1. Modeling the river plume and the inner shelf coastal current. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 101(C2), 3415-3434.
- Maciel, F. P., Santoro, P. E., & Pedocchi, F. (2021). Spatio-temporal dynamics of the Río de la Plata turbidity front; combining remote sensing with in-situ measurements and numerical modeling. *Continental Shelf Research*, 213, 104301.
- Majid Hoseini, H., Akbari Nasab, M., & Safar Rad, T. (2016). Calculation of the optimal index for monitoring the pollution of water resources with satellite images (A case study of the Oman Sea area), *Journal of Hydrophysics*, 2(1) 35-45. (In Persian).
- Mestres, M., Sierra, J. P., & Sánchez-Arcilla, A. (2007). Factors influencing the spreading of a low-discharge river plume. *Continental Shelf Research*, 27(16), 2116-2134.
- Momi Por, M. (2015). Studying the quality of coastal waters with Hyperion supernatural satellite images (A case study of Arvand beach). *Faculty of Marine Natural Resources: Khorramshahr Faculty of Marine Sciences*. (In Persian).
- Nezlin, N.P., DiGiacomo, P.M., Diehl, D.W., Jones, B.H., Johnson, S.C., Mengel, M. J., & Wang, M. (2008). Stormwater plume detection by MODIS imagery in the southern California coastal ocean. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 80(1), PP.141-152.
- Petus, C., Marieu, V., Novoa, S., Chust, G., Bruneau, N., & Froidefond, J. M. (2014). Monitoring spatio-temporal variability of the Adour River turbid plume (Bay of Biscay, France) with MODIS 250-m imagery. *Continental Shelf Research*, 74, 35-49.
- Safar Rad, T., Rasoolian, M., Safarrad, T., Akbarinasab, M., & Talebpour, N. (2020). Empirical Detection of Turbid and Clear Water Using Space-Borne Sentinel-2 Case Study: Sefidrud Dam. *Water Resources Engineering*, 12(43), 87-99. (In Persian).
- Soyuf Jahromi, M., & Rezaee Pourmashizi, E. (2019). The footmarks of Arvand River plume in the north of the Persian Gulf during the spring. *Iranian Journal of Marine Science and Technology*, 23(90), 35-41. (In Persian).
- Sri Sumantyo, J. T. (2017). Assessment of Multi-Temporal Image Fusion for Remote Sensing Application. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 7(3), 778-784.
- Wan, K. M., & Billa, L. (2018). Post-flood land use damage estimation using improved Normalized Difference Flood Index (NDFI3) on Landsat 8 datasets: December 2014 floods, Kelantan, Malaysia. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(15), 1-12.