

## Comparison of Remote Sensing Indices in Determining the Flood Zoning of the Doab Vaysian Watershed

Maedeh Kakavand<sup>1</sup>, Ali Haghizadeh<sup>2\*</sup> , Mahdi Soleimani-Motlagh<sup>3</sup>

1. MSc of Watershed Management Engineering, Department of Range and Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran
2. *Corresponding Author*, Associate Professor, Department of Range and Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran
3. Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran

---

### Article Info

### ABSTRACT

**Article type:**  
Research Article

**Article history:**

**Received:** 31 July 2023

**Revised:** 14 November 2023

**Accepted:** 24 December 2023

**Keywords:**

DVDI, MNDWI, NDWI,  
Sentinel 2, Flood Zoning.

Estimation of flood zoning is very important in terms of management and determination of flood damages. Remote sensing and the use of high-resolution images can be effective in extracting flood zoning estimator indicators. In this research, Sentinel 2 images in the year of the flood occurrence with a spatial resolution of 10 meters and Landsat 8 images at the same time in the years before and after the flood were used by environment the Google Earth Engine. In this study, the zoning of the flood was estimated using indices of NDWI, MNDWI, and DVDI. The results showed that the MNDWI, despite the long-time interval (20 days) after the flood of 2019 and the evaporation of most of the water spread over the lands, the area of flooding was estimated better compared to the NDWI around 330.59 ha. Also, the flood-affected area using DVDI (that indicates the destruction of vegetation due to floods showing negative values) was estimated at 3522.21 ha, which showed a small difference compared to the results provided by the results of Lorestan Governorate research (4750 hectares). Finally, the results showed although DVDI optimally estimated flood zoning due to the use of the 5-year time series of the NDVI before and after the flood if the cloud-free images of Sentinel 2 exist to extract the MNDWI, it probably could perform better than the DVDI. In general, the use of the above indicators is suggested as an important, practical, and low-cost method for management, area estimation, and flood damage determination.

---

**Cite this article:** Kakavand, M., Haghizadeh, A., & Soleimani-Motlagh, M. (2023). Comparison of Remote Sensing Indices in Determining the Flood Zoning of the Doab Vaysian Watershed. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 13(40), 41-56. DOI: 10.22111/jneh.2023.46291.1978



© Ali Haghizadeh

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/jneh.2023.46291.1978

---

\* Corresponding Author Email: [haghizadeh.a@lu.ac.ir](mailto:haghizadeh.a@lu.ac.ir)

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۳، شماره ۴۰، تیر ۱۴۰۳

## مقایسه شاخص‌های سنجش ازدور در تعیین پهنه سیل حوضه آبخیز دوآب ویسیان

مأده کاکاوند<sup>۱</sup>، علی حقی زاده<sup>۲\*</sup> ID، مهدی سلیمانی مطلق<sup>۳</sup>

۱. کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه لرستان

۲. دانشیار گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان (نویسنده مسئول)

۳. استادیار گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان

| اطلاعات مقاله   | چکیده   |
|---|---|
| نوع مقاله: مقاله پژوهشی   | تخمین پهنه سیل از نظر مدیریت و تعیین پهنه و خسارت‌های سیل بسیار مهم است. سنجش ازدور و استفاده از تصاویر با دقت بالا می‌تواند در استخراج شاخص‌های تخمین‌گر پهنه سیل مؤثر باشد. در این پژوهش از تصاویر سنتینل ۲ در سال وقوع سیل با توان تفکیک مکانی ۱۰ متر و از تصاویر لندست ۸ در زمان‌های مشابه سال‌های قبل و بعد از وقوع سیل در محیط گوگل ارث انجین استفاده شد. در این مطالعه با استفاده از شاخص NDWI، MNDWI و DVI به تخمین پهنه اثر سیل پرداخته شد. نتایج نشان داد که شاخص MNDWI با وجود فاصله زمانی زیاد (۲۰ روزه) بعد از وقوع سیل و تبخیر بخش عمده منابع آب پخش شده بر روی اراضی، نسبت به شاخص NDWI میزان سطح آبگرفتگی ناشی از سیل ۱۳۹۸ را بهتر و در حدود ۳۳۰/۵۹ هکتار برآورد نمود. همچنین شاخص DVI با ارائه مقادیر منفی که مبین تخریب پوشش گیاهی در اثر سیل است، مساحت تخریب اراضی زراعی و باغی ناشی از این سیل را ۳۵۲۲/۲۱ هکتار برآورد نمود که در قیاس با آمار ارائه شده استاندارد لرستان (۴۷۵۰ هکتار) تفاوت اندکی نشان می‌دهد. در کل، استفاده از شاخص‌های بالا به‌عنوان روش‌های مهم، کاربردی و کم‌هزینه برای مدیریت، تخمین پهنه و تعیین خسارت‌های سیل پیشنهاد می‌شود. |
| تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۹  |   |
| تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۳  |   |
| تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۳   |   |
| واژه‌های کلیدی: شاخص‌های طبیعی، گوگل ارث انجین، سنتینل ۲، پهنه سیل.   |   |
| استناد: کاکاوند، مأده، حقی زاده، علی، سلیمانی مطلق، مهدی. (۱۴۰۲). مقایسه شاخص‌های سنجش از دور در تعیین پهنه سیل حوضه آبخیز دوآب ویسیان. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۳(۴۰)، ۴۱-۵۶. DOI: 10.22111/jneh.2023.46291.1978 |   |
| ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان   | © مأده کاکاوند، علی حقی زاده*، مهدی سلیمانی مطلق.   |

## مقدمه

تعیین پهنه آبرگفتگی ناشی از سیل، جهت مدیریت و ارزیابی سریع خسارت‌های آن ضروری است. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای اطلاعات ارزشمندی برای تولید نقشه‌های پهنه‌ی سیل فراهم می‌کنند (سیوانپلیا<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). در این رابطه شاخص‌های مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای می‌توانند پژوهشگران را در کشف پهنه‌های آبی ناشی از رخداد سیل و یا تغییرات آب و هوایی کمک کنند. پژوهش‌های ارزنده‌ای به‌ویژه در سال‌های اخیر با روش‌های مختلف، به منظور بررسی و مطالعه سیلاب صورت گرفته است: امیری و همکاران (۱۴۰۰) به مطالعه و پایش تغییرات سطح آب و تأثیر آن بر دمای سطح تالاب با استفاده از شاخص NDWI<sup>۲</sup>، MNDWI<sup>۳</sup> و AWEI<sup>۴</sup> پرداختند. در این پژوهش با استفاده از سه شاخص NDWI، MNDWI و AWEI میزان سطح تالاب‌های هورالعظیم و شادگان واقع در استان خوزستان در بازه زمانی ۱۳۹۷-۱۳۷۸ مورد بررسی قرار گرفت. پس از فرایند پیش‌پردازش بر روی تصاویر لندست، برپایه ۲۰۰ نقطه تعلیمی حد آستانه هر شاخص در شناسایی سطح تالاب‌ها تعیین گردید که با توجه به دقت کلی ۹۵/۵٪ و ضریب کاپای ۰/۹۱، شاخص MNDWI نسبت به دو شاخص NDWI و AWEI از کارایی بهتر و دقت بالاتری برخوردار است. بر این اساس مساحت تالاب‌ها برای ماه‌های فروردین، شهریور و دی‌ماه در هر سال که معرف تغییرات حجم آب ورودی به تالاب‌ها هستند، با استفاده از شاخص MNDWI محاسبه شد. یوسفی و همکاران (۱۴۰۰) به پایش تغییرات دریاچه زریبار کردستان با استفاده از شاخص‌های طیفی تفاضل نرمال و تصاویر لندست پرداختند. در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و ۸ و سامانه GEE و الگوریتم‌های طیفی NDWI و MNDWI در کمترین زمان و هزینه، جداسازی پهنه آبی از سایر پدیده‌ها با استفاده از آستانه‌گذاری صورت گرفت و تغییرات بلندمدت مساحت آن بررسی شد. اعتبارسنجی نتایج و مقایسه بین شاخص‌ها برای دریاچه زریبار نشان داد که شاخص MNDWI با ضریب کاپای ۰/۹۴ و دقت کلی ۹۷ درصد برای دوره اخیر، شاخصی بسیار مناسب برای این منطقه محسوب می‌شود و نتایج آن از شاخص NDWI بسیار بهتر و در نتیجه کارآمدتر است. حسن‌زاده و همکاران (۱۴۰۰) به پهنه‌بندی سیلاب در نواحی شهری با استفاده از مدل هیدرولوژیکی و اطلاعات میدانی پرداختند. در این پژوهش نقش مدل‌های هیدرولوژیکی در GIS و اطلاعات میدانی به‌عنوان اطلاعات مردمی در پهنه‌بندی سیلاب و آبرگفتگی ناشی از وقوع سیل در شهر بردسیر، در استان کرمان، بررسی شده است. به‌منظور انجام پژوهش یادشده، اطلاعات لازم شامل اطلاعات مکانی، توپوگرافی، هیدرولوژی و کاربری اراضی و همچنین، اطلاعات میدانی از طریق پرسشنامه و مصاحبه‌ی رودررو با مردم ساکن در منطقه مطالعاتی گردآوری شد. مقایسه نقشه‌ی محدوده‌ی آبرگفتگی تولیدشده توسط مدل و اطلاعات میدانی با اطلاعات واقعی، به‌ترتیب صحت کلی ۵۹/۱۶ درصد و ۸۰/۰۷ درصد است که صحت بیشتر اطلاعات میدانی در تعیین محدوده‌ی آبرگفتگی در منطقه‌ی مطالعاتی را نشان می‌دهد. صحت نقشه ترکیبی در مقایسه با داده‌های واقعی به ۸۰/۲۷ درصد افزایش یافت که این مطلب نشان‌دهنده‌ی تأثیر اطلاعات میدانی در مدیریت خطر سیل است. در پژوهش‌های خارج از کشور نیز پژوهش‌هایی در زمینه پهنه‌بندی سیل صورت گرفته است: چن<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۲۰) سیل‌های ناگهانی، تغییر کاربری زمین و خطر سیل در مناطق

1 . Sivanpillai

2 . Normalized Difference Water Index

3 . Modified Normalized Difference Water Index

4 . Automated Water Extraction Index

5 -Chen

توریستی کوهستانی پکن و چین بررسی کردند. سه سناریوی سیل، ویداد واقعی که در سال ۲۰۱۲ رخ داد و یک سیل فرضی در سال ۲۰۱۷ و یک سناریوی سیل در آینده، با استفاده از ابزارای سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) ارزیابی شد، نتایج نشان می‌دهد که از سال ۲۰۱۲ تا سال ۲۰۱۷، به دلیل توسعه گردشگری و تغییر کاربری اراضی در منطقه، خطر سیل ناگهانی ۲۸ درصد افزایش یافته است.

برینل و همکاران (۲۰۲۱)<sup>۱</sup> با مطالعه چگونگی مکانیسم های بارش و ویژگی‌های حوضه آبریز پرداختند. نتایج نشان داد که شدت بارش در حوضه‌هایی که تحت تأثیر بارندگی همرفتی است نسبت به حوضه‌های کوهستانی که بارندگی سالانه بیشتری دارند و مکانیسم بارش که بیشتر اوروگرافیک است، متغیرتر هستند. اوسی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۱) به مطالعه و تخمین دوره بازگشت حداکثر بارندگی و سیل حوضه آبریز رودخانه پرا در کشور غنا پرداختند. نتایج حاکی از افزایش مقادیر حداکثر بارندگی و تعداد روزهای متوالی خشک و مرطوب بوده است، علاوه بر این، حجم سیل‌هایی با دوره بازگشت پایین ۱ تا ۲ ساله داشته‌اند. در این راستا هدف از این پژوهش شبیه‌سازی تأثیر بارش با مقادیر و دوره بازگشت مختلف بر مولفه‌های هیدروگراف ساعتی سیلاب است. نتایج می‌تواند در تحلیل سیلاب ناشی از بارندگی‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرد. ژوو<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۲۱) به مطالعه نقش تغییرات مکانی-زمانی بارش و برهم کنش‌های پیچیده آن با ویژگی‌های سطح زمین بر سیلاب در حوضه‌های شهری کوچک ایالت مرلند ایالات-متحده پرداختند. ایشان از چارچوب تحلیل فراوانی سیل که مبتنی بر تغییرات اوج‌های تصادفی با استفاده از مدل-سازی هیدرولوژیکی بوده، استفاده نمودند. نتایج حاکی از پیچیدگی واکنش سیلاب در چندین زیرحوضه با دوره بازگشت بارندگی کوتاه (کمتر از ۵۰ سال) و طولانی (بیش از ۱۰۰ سال) بود. با افزایش دوره بازگشت بارندگی، تأثیر منطقه غیرقابل نفوذ بر تولید سیلاب کاهش می‌یابد. سلیمانی و همکاران (۱۳۹۹) به الگوریتم آشکارسازی پهنه خسارت سیل با استفاده از تصاویر سنتینل ۲ در استان گلستان پرداختند و با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و ارائه‌ی الگوریتم آشکارسازی آسیب سیل، به بررسی آن پرداخته شده است. بیشترین مقدار اختلاف شاخص NDVI<sup>۴</sup> مستخرج از داده‌های سنتینل ۲ در دو بازه اوایل اسفندماه ۱۳۹۷ و اواخر فروردین ۱۳۹۸ در محدوده استان گلستان محاسبه شده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد برخی نواحی بر اثر وقوع سیلاب دچار خسارت شدید شده که شدت و مدت بارندگی در آن کارکرد زیادی داشته است. گنجی و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی اثر شاخص‌های مورفولوژیکی رودخانه گرگانرود بر پهنه‌های سیلاب با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور و تحلیل‌های مکانی در شهر آق‌قلا پرداختند و هدف از این پژوهش، بررسی اثرات مورفولوژیکی رودخانه گرگانرود بر پهنه‌های سیلاب ۱۳۹۸ شهرستان آق‌قلاست. بدین منظور از تصاویر سری زمانی ماهواره‌های Sentinel-2 و Landsat-8 به منظور پایش کامل سیلاب استفاده شد. همچنین شاخص‌های NDWI و MNDWI برای آشکارسازی پهنه‌های سیلاب بر تصاویر ماهواره‌ای اعمال گردید. دیواره‌سازی قوس‌های بیرونی پیچانرودها، کاشت گیاهان با جذب آب زیاد در حریم کمی رودخانه، تعریض و لایروبی بستر رودخانه می‌تواند تا حد زیادی از آبرفتگی شهر آق‌قلا هنگام سیلاب جلوگیری نماید. معمارزاده و همکاران (۱۴۰۲) به بررسی آثار تغییر اقلیم جهانی و تفسیر روند تغییرات کاربری اراضی

1 Breinal

2 Osi

3 Zhou

4 Normalized Difference Vegetation Index

کشاورزی با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از راه دور RS - GIS پرداختند، هدف این پژوهش، بررسی روند تغییرات و دگرگونی اراضی کشاورزی شهرستان شهریار در ۳۰ سال گذشته با استفاده از تکنولوژی سنجش از دور (RS) سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و علل عدم توسعه و از بین رفتن فعالیت‌های کشاورزی و ارائه راهکار و سیاست‌هایی در جهت ترویج و توسعه فعالیت‌های کشاورزی است. نتایج پژوهش نشان داد که اراضی باغی در ۳۰ سال اخیر کاهش زیاد و اراضی زراعت آبی - دیمی و کشاورزی و همچنین زمین‌های کشاورزی افزایش داشته‌اند و تجزیه و تحلیل پوشش گیاهی با استفاده از شاخص NDVI روند کاهش پوشش گیاهی در سال‌های مورد مطالعه را نشان داد.

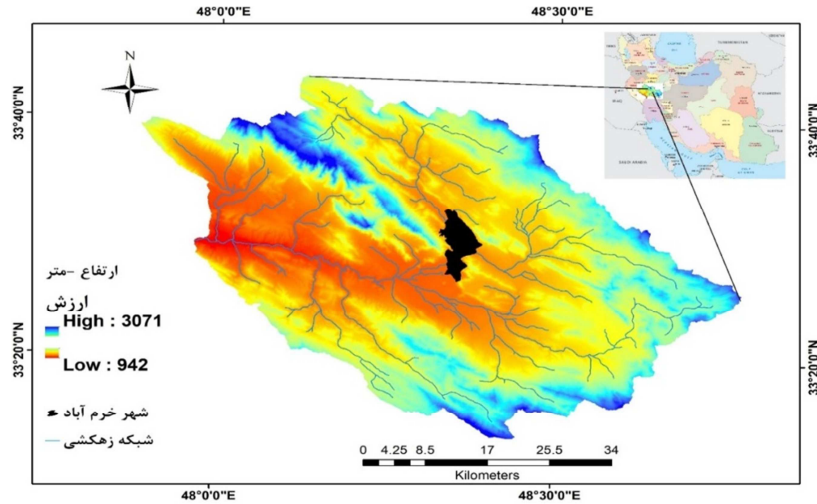
بررسی سوابق پژوهش نشان می‌دهد که روش‌های ارزیابی سریع پهنه‌ی سیل نظیر استفاده از شاخص‌های مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای توانسته است مسائل مربوط به برنامه‌ریزی در جهت مدیریت بحران سیلاب را مرتفع نماید. گرچه روش‌ها و شاخص‌های سنجش از دور توانسته‌اند تا حدودی پهنه‌بندی خطر سیل و یا گستره‌ی آبرفتگی را نشان دهند؛ اما اغلب از شاخص‌هایی استفاده شده که مبتنی بر تصاویر لندست با تفکیک مکانی ۳۰ متر بوده است. بنابراین در این پژوهش از دو شاخص NDWI و MNDWI با کدنویسی در محیط گوگل ارث انجین و همچنین نتیجه تفاوت هر یک از آنها در قبل و بعد از سیل مبتنی بر تصاویر سنتینل ۲ که دارای توانایی تفکیک بالا (۱۰ متر) است، استفاده شد. مزیتی که می‌توان در استفاده از این تصاویر انتظار داشت دقت بالای دو شاخص بالا در تفکیک پهنه‌ی آبی از سایر اراضی است. دوم به دلیل کاهش اندازه پیکسلی تصاویر سنتینل ۲، سطح آبرفتگی در حاشیه شبکه‌ی زهکشی دقیق‌تر از تصاویر لندست برآورد می‌شود. همچنین استفاده از شاخص DVDI<sup>۱</sup> در تعیین اثر سیل بر وضعیت پوشش گیاهی نیز از اهداف دیگر پژوهش است که مورد بررسی قرار گرفت. در کل مقایسه شاخص‌های سنجش از دور در برآورد پهنه آبرفتگی ناشی از سیل هدف اصلی مطالعه است.

## داده‌ها و روش مطالعه

### -مشخصات محدوده مطالعه

حوضه آبخیز رودخانه دوآب و بیسیان یکی از هشت زیرحوضه مهم حوضه آبخیز کشکان است که از زیرحوضه‌های مهم کرخه محسوب می‌شود. حوضه آبخیز دو آب و بیسیان از نظر موقعیت جغرافیایی بین ۴۷ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۴۶ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴۳ دقیقه عرض شمالی در بخش میانی سلسله جبال زاگرس قرار گرفته است. این زیرحوضه از شمال به شهرستان‌های بروجرد و الشتر، از جنوب به استان معمولان، از شرق به شهرستان‌های سپیددشت و دورود و از غرب به سراب دوره و چگنی محدود می‌شود. مساحت منطقه مورد مطالعه در حدود ۲۴۹۵/۹۱ کیلومتر مربع است. موقعیت حوضه آبخیز دوآب و بیسیان در شکل (۱) نشان داده شده است.

<sup>1</sup> Disaster Vegetation Damage Index

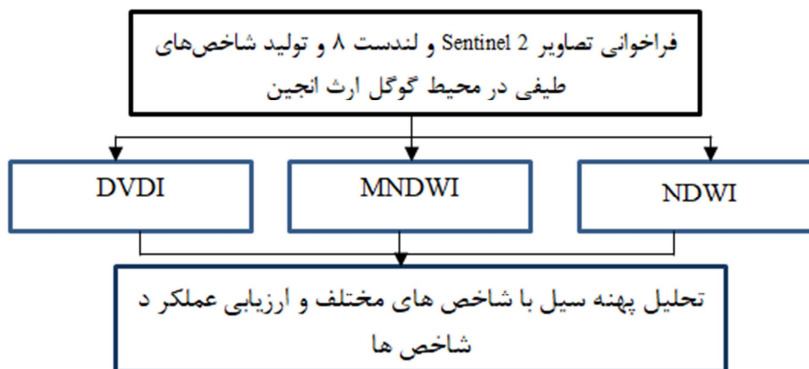


شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه حوضه آبخیز دوآب و پسیان

#### - روش پژوهش

داده‌های مورد استفاده پژوهش، تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ و لندست ۸ بودند که شاخص‌های طیفی NDWI، MNDWI و DVDI با استفاده از کدهای تعریف‌شده در محیط گوگل ارث انجین استخراج شدند. به منظور ارزیابی عملکرد شاخص‌های NDWI و MNDWI، وقوع یا عدم وقوع سیل ۱۳۹۸ در ۵۰ نقطه به صورت تصادفی در حاشیه و نزدیک رودخانه با بررسی داغاب و پرس‌وجو ساکنان محلی انجام شد. همچنین برای بررسی عملکرد شاخص DVDI، تعداد ۳۷ نقطه به صورت تصادفی در خارج از ناحیه شهری انتخاب شد آنگاه با استفاده از منحنی مشخصه عملکرد کارایی شاخص‌ها ارزیابی شد.

نمودار جریان پژوهش به صورت زیر است:



شکل ۲: نمودار جریان پژوهش

تصاویر ماهواره‌ای چند طیفی و اپتیکی، اطلاعات ارزشمندی برای تهیه نقشه سیل فراهم می‌کنند (سیوانپلیا و همکاران ۲۰۲۱). برای بررسی دقت پهنه‌های خطر سیل از شاخص‌های سنجش از دور تهیه‌شده از تصاویر لندست و یا

مادیس<sup>۱</sup> نظیر MNDWI، NDWI و DVDI استفاده می‌شود (سیوانپلیا و همکاران، ۲۰۲۱؛ رحمان<sup>۲</sup> و همکاران ۲۰۲۰) و دقت آنها از طریق بازدید میدانی و بررسی داغاب سیل و یا پرس‌وجو از افراد محلی ساکن در معرض سیل توسط منحنی مشخصه عملکرد ارزیابی خواهد شد. جزئیات شاخص‌ها در زیر آمده است:

#### (۱) شاخص NDWI

بر اساس رابطه ۱ این شاخص از ترکیب باند سبز و باند مادون قرمز نزدیک استخراج می‌شود (دنگ و همکاران ۲۰۱۲). پهنه‌های آب دارای بازتابش کم و جذب قوی به ترتیب در محدوده‌های مرئی و مادون قرمز هستند. در نتیجه، ترکیب این باندها برای استخراج پهنه‌های آب می‌تواند نتایج قابل قبولی ارائه کند (سارپ و همکاران ۲۰۰۹)<sup>۳</sup>

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \quad (1)$$

در رابطه (۱)، NDWI شاخص نرمال شده تفاضل آب، GREEN، باند سبز (باند ۳ در تصاویر سنجنده OLI/TIRS) و NIR باند مادون قرمز نزدیک (باند ۵ در تصاویر سنجنده OLI/TIRS) است.

#### (۲) شاخص MNDWI

بر اساس رابطه ۲ این شاخص در واقع حالت بهبودیافته شاخص NDWI است. نخستین بار توسط Xu در سال ۲۰۰۶ معرفی شد. این شاخص از ترکیب باندهای سبز (GREEN) و مادون قرمز نزدیک به با طول موج کوتاه (SWIR) به دست می‌آید. در این شاخص پهنه‌های آبی ارزش‌های مثبت دارند (ژانگ<sup>۴</sup> و همکاران ۲۰۱۶) و (زی<sup>۵</sup> و همکاران ۲۰۱۵).

$$MNDWI = \frac{Green - SWIR}{Green + SWIR} \quad (2)$$

در رابطه (۲)، MNDWI شاخص بهبودیافته تفاضل نرمال شده آب و SWIR نیز باند مادون قرمز با طول موج کوتاه است (باند ۶ در تصاویر سنجنده OLI/TIRS) (یانگ<sup>۶</sup> و همکاران ۲۰۱۷).

#### (۳) شاخص DVDI

شاخص دیگری که برای دقت مدل پیشنهادی مد نظر هست، شاخص MCVI است. این شاخص بر مبنای شاخص NDVI تهیه می‌شود. در این پژوهش نقشه‌های NDVI در قبل و بعد از وقوع سیل ۱۳۹۸ و همچنین در بازه‌های مشابه در ۵ سال قبل از آن از تصاویر مادیس یا لندست تهیه می‌شوند. آنگاه مقدار NDVI میانه، حداقل و حداکثر آن طی ۵ سال تعیین و شاخص طبق معادله ارائه شده توسط (رحمان<sup>۸</sup>، ۲۰۲۰) محاسبه می‌شود:

$$mVCI = \frac{NDVI_{(x,y)} - NDVI_{med(x,y)}}{NDVI_{max(x,y)} - NDVI_{med(x,y)}} \quad (3)$$

1. MODIS

2. Rahman

3. Sarp

4. Zhang

5. Zhai

6. Yang

7. Median Vegetation Condition Index

8. Rahman

که  $NDVI_{(x,y)}$  ،  $NDVI_{med(x,y)}$  و  $NDVI_{max(x,y)}$  به ترتیب شاخص NDVI در سال وقوع سیل و میانه و ماکزیمم سری‌های زمانی هستند.

با تفاضل  $mVCI$  در قبل و بعد از سیل، شاخص  $DVDI$  محاسبه می‌شود:

$$DVDI = mVCI_a - mVCI_b \quad (۴)$$

که  $mVCI_a$  و  $mVCI_b$  وضعیت پوشش گیاهی در قبل و بعد از سیل هستند. شاخص  $DVDI$  چنانچه مثبت باشد نشان‌دهنده عدم تخریب پوشش گیاهی است و مقدار منفی آن نمایانگر تخریب پوشش گیاهی است. دامنه مقادیر شاخص  $DVDI$  مشابه  $NDVI$ ، بوده و از -۱ تا +۱ است. شاخص  $DVDI$  تخریب یا عدم تخریب پوشش گیاهی را برای اثر سیل در نظر می‌گیرد، در صورتی که  $NDVI$  وضعیت پوشش را در فصول مختلف سال در اثر عوامل مختلف نظیر هجوم آفات و بیماری‌ها یا تغییرات فنولوژیکی بررسی نماید.

گر چه این شاخص‌ها می‌توانند دقت مدل پهنه سیلابی بر مبنای لایه‌های مکانی را مورد ارزیابی قرار دهند؛ اما برای بررسی دقیق‌تر مدل و شاخص‌های ارائه‌شده، با مراجعه به منطقه و بررسی خط داغاب سیل ۱۳۹۸، کارایی آنها با آزمون‌های آماری بررسی شد.

#### - فراخوانی تصاویر و تولید شاخص‌های طیفی در گوگل ارث انجین

برای استخراج شاخص‌های طیفی، جهت بررسی پهنه سیل ۱۳۹۸ نیاز به تصاویر بدون ابر یا با ابر کمتر با توان تفکیک مکانی بالا است. برای این منظور ابتدا تصاویر در دسترس و رایگان لندست با توان تفکیک مکانی ۳۰ متر از طریق گوگل ارث انجین مورد بررسی قرار گرفت؛ اما به دلیل تراکم بالای ابر در بیشتر تصاویر نزدیک به بعد از سیل یادشده، تحلیل پهنه سیل با شاخص‌های تولیدی ( $NDWI$  و  $MNDWI$ ) این تصاویر مشکل بود. بنابراین از تصاویر سنتینل ۲ به دلیل فراوانی تعداد تصاویر در فواصل زمانی کمتر، توان تفکیک مکانی بالا و تراکم ابر کمتر، برای استخراج دو شاخص بالا استفاده شد. Sentinel-2 ماهواره مدار قطبی است که تصاویر ۱۳ بانندی با توان تفکیک مکانی ۱۰ متر (باندهای ۲، ۳، ۴ و ۸) ، ۲۰ متر (باندهای ۵، ۶، ۷، ۸b و ۱۱) و ۶۰ متر (باندهای ۱، ۹ و ۱۰) را فراهم می‌کند (ESA، ۲۰۱۵). تکرار زمانی هر ماهواره Sentinel-2 در استوا ۱۰ روز است که در صورت ترکیب Sentinel-2A و Sentinel-2B، به‌طور متوسط به ۵ روز می‌رسد و فرکانس آن در عرض‌های جغرافیایی بالاتر افزایش می‌یابد (سادمانز و همکاران ۲۰۲۰).<sup>۱۰</sup> برای منطقه مورد مطالعه، تصاویر سنتینل ۲ از مجموع تصاویر "COPERNICUS/S2\_SR" که تصحیحات اتمسفری در آنها انجام شده، استفاده گردیده است. این تصاویر در تاریخ‌های ارائه‌شده در جدول (۱) مطابق کدهای نوشته‌شده در محیط گوگل ارث انجین فراخوانی شد و همزمان محاسبه شاخص‌ها انجام گرفت.

برای تهیه شاخص  $MVCI$  و شاخص  $DVDI$  به شاخص  $NDVI$  نیاز است که طبق توضیحات بخش قبل، از تصاویر لندست ۸ سنجنده OLI استفاده شده است. گفتنی است برای استخراج این شاخص در تاریخ‌های نزدیک به قبل و

<sup>10</sup>- Sudmanns

بعد از سال وقوع سیل به دلیل وجود تراکم بالای ابر، از تصاویر سنتینل ۲ استفاده شد و برای یکپارچگی تصاویر و محاسبه mVCI و DVDI، اندازه سلول آنها مطابق شاخص‌های NDVI تولیدی از لندست ۸ در سال‌های قبل به کمک دستور Resample در GIS به ۳۰ متر تغییر داده شد.

جدول ۱: تاریخ تصاویر لندست ۸ و سنتینل ۲ جهت استخراج شاخص‌های مختلف سنجش از دور

| تاریخ تصاویر دریافتی سنتینل ۲ جهت محاسبه شاخص‌های NDWI و MNDWI |  |
|--|--|
| قبل از سیل ۱۲ فروردین ۱۳۹۸                                     | ۲۰۱۹/۰۳/۲۲                               |
| بعد از سیل ۱۲ فروردین ۱۳۹۸                                     | ۲۰۱۹/۰۴/۲۱                               |
| تاریخ تصاویر دریافتی لندست ۸ جهت محاسبه شاخص NDVI              |  |
| تاریخ‌های مشابه سال‌های گذشته - قبل از سیل                     | تاریخ‌های مشابه سال‌های قبل - بعد از سیل |
| ۲۰۱۴/۳/۲۵  | ۲۰۱۴/۵/۱۲                                |
| ۲۰۱۵/۳/۱۲  | ۲۰۱۵/۵/۵                                 |
| ۲۰۱۶/۳/۳۰  | ۲۰۱۶/۵/۱                                 |
| ۲۰۱۷/۳/۱   | ۲۰۱۷/۵/۲۰                                |
| ۲۰۱۸/۳/۲۰  | ۲۰۱۸/۴/۵                                 |

#### - تعیین پهنه‌ی مناطق آبی و سیل با شاخص‌های NDWI و MNDWI

پس از تولید شاخص‌های NDWI و MNDWI از روی تصاویر سنتینل ۲، تفاضل هر یک از آنها برای قبل و بعد از سیل ( $\Delta NDWI$  و  $\Delta MNDWI$ ) طبق رابطه‌های (۳) و (۴) در محیط GIS محاسبه شد و به‌عنوان پهنه سیل در نظر گرفته شد،

$$\Delta NDWI = [NDWI_{\text{post-flood}} - NDWI_{\text{pre-flood}}] \quad (3)$$

$$\Delta MNDWI = [MNDWI_{\text{post-flood}} - MNDWI_{\text{pre-flood}}] \quad (4)$$

گفتنی است که هریک از رابطه‌های بالا را در یک درصد آستانه که معمولاً آستانه اولیه ۵۰ درصد است، ضرب می‌نمایند و نتیجه تفاوت تصاویر را با تصویر بعد از وقوع سیل به‌صورت بصری بررسی و بر اساس آن پهنه سیل را تعیین می‌کنند. گرچه این روش تا حدودی برای برخی مناطق قابل‌قبول بوده است، اما اجرای آن در منطقه پژوهش برای تعیین پهنه سیل به دلیل خطای زیاد مورد استفاده قرار نگرفت. بنابراین با ارائه یک روش جدید در محیط GIS و استفاده از روابط بالا پهنه سیل مطابق مراحل زیر تعیین گردید:

\* با اضافه نمودن لایه رودخانه، یک لایه بافر ۳۰۰ متری ایجاد گردید.

\* تصویر شاخص NDWI و یا MNDWI به پروژه اضافه شد و به اندازه بافر ۳۰۰ متری از طریق Extract by mask مقادیر شاخص‌ها استخراج گردید.

\* از آنجایی که مقادیر بالای صفر تا ۱ مربوط به هر یک از شاخص‌ها به‌عنوان مناطق آبی و یا مناطق در معرض سیل یا آبگرفتگی شناخته می‌شوند (مکفرز ۱۹۹۶)<sup>۱</sup> لذا با دستور setnull در ابزار Raster Calculator مقادیر زیر صفر حذف گردید.

<sup>۱۱</sup>- mcfeeters

\* برای تبدیل رستر نهایی به پلی‌گون و انجام دستور تفاضل (symmetrical difference)، رستر مربوط به شاخص‌ها توسط ابزار Raster Calculator در عدد صفر ضرب شد و سپس با ابزار Int به عدد صحیح تبدیل شد و آنگاه با ابزار Raster to polygon به پلی‌گون تبدیل گردید.

\* پهنه مشترک دو لایه رستری مربوط به شاخص‌ها در قبل و بعد از سیل توسط ابزار intersect تعیین شد.  
\* به منظور تفاضل دو لایه قبل و بعد از سیل از ابزار symmetrical difference استفاده گردید. در این ابزار، لایه بعد از سیل را به‌عنوان لایه اول و سپس لایه intersect به‌عنوان لایه دوم معرفی گردید و سپس پهنه اضافه‌شده در اثر سیل به‌دست آمد.

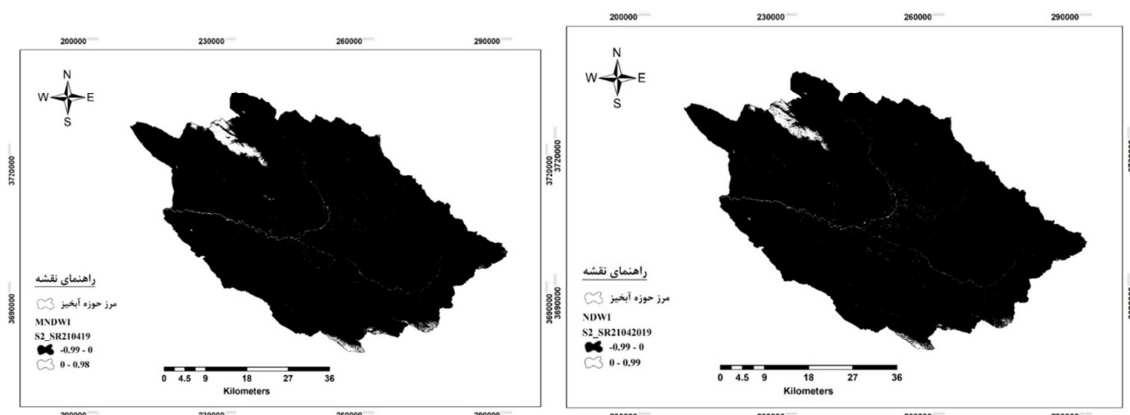
## نتایج و بحث

### \* تحلیل پهنه‌های آبی با شاخص‌های NDWI و MNDWI

شکل ۳ پهنه‌های آبی با ارزش بالای صفر توسط دو شاخص NDWI و MNDWI در تاریخ ۲۰۱۹/۰۴/۲۱ را نشان می‌دهد. طبق این شکل‌ها مشاهده می‌شود که پهنه‌های با ارزش مثبت و با رنگ سفید، پهنه‌های آبی هستند و پهنه‌های با ارزش منفی و مشکی‌رنگ، سایر پوشش‌ها را شامل می‌شوند. همین‌طور هر دو شاخص پهنه آبی در میانه نقشه را به‌صورت خط سفید رنگ که نشان دهنده‌ی شبکه زهکشی یا رودخانه است را نشان می‌دهند. در ارتفاعات حوضه به‌ویژه در بخش شمال‌غربی و یا در جنوب‌شرقی، وجود ابر یا برف محتمل به نظر می‌رسد. در تصویر مربوط به شاخص NDWI تراکم نقاط سفید رنگ در شبکه‌های زهکشی نسبت به تصویر شاخص MNDWI کمتر است و از سوی دیگر پراکنش نقاط پهنه‌ی آبی در خارج از حریم شبکه رودخانه واقع در مناطق مسکونی توسط این شاخص بیشتر نمایان شده که با پهنه سیلابی بوقوع پیوسته در سال ۱۳۹۸ در تناقض است. به‌طور خلاصه، اهمیت MNDWI در استخراج پهنه‌های آبی و سیلابی نسبت به NDWI بیشتر است. در پژوهش‌های گذشته، تأکید استفاده این شاخص در استخراج خاک مرطوب و کمک به کشف مکان‌های سیلابی توسط هوو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۰) و اگرآوال<sup>۲</sup> (۲۰۱۶) نیز مشهود است.

1. Ho

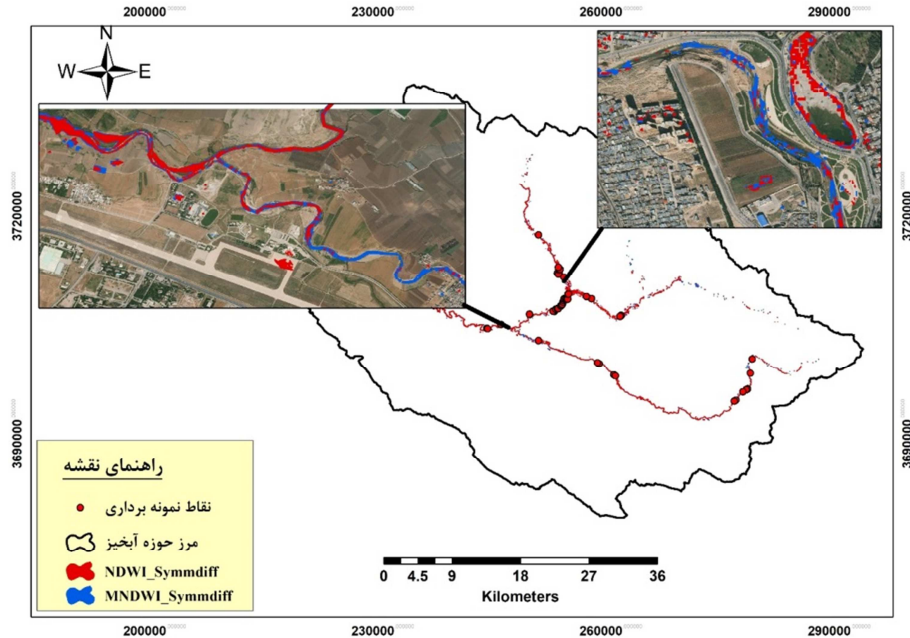
2. Aggarwal



شکل ۳: تفکیک پهنه آبی از سایر اراضی با استفاده از شاخص‌های NDWI و MNDWI تولیدشده از تصاویر سنتینل ۲ پردازش شده در محیط گوگل ارت انجین در تاریخ بعد از سیل ۱۳۹۸ (۲۱-۰۴-۲۰۱۹)

#### \* تعیین پهنه سیل در مسیر جریان بر مبنای شاخص‌های NDWI و MNDWI

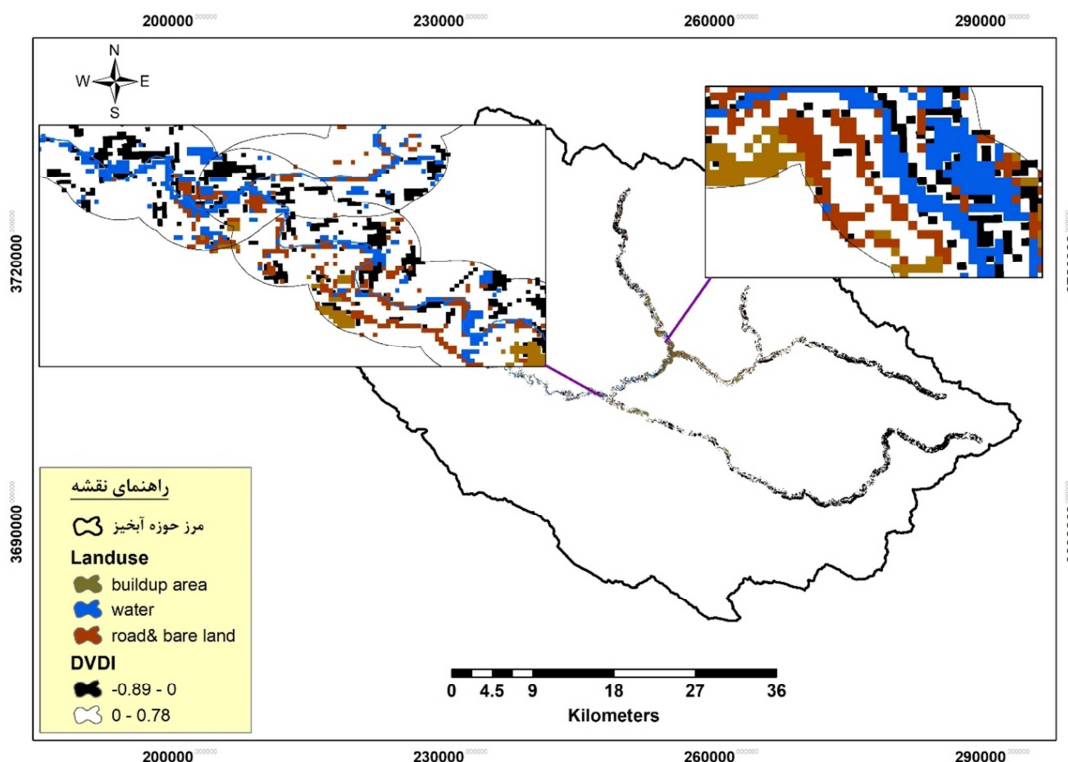
به منظور تعیین گستره‌ی آبرفتگی ناشی از سیل ۱۳۹۸، تفاوت مقادیر هر یک از شاخص‌های NDWI و MNDWI در قبل و بعد از سیل ۱۳۹۸ بر مبنای روش ارائه‌شده در محیط GIS محاسبه و نقشه‌های مربوطه استخراج شد. نتایج نشان داد هر دو شاخص، آبرفتگی را در اکثر مسیر جریان برای شبکه زهکشی حوضه مورد مطالعه نشان می‌دهد. در سرشاخه‌ها، آبرفتگی به صورت منقطع و پراکنده است؛ اما در پایین دست به صورت پیوسته توسط هر دو شاخص نمایش داده شده است (شکل ۴). مساحت آبرفتگی در حاشیه شبکه زهکشی با فرض حریم ۳۰۰ متر توسط NDWI و MNDWI به ترتیب ۲۵۶/۱۵ و ۳۳۰/۵۹ هکتار برآورد شده است. تخمین این میزان سطح اراضی در معرض آبرفتگی برای سیل ۱۳۹۸ به دلیل استفاده از تصاویر سنتینل ۲ که از لحاظ تفکیک مکانی دارای توانایی ۱۰ متر است، قابل قبول است. اما سطح آبرفتگی واقعی به دلیل فاصله زمانی ۲۰ روزه تصویر بعد از سیل (۲۱/۰۴/۲۰۱۹) نسبت به تاریخ وقوع سیل (۰۱/۰۴/۲۰۱۹) احتمالاً بیشتر بوده، چرا که در این فاصله زمانی بخشی از آب پخش شده روی سطح اراضی تبخیر شده است. این نتایج در مقایسه با یافته‌های سایر پژوهش‌ها نشان می‌دهد که تعیین مساحت آبرفتگی و پهنه‌ی سیل ۱۳۹۸ با استفاده از دو شاخص یادشده در استان خوزستان نیز مورد توجه سلیمانی و درویشی (۱۳۹۹) قرار گرفته است. یافته‌های آنها گرچه نتایج این بخش پژوهش در استفاده از شاخص‌های بیان-شده جهت کشف پهنه سیل و مساحت تحت تأثیر آن را تأیید می‌کند؛ اما تفاوت‌های قابل توجه بین این دو پژوهش وجود دارد. یکی اینکه منطقه مطالعاتی این پژوهش از لحاظ جغرافیایی و مورفولوژیکی کاملاً با منطقه مطالعاتی استان خوزستان متفاوت است. بخش وسیعی از اراضی استان خوزستان دارای شیب کم بوده که این خود یکی از عوامل مهم آبرفتگی و گستره‌ی زیاد سیل ۱۳۹۸ در استان خوزستان است. دوم حجم زیاد سیلاب‌های سرشاخه‌های دز و کرخه نیز از عوامل اصلی سیل ۱۳۹۸ و گستره وسیع آن در استان خوزستان بوده است. از همه مهم‌تر اینکه روش مطالعه آنها در استخراج دو شاخص NDWI و MNDWI بر مبنای تصاویر لندست ۸ که تفکیک مکانی آن ۳۰ متر هست، انجام شده است. در صورتی که در این پژوهش نتایج تحلیل دو شاخص بر اساس تصاویر سنتینل ۲ با تفکیک مکانی بالا (۱۰ متر) انجام شده است.



شکل ۴: تعیین پهنه سیل در مسیر جریان با استفاده دو شاخص NDWI و MNDWI

#### \* تعیین سطح اراضی و پوشش گیاهی تخریب شده در اثر سیل

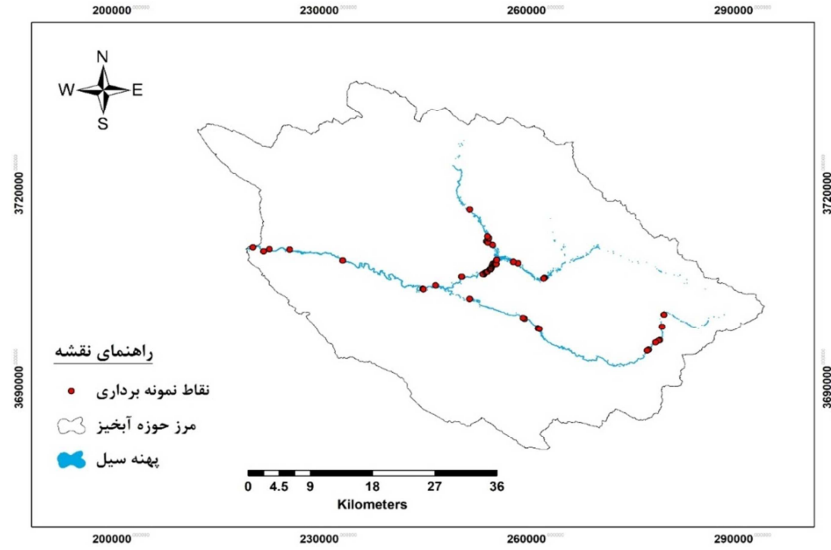
در این پژوهش از شاخص DVDI برای آورد بهتر میزان اثرگذاری سیل بر اراضی حاشیه مسیر جریان استفاده شد. با استفاده از این شاخص میزان سطح اراضی و پوشش گیاهی تخریب شده در اثر سیل ۱۲ فروردین ۱۳۹۸ تخمین زده شد. همان‌طور که شکل (۵) نشان می‌دهد با بزرگنمایی نقشه DVDI در دو مکان نمونه در مسیر جریان به خوبی می‌توان به پراکنش اثر تخریب سیل بر روی اراضی دارای پوشش گیاهی پی برد. در این شکل نواحی سیاه‌رنگ با مقادیر منفی DVDI، مبین تخریب اراضی زراعی- باغی و دارای پوشش گیاهی است. سطح اراضی دارای پوشش گیاهی ازدست‌رفته در اثر سیل یادشده با استفاده از این شاخص ۳۵۲۲/۲۱ هکتار برآورد شده است. قابل توجه است سطح اراضی برآوردشده با مقدار تعیین شده در گزارش سیلاب استانداری لرستان (۱۳۹۸) به میزان ۴۷۵۰ هکتار شامل اراضی زراعی و باغی خسارت‌دیده از سیل یادشده تا حدودی نزدیک است که نشان‌دهنده دقت بالای شاخص DVDI است. اختلاف میزان برآورد سطح اراضی تخریب شده یا خسارت‌دیده با شاخص DVDI نسبت به مقدار تعیین شده توسط سازمان جهاد کشاورزی می‌تواند به علت لحاظ نکردن سطح اراضی تخریب شده در حاشیه شاخه‌های فرعی شبکه زهکشی به دلیل فرض حریم ۳۰۰ متر جهت محاسبه شاخص DVDI باشد.



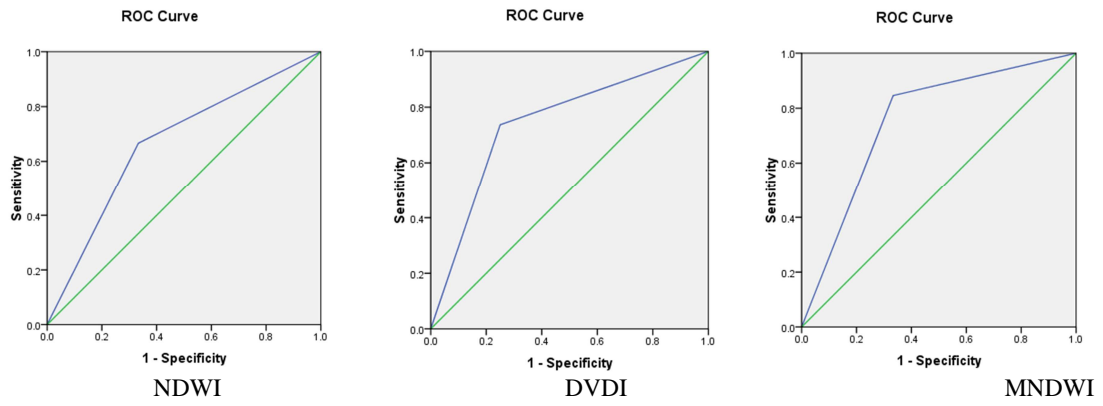
شکل ۵: موقعیت اراضی و پوشش گیاهی تخریب شده در اثر سیل با استفاده از شاخص DVDI

### ارزیابی عملکرد شاخص‌های سنجش از دور در تعیین پهنه سیل

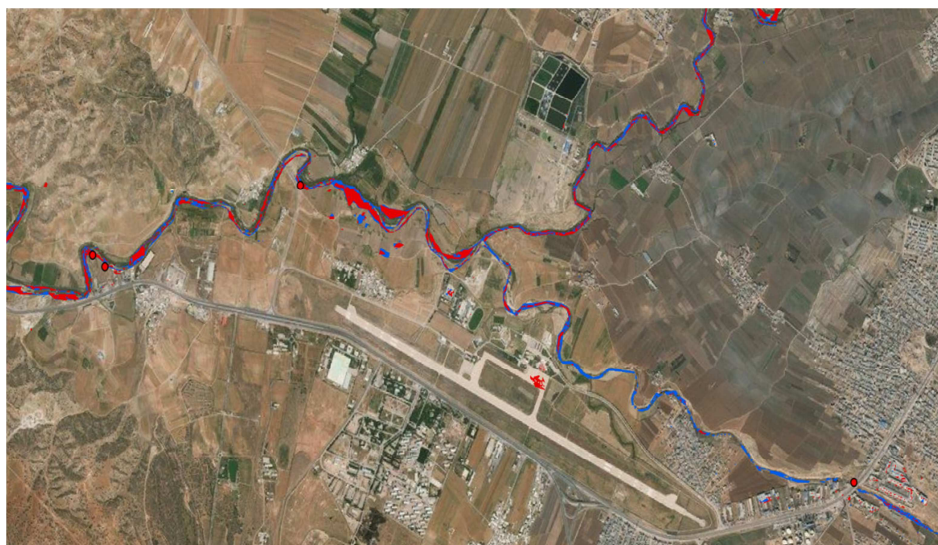
جهت ارزیابی عملکرد شاخص‌های NDWI و MNDWI، ۵۰ نقطه به صورت تصادفی در حاشیه و نزدیک رودخانه انتخاب شد. همچنین برای بررسی عملکرد DVDI، تعداد ۳۷ نقطه به صورت تصادفی در خارج از ناحیه شهری انتخاب شد (شکل‌های ۶ و ۸). از روی تصاویر بر اساس این شاخص‌ها، احتمال وقوع و یا عدم وقوع سیل به ترتیب با عدد ۱ و صفر مشخص شد. آنگاه با مراجعه به منطقه، نقاطی که در معرض سیل قرار گرفته‌اند با بررسی داغاب و پرس‌وجو از ساکنان محلی کد ۱ و در غیر این صورت کد صفر لحاظ شد. در نهایت با استفاده از منحنی مشخصه عملکرد، کارایی هر یک از شاخص‌های مذکور بررسی شد. نتایج منحنی مشخصه عملکرد نشان داد که سطح زیرمنحنی برای شاخص‌های MNDWI، DVDI و NDWI به ترتیب برابر ۰/۷۵، ۰/۷۴ و ۰/۶۶ است که برای دو شاخص اول در سطح ۵ درصد معنی‌دار است ( $\text{sig} < 0.05$ ) (شکل ۷).



شکل ۶: پراکنش نقاط نمونه‌برداری جهت بررسی کارایی شاخص‌های MNDWI، DVDI و NDWI در تعیین پهنه سیل



شکل ۷: منحنی مشخصه عملکرد برای شاخص‌های سنجش از دور در تعیین پهنه سیل



شکل ۸: محل نمونه برداری در نزدیکی ایستگاه هیدرومتری چم انجیر جهت تعیین کارایی شاخص‌های مختلف در تعیین پهنه سیل

### نتیجه‌گیری

استفاده از سنجش‌ازدور یکی از ابزارهای مهم در بحث مدیریت، هشدار و تعیین خسارت‌های سیل است. در این پژوهش از سه شاخص NDWI، MNDWI و DVDI استفاده شد. نتایج مبین دقت در تعیین پهنه‌ی سیل توسط شاخص MNDWI مبتنی بر تصاویر سنتینل ۲ نسبت به NDWI است. حساسیت شاخص MNDWI در قیاس با شاخص NDWI در تشخیص پهنه آبی توسط سلطانیان<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۹) نیز تأیید شده است. همچنین نتایج سیوانپلیا و همکاران (۲۰۲۱) دقت MNDWI نسبت به NDWI در کشف مناطق سیل‌زده را تأیید کرده است. استخراج این شاخص‌ها بیشتر در پژوهش‌های قبلی مبتنی بر ماهواره لندست ۸ بوده، در صورتی‌که در این پژوهش برای تولید شاخص‌های بالا از تصاویر سنتینل ۲ با تفکیک مکانی ۱۰ متر استفاده شده است که دقت برآورد پهنه سیل را افزایش داده است. برآورد سطح آبگرفتگی برای سیل ۱۳۹۸ در حاشیه شبکه زهکشی با فرض حریم ۳۰۰ متر توسط NDWI و MNDWI به ترتیب ۲۵۶/۱۵ و ۳۳۰/۵۹ هکتار برآورد شد. گرچه تخمین این میزان سطح اراضی در معرض آبگرفتگی برای سیل ۱۳۹۸ به دلیل استفاده از تصاویر سنتینل ۲ به لحاظ توان تفکیک مکانی ۱۰ متر قابل قبول است. اما سطح آبگرفتگی واقعی به دلیل فاصله زمانی ۲۰ روزه تصویر بعد از سیل (۲۰۱۹/۰۴/۲۱) نسبت به تاریخ وقوع سیل (۲۰۱۹/۰۴/۰۱) و احتمالاً به علت تبخیر بخش عمده منابع آب پخش شده می‌تواند از دلایل تفاوت با آمار تعیین خسارت‌های اراضی تخریبی در سال ۱۳۹۸ ارائه شده توسط استانداری لرستان باشد.

نتایج محاسبه شاخص DVDI نشان داد که این شاخص می‌تواند به نحو مطلوبی با برآورد سطح اثر تخریبی این پدیده بر روی پوشش گیاهی در تعیین بهتر گستره و خسارت سیل عمل کند. سطح پهنه سیل با فرض حریم ۳۰۰ متر، ۳۵۲۲/۲۱ هکتار برآورد شد که در مقایسه با آمار سال ۱۳۹۸ ارائه شده توسط استانداری لرستان (۴۷۵۰ هکتار)

<sup>۱</sup> Soltanian

تفاوت اندکی دارد. عملکرد بالای شاخص DVDI در تعیین اثر سیل بر تخریب پوشش گیاهی مورد تأیید رحمان و همکاران (۲۰۲۰) است که به برآورد سریع خسارت پوشش گیاهی می‌انجامد.

به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت:

۱- استفاده از سنتیل ۲ برای استخراج شاخص‌های یادشده می‌تواند یک نقطه عطفی در عرصه استفاده از تصاویر سنجش‌از‌دور برای تعیین دقت پهنه سیلاب باشد.

۲- شاخص MNDWI نسبت به NDWI به‌دلیل تخمین سطح بیشتر پهنه سیل، بهتر است. اما باید توجه داشت که تصاویر اولیه مورد نیاز برای استخراج هر دوی این شاخص‌ها در زمان سیل یا با فاصله زمانی نزدیک قبل و بعد از وقوع سیل انتخاب شود تا تخمین پهنه سیل به واقعیت نزدیک شود. البته در بیشتر مواقع به‌دلیل ابری بودن تصاویر نمی‌توان انتظار چنین چیزی داشت و با فیلترگذاری هم نمی‌توان وضوح تصویر را افزایش داد.

۳- شاخص DVDI نسبت به سایر شاخص‌ها در تخمین گستره سیل ۱۳۹۸ به‌دلیل استفاده مقادیر NDVI در سال وقوع سیل و ماکزیمم و میانه مقادیر DVDI در بازه‌های زمانی مشابه در ۵ سال قبل، بهتر عمل کرده است. در مقایسه با شاخص NDWI گرچه شاخص DVDI با نشان دادن اثرات مخرب سیل بر روی پوشش گیاهی باغی و زراعی، تخمین نزدیک به واقعیت را ارائه کرده است؛ اما اگر تصاویری بدون ابر در نزدیکی زمان وقوع سیل وجود داشت، شاید شاخص NDWI می‌توانست بهتر از شاخص DVDI عمل کند.

## منابع

امیری، خدیجه؛ سیدکابلی، حسام؛ محمودی کهن، فرهاد. (۱۴۰۰). مطالعه و پایش تغییرات سطح آب و تاثیر آن بر دمای سطح تالاب با استفاده از شاخص‌های NDWI و MNDWI و AWEI، مجله علمی کشاورزی، دوره ۴۴، شماره ۴، صص: ۷۴-۵۹.

حسن‌زاده، رضا؛ هنرمند، مهدی؛ حسینجانی‌زاده، مهدیه؛ محمدی، صدیقه. (۱۴۰۰). پهنه‌بندی سیلاب در نواحی شهری با استفاده از مدل هیدرولوژیکی و اطلاعات میدانی، نشریه اکوهیدرولوژی، دوره ۸، شماره ۲، صص: ۳۴۴-۳۳۱.

سلیمانی، کریم؛ شریفی پور، مهدی؛ عبدلی بوژانی، سپیده. (۱۳۹۹). الگوریتم آشکارسازی پهنه خسارت سیل با استفاده از تصاویر سنتینل ۲ (مطالعه موردی: سیلاب فروردین ۱۳۹۸ استان گلستان)، مجله اکوهیدرولوژی، دوره ۷، شماره ۲، صص: ۳۰۳-۳۱۲.

گنجی، کامران؛ قره‌چلو، سعید؛ احمدی، احمد. (۱۳۹۹). بررسی شاخص‌های مورفولوژیکی رودخانه گرگانرود بر پهنه سیلاب با استفاده از داده‌های سنجش‌از‌دور و تحلیل مکانی، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۳۵، صص: ۲۲۵-۲۰۵.

معمارزاده کیانی، امیر؛ دانشور فتاح، فرزاد. (۱۴۰۲). بررسی آثار تغییر اقلیم جهانی و تفسیر روند تغییرات کاربری اراضی کشاورزی با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از راه دور RS - GIS، مجله محیط زیست طبیعی. 10.22059/JNE.2023.354658.2522

یوسفی، حسین؛ ترابی پوده، حسن؛ حقی‌زاده، علی؛ صمدی، آرمان؛ ارشیا، آزاده؛ یاراحمدی، یزدان. (۱۴۰۰). پایش تغییرات دریاچه کردستان با استفاده از شاخص‌های طیفی تفاضل نرمال و تصاویر لندست در سامانه Google Earth Engine، نشریه هیدرولوژی، دوره ۶، شماره ۲، صص: ۴۱-۳۰.

Aggarwal, A. (2016). Exposure, hazard, and risk mapping during a flood event using open-source geospatial technology. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(4), 1426-1441.

Breinal, K., Lun, D., Muller-Thomy H., and G., Bloschl. 2021. Understanding the relationship between rainfall and flood probabilities through combined intensity-duration-frequency analysis. *Journal of Hydrology*, 602. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126759>

- Chen Y, Wang Y, Zhang Y, Lung Q, Chen X, 2020. Flash floods, land-use change, and risk dynamics in mountainous tourist areas, A Case study of the Yesanpo Scenic Area, Beijing, China International Journal of Disaster Risk Reduction, 50:101873
- Deng Y, Fan F, Chen R. Extraction and analysis of Impervious Surfaces Based on a ESA. 2015. "Sentinel-2 User Handbook." 2nd ed. 1 1888. Accessed September 23, 2017. [https://earth.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2\\_User\\_Handbook](https://earth.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook) from 1998 to 2008. journal of Sensors. 2012; 12: 1846-1862
- Deng, Y., Fan, F., & Chen, R. (2012). Extraction and analysis of impervious surfaces based on a spectral un-mixing method using Pearl River Delta of China Landsat TM/ETM+ imagery from 1998 to 2008. Sensors, 12(2), 1846-1862.
- Ho, L. T. K., Umitsu, M., & Yamaguchi, Y. (2010). Flood hazard mapping by satellite images and SRTM DEM in the Vu Gia–Thu Bon alluvial plain, Central Vietnam. International archives of the photogrammetry, remote sensing, and spatial information science, 38(Part 8), 275-280.
- Khalifeh Soltanian, F., Abbasi, M and Riyahi Bakhtyari H.R. (2019). Flood Monitoring Using NdwI And Mndwi Spectral Indices: A Case Study Of Aghqala Flood-2019, Golestan Province, Iran. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-4/W18, 2019 GeoSpatial Conference 2019 – Joint Conferences of SMPR and GI Research, 12–14 October 2019, Karaj, Iran.
- Lawal, D. U., Matori, A. N., Yusuf, K. W., Hashim, A. M., & Balogun, A. L. (2014, February). Analysis of the flood extent extraction model and the natural flood influencing factors: A GIS-based and remote sensing analysis. In IOP conference series: earth and environmental science (Vol. 18, No. 1, p. 012059). IOP Publishing.
- McFeeters S K (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. Int J Remote Sens, 17(7): 1425–1432.
- Osei, M, L, Amekudzi, Y, Omari-Sasu., E, Y, Yamba., 2021 Estimation of the return periods of maxima rainfall and floods at the pra River Catchment, Ghan, West Africa using the Gumbel extreme value theory. Heliyon. 7. 6980
- Rahman, M. S., Di, L., Yu, E., Lin, L., & Yu, Z. (2021). Remote sensing-based rapid assessment of flood crop damage using novel disaster vegetation damage index (DVDI). International Journal of Disaster Risk Science, 12, 90-110.
- Sarp G, Ozelik M. Water body extraction and change detection using time series: A case study of Lake Burdur, Turkey. Journal of Taibah University for Science. 2017; 11(3): 381-391.
- Sivanpillai, R., Jacobs, K. M., Mattilio, C. M., & Piskorski, E. V. (2021). Rapid flood inundation mapping by differencing water indices from pre- and post-flood Landsat images. Frontiers of Earth Science, 15, 1-11.
- Sudmanns, M., Tiede, D., Augustin, H., & Lang, S. (2020). Assessing global Sentinel-2 coverage dynamics and data availability for operational Earth observation (EO) applications using the EO-Compass. International Journal of Digital Earth, 13(7), 768-784.
- Zhou, Z. J, Smith., M.L, Burger J.A, Adams, M.B. (2007). Forest operations, extreme flooding events, and considerations for hydrologic modeling in the Appalachians-A review, Forest Ecology, and Management, 242:77-98 Review.

## References

### References (in Persian)

- Amiri, Kh., Seyed Kaboli, H., Mahmoodi-Kohan, F. (2022). Study and monitoring of wetland area changes and their impact on wetland surface temperature using NDWI, MNDWI, and AWEI indices (case study: Hor-al-Azim and Shadegan wetlands). *Journal of irrigation sciences and engineering (JISE)*, 44(4): 59-74. [In Persian]
- Ganji, K., Gharechelou, S., & Ahmadi, A. (2020). Investigating Gorganrood River Morphological Indices and its Effects on Flood Zones using Remote Sensing Data and Spatial Analysis (Case Study: Aq' Qala City). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 9(3), 205-225. doi: 10.22067/geoeh.2020.67016.0. [In Persian]
- Hassanzadeh, R., Honarmand, M., Hossinjanizadeh, M., & Mohammadi, S. (2021). Flood zoning in urban areas using hydrological modeling and survey data: A case study of Bardsir city, Kerman Province. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 8(2), 331-344. doi: 10.22059/ije.2021.314075.1423. [In Persian]
- Memarzadeh kiani, A., & daneshvar fatah, F. (2023). Studying the effects of global climate change and interpreting the process of agricultural land use change using Geographical Information System (GIS) and Remote Sensing (RS) (Case study: Tehran Province, Shahriar County). *Journal of Natural Environment*, (), -. doi: 10.22059/jne.2023.354658.2522. [In Persian]
- Solaimani, K., Sharifipour, M., & Abdoli Boozhani, S. (2020). Flood Damage Detection Algorithm Using Sentinel-2 Images (Case Study: Golestan Flood of March 2019). *Iranian Journal of Ecohydrology*, 7(2), 303-312. doi: 10.22059/ije.2020.292005.1233. [In Persian]
- Yousefi, H., torabi podeh, H., haghizadeh, A., samadi, A., arshiya, A., yarahmadi, Y. (2022). Monitoring the Changes of Zaribar Lake in Kurdistan Using Spectral Indicators and Landsat Images in Google Earth Engine System. *Hydrogeology*, 6(2), 30-41. doi: 10.22034/hydro.2022.12845. [In Persian]

### References (in English)

- Aggarwal, A. (2016). Exposure, hazard, and risk mapping during a flood event using open-source geospatial technology. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(4), 1426-1441.
- Breinal, K., Lun, D., Muller-Thomy H., and G., Bloschl. 2021. Understanding the relationship between rainfall and flood probabilities through combined intensity-duration-frequency analysis. *Journal of Hydrology*, 602. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126759>
- Chen Y, Wang Y, Zhang Y, Lung Q, Chen X, 2020. Flash floods, land-use change, and risk dynamics in mountainous tourist areas, A Case study of the Yesanpo Scenic Area, Beijing, China *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 50:101873
- Deng Y, Fan F, Chen R. Extraction and analysis of Impervious Surfaces Based on a ESA. 2015. "Sentinel-2 User Handbook." 2nd ed. 1 1888. Accessed September 23, 2017. [https://earth.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2\\_User\\_Handbook](https://earth.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook) from 1998 to 2008. *journal of Sensors*. 2012; 12: 1846-1862
- Deng, Y., Fan, F., & Chen, R. (2012). Extraction and analysis of impervious surfaces based on a spectral un-mixing method using Pearl River Delta of China Landsat TM/ETM+ imagery from 1998 to 2008. *Sensors*, 12(2), 1846-1862.
- Ho, L. T. K., Umitsu, M., & Yamaguchi, Y. (2010). Flood hazard mapping by satellite images and SRTM DEM in the Vu Gia–Thu Bon alluvial plain, Central Vietnam. *International archives of the photogrammetry, remote sensing, and spatial information science*, 38(Part 8), 275-280.
- Khalifeh Soltanian, F., Abbasi, M and Riyahi Bakhtyari H.R. (2019). Flood Monitoring Using NdwI And Mndwi Spectral Indices: A Case Study Of Aghqala Flood-2019, Golestan Province, Iran. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-4/W18, 2019 GeoSpatial Conference 2019 – Joint Conferences of SMPR and GI Research, 12–14 October 2019, Karaj, Iran.
- Lawal, D. U., Matori, A. N., Yusuf, K. W., Hashim, A. M., & Balogun, A. L. (2014, February). Analysis of the flood extent extraction model and the natural flood influencing factors: A GIS-based and remote sensing analysis. In *IOP conference series: earth and environmental science* (Vol. 18, No. 1, p. 012059). IOP Publishing.
- McFeeters S K (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *Int J Remote Sens*, 17(7): 1425–1432.
- Osei, M, L, Amekudzi, Y, Omari-Sasu., E, Y, Yamba., 2021 Estimation of the return periods of maxima rainfall and floods at the pra River Catchment, Ghan, West Africa using the Gumbel extreme value theory. *Heliyon*. 7. 6980
- Rahman, M. S., Di, L., Yu, E., Lin, L., & Yu, Z. (2021). Remote sensing-based rapid assessment of flood crop damage using novel disaster vegetation damage index (DVDI). *International Journal of Disaster Risk Science*, 12, 90-110.
- Sarp G, Ozelcik M. Water body extraction and change detection using time series: A case study of Lake Burdur, Turkey. *Journal of Taibah University for Science*. 2017; 11(3): 381-391.
- Sivanpillai, R., Jacobs, K. M., Mattilio, C. M., & Piskorski, E. V. (2021). Rapid flood inundation mapping by differencing water indices from pre- and post-flood Landsat images. *Frontiers of Earth Science*, 15, 1-11.
- Sudmanns, M., Tiede, D., Augustin, H., & Lang, S. (2020). Assessing global Sentinel-2 coverage dynamics and data availability for operational Earth observation (EO) applications using the EO-Compass. *International Journal of Digital Earth*, 13(7), 768-784.
- Zhou, Z. J, Smith., M.L, Burger J.A, Adams, M.B. (2007). Forest operations, extreme flooding events, and considerations for hydrologic modeling in the Appalachians-A review, *Forest Ecology, and Management*, 242:77-98 Review.