

الگوریتم آشکارسازی پهنه خسارت سیل با استفاده از تصاویر سنتینل ۲ (مطالعه موردی: سیلاب فروردین ۱۳۹۸ استان گلستان)

کریم سلیمانی^{۱*}، مهدی شریفی پور^۲، سپیده عبدلی بوژانی^۳

۱. استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲. کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، مؤسسه آموزش عالی آبان هراز آمل

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(تاریخ دریافت ۱۳۹۸/۰۸/۱۶؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۹/۰۱/۲۰)

چکیده

امروزه، برای مناطق فاقد آمار به منظور بررسی وقایع طبیعی می‌توان از داده‌های سنجش از دور با دقت زیاد به‌خوبی بهره جست. از جمله این پدیده‌های ناگهانی و خسارت‌بار در حوضه‌های آبخیز وقوع سیلاب است. سیلاب فروردین ۱۳۹۸ در استان گلستان خسارت‌های زیادی را به عرصه‌های مختلف مسکونی، کشاورزی و جنگلی وارد کرد. در پژوهش حاضر با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و ارائه الگوریتم آشکارسازی آسیب سیل، به بررسی آن پرداخته شده است. بیشترین مقدار اختلاف شاخص NDVI 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. این مناطق که با مساحتی معادل ۷۰۹۰۸ هکتار برآورد شده است، شامل اراضی کشاورزی، جنگلی و مسکونی می‌شود. از جمله مزایای الگوریتم ارائه‌شده می‌توان سهولت و سرعت محاسبه، قابلیت اعمال در مناطق شهری، دقت زیاد با کاهش تأثیر خسارت دیگر پدیده‌ها را نام برد. دقت کلی الگوریتم حاضر با استفاده از نقاط کنترل زمینی معادل ۹۳/۵ درصد برآورد شده است. بررسی دقت نتایج نشان می‌دهد الگوریتم آسیب سیل، دقت مناسبی برای تفکیک مناطق تحت خسارت سیلاب نسبت به مناطق ایمن از خطر را دارد.

کلیدواژگان: استان گلستان، سری زمانی، سیلاب، Sentinel-2، NDVI.

مقدمه

بین بلایای طبیعی سیلاب کارکرد بسیار زیادی در تخریب زیرساخت‌ها، سامانه‌های ارتباطاتی، محصولات زراعی و دام‌ها، املاک و دارایی‌های مردم دارد. براساس یافته‌های پژوهشی، بیش از پنج هزار مرگ‌ومیر از این بلایا مربوط به وقوع سیلاب‌ها در جهان است [۱]. تغییرات کاربری اراضی در دهه‌های اخیر در گستره حوضه‌های آبخیز، همچنین پدیده تغییر اقلیم و تأثیر بر الگوهای مکانی و زمانی بارش، فرایند بارش و رواناب را در پایین‌دست به‌ویژه مناطق پست و کم‌ارتفاع به‌شدت تحت تأثیر قرار داده است. این تغییرات، افزایش جریان‌های سیلابی [۲ و ۳]، فرسایش رودخانه‌ای [۴] و کاهش بالقوه جریان آب پایه را در پی دارد [۵ و ۶]. سیل‌گرفتگی در مقیاس‌های مختلف استانی و محدوده‌های کوچک‌تر ناشی از ناکارآمدی سیستم‌های زهکشی نیز است که به این دلیل، موجب تخریب زیرساخت‌ها و تملکات عمومی و خصوصی و حتی در برخی موارد، منجر به مرگ شهروندان می‌شود. علاوه بر این، می‌تواند موجب کند شدن و یا توقف کامل رفت‌وآمدها شود و همچنین، پیامدهای غیر مستقیم مانند از دست رفتن فرصت‌های اجتماعی اقتصادی را نیز در پی داشته باشد [۷]. تکنیک‌های سنجش از دور به دلیل تنوع در اخذ تصاویر یک ناحیه، تصویربرداری در طول موج‌های مختلف در یک زمان و در نهایت، امکان پردازش و تفسیر سریع داده‌های کسب‌شده، به‌طور گسترده در تحلیل‌های مختلف استفاده می‌شوند. در سال‌های اخیر با توجه به افزایش تعداد وقایع شدید هواشناسی که به‌طور بالقوه مرتبط با تغییرات آب‌وهوایی است، توجه بیشتری به استفاده داده‌های سنجش از دور ماهواره‌ای در برنامه‌های مدیریت بحران شده است. این نگاه بیشتر به دلیل دسترسی گسترده و به‌موقع انواع مختلف داده‌های حساس سنجش از دور و همچنین اطلاعات جغرافیایی به‌دست‌آمده در این زمینه است که ممکن است به‌طور بالقوه در مراحل مختلف فرایند مدیریت بحران بهره‌برداری شود [۸]. سیستم‌های ماهواره‌ای قابلیت استخراج داده‌ها در سطح بسیار وسیع از مقیاس ملی و یا استانی را دارند. در نتیجه، قادرند در مواردی که نیاز به تهیه نقشه مدیریت بحران باشد به عنوان ابزاری مناسب در اختیار کاربران قرار گیرند [۹ و ۱۰]. داده‌های سنتینل یکی از منابع موثق

اطلاعاتی در سنجش از دور هستند، زیرا قادرند در هر شرایط آب‌وهوایی به‌ویژه در حوادث سیلاب‌ها، داده‌های مناسبی را ارائه دهند. اگرچه استفاده از یک تصویر راداری به‌طور هم‌زمان و یا نزدیک به اوج رویداد سیلاب برای بازیابی اطلاعات از داده‌های نوری معمولاً ساده‌تر است، ولی از اوایل دهه ۱۳۷۰ تصاویر نوری به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده کاربران بوده است [۱۱ و ۱۲].

ارائه روشی دقیق برای بررسی خسارت ناشی از سیلاب همواره مورد توجه پژوهشگران بوده است. تا کنون روش‌های بسیاری در این مورد ارائه شده است که هر یک از آنها جوانبی را از بررسی این مسئله آشکار می‌سازد. در پژوهش حاضر بنا بر فرضیاتی اقدام به ارائه شاخصی برای بررسی خسارت سیل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای شده است. به این منظور، آشکارسازی پهنه خسارت سیل با استفاده از الگوریتم آسیب سیل با دقت زیادی مد نظر بوده و همچنین پهنه خسارت سیلاب فروردین ۱۳۹۸ استان گلستان با استفاده از الگوریتم آسیب سیل برآورد می‌شود.

پیشینه تحقیق

تونسند و والش (۱۹۹۸) طی پژوهشی سنجش از دور و GIS را در بررسی سیل‌ها به کار برده‌اند. هدف از مطالعه یادشده مقایسه توانایی‌های تشخیص سیل با داده‌های سنجش از دور و همچنین مدل‌های مبتنی بر GIS است. برای داده‌های سنجش از دور، تصاویر رادار دریچه مصنوعی (SAR) از ماهواره‌های چندطیفی استخراج شده و سپس با استفاده از شاخص (NVDI) برای به دست آوردن احتمال سیل استفاده شده است. از سوی دیگر، DEM^۱ ها برای تولید مدل‌های GIS استفاده می‌شوند که نشان‌دهنده احتمال بالقوه رطوبت و زیاد شدن سیلاب‌های احتمالی است. یافته‌ها نشان داد هر دو مدل SAR و مدل GIS نتایج قابل مقایسه‌ای از امکان سیل را به دست می‌آورند [۱۳].

رونالد و همکاران (۲۰۰۸) طی پژوهشی به کاربرد فناوری‌های سنجش از دور برای مدیریت بلایای طبیعی پرداخته‌اند. در پژوهش یادشده مروری کلی بر چگونگی استفاده از فناوری‌های سنجش از دور در مدیریت بلایای طبیعی شده است. تمرکز بر روش‌هایی برای بهبود درک ما از محیط ساخته‌شده و آسیب‌پذیری آن است. برای نشان

1. Digital Elevation Model

بیشترین افزایش سطح آب‌گرفتگی را داشته است و در این بازه ارتفاعی شدیدترین رواناب‌ها جریان داشته و در نتیجه، خسارت‌های بیشتری به جای مانده است [۱۶].

لیپینگ و همکاران (۲۰۱۸) شاخص خسارت پوشش گیاهی (DVDI) را پیشنهاد داده‌اند و با این شاخص به بررسی تفاوت گیاهان در زمان بلافاصله قبل و بعد از وقوع سیل رودخانه Missouri سال ۲۰۱۱ و سیل Louisiana در سال ۲۰۱۶ با استفاده از تصاویر ماهواره MODIS پرداخته‌اند. نتایج پژوهش آنها معرف یک شاخص ساده، در عین حال مؤثر در اندازه‌گیری آسیب‌های گیاهی/محصول به علت بلایای طبیعی است. اعتبارسنجی با استفاده از خسارت‌های سیل نشان می‌دهد DVDI روشی مؤثر و قابل اجرا برای ارزیابی سریع آسیب محصول به دلیل بلایای طبیعی است [۱۷].

ساره و همکاران (۲۰۱۸) به برآورد سریع تخریب سیل با استفاده از DVDI پرداخته‌اند. در مطالعه یادشده نوعی روش برای استفاده از یک شاخص سنجنش از دور، یعنی شاخص آسیب‌های گیاهی در معرض خطر (DVDI)، برای سنجنش سریع آسیب‌های محصول به دلیل سیل پیشنهاد شده است. درجه آسیب ناشی از سیل به وسیله تقسیم مقادیر دی‌وی‌دی به پنج فواصل مجزا به شش دسته تقسیم می‌شود: بدون آسیب، آسیب کم، آسیب متوسط، آسیب شدید، آسیب خیلی شدید و آسیب جدی. اثربخشی روش با استفاده از آن تا سال ۲۰۱۱ از سیل رودخانه میسوری و سیل لوئیزیانا در سال ۲۰۱۶ نشان داده شد [۱۸].

دانشگاه مریلند با استفاده از سیستم نظارت جهانی سیل (GFMS^۲) به محاسبات هیدرولوژیک نیمه جهانی در زمان واقعی در محدوده مشخص و با دقت مکانی یک کیلومتر می‌پردازد. GFMS یک سیستم آزمایشی NASA است که با استفاده از زمان واقعی TRMM تجزیه و تحلیل بارش‌های چند ماهواره (TMPA^۳) و اندازه‌گیری بارش جهانی (GPM^۴) بازآوری چندین ماهواره‌ای برای اطلاعات بارش جهانی (IMERG^۵) به عنوان ورودی به یک شبکه شبه جهانی رواناب‌های هیدرولوژیک و مدل مسیریابی می‌پردازد. برآوردهای تشخیص شدت سیل بر اساس مدل

دادن اثربخشی فناوری سنجنش از دور در مدیریت بحران، تعدادی از مطالعات موردی، از جمله برنامه‌های کاربردی برای سال ۱۹۹۹ Marmara، زلزله ترکیه، ۲۰۰۳ بم، زلزله ایران و زلزله و سونامی در سال ۲۰۰۴ در هند ارائه شده است. پژوهش یادشده همچنین یک بحث کوتاه در مورد مسیرهای آینده ممکن برای سنجنش از دور در مدیریت بلایای طبیعی را ارائه می‌دهد [۱۴].

شرستها و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از نتایج NDVI^۱ هفتگی تولیدی ماهواره MODIS به بررسی خسارت‌های به وجود آمده از سیل سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۱ در مناطق Missouri و Iowa روی محصولات کشاورزی پرداخته‌اند. آنها در پژوهش یادشده با مقایسه متوسط میزان NDVI هفتگی سال‌های وقوع سیل نسبت به سری زمانی میزان متوسط NDVI یک دوره ۱۲ ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۲) میزان خسارت‌ها را بررسی کرده‌اند. نتایج مقایسه NDVI نه تنها رویدادهای سیل را نشان داده، بلکه بر اساس نمودار سری زمانی نوع و ویژگی محصول را نیز تعیین کرده است [۱۵].

ایپکی و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و فناوری سنجنش از دور، سیل مربوط به آبان‌ماه ۱۳۹۴ (اکتبر ۲۰۱۵) استان ایلام، که از مخرب‌ترین سیل‌های به وقوع پیوسته طی سالیان گذشته در منطقه بوده است را ارزیابی کرده‌اند. همچنین، خسارت‌های وارد شده به پوشش‌های گیاهی استان ایلام نیز برآورد شده است. با استفاده از تجزیه و تحلیل‌های نرم‌افزاری، الگوریتم شاخص تفاضل پوشش گیاهی و طبقه‌بندی نظارت‌شده پیکسل‌ها در تصاویر ماهواره‌ای مربوط به سنجنده‌های OLI از ماهواره LANDSAT-8 و سنجنده MODIS از ماهواره TERRA مشخص شد که در بین شهرستان‌های استان ایلام، پوشش گیاهی «دره شهر» بیشترین خسارت‌ها را از جریان رواناب ناشی از وقوع سیل متحمل شده، به طوری که ۸۵ درصد پوشش گیاهی این شهرستان آسیب دیده و یا از بین رفته بود. همچنین، با استفاده از داده‌های مدل ارتفاعی رقومی (DEM) استخراج شده از ماهواره ASTER و تجزیه و تحلیل آنها مشخص شد که در محدوده‌هایی با ارتفاع ۱۲۵۰ تا ۱۶۰۰ متر از سطح دریا

2. Global Flood Monitoring System
3. TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis
4. Global Precipitation Measurement
5. Integrated Multi-Satellite Retrievals for GPM

1. Normalized Difference Vegetation Index

مربوط به آن در اجرای به موقع اقدامات کنترل سیل و نیز استفاده از کلیه قابلیت‌ها و ظرفیت‌های مخازن سدها برای کنترل و تعدیل سیل بوده است. بنابراین، تشکیل یک سامانه جامع فراقوه‌ای نظام‌نامه مدیریت و کنترل سیل، توجه لازم به اقدامات آبخیزداری و آبخوان‌داری، توجه به اصول مهندسی رودخانه‌زیستی، وضع قوانینی جدی برای رعایت حد و حریم بستر و در صورت لزوم، بازنگری در قانون مربوطه به منظور افزایش حدود، بازنگری و طراحی اصولی سازه‌های تقاطعی، بازسازی و احیای هر چه بیشتر مسیل‌ها و تالاب‌های طبیعی و رفع تعدی و تجاوزها به آنها، کسب اطلاعات کافی و شناسایی جامع منطقه، افزایش ظرفیت ذخیره سدها و جلوگیری از کاهش ظرفیت ذخیره مخازن، مدیریت و کنترل دقیق‌تر حوضه‌های دارای تعدد سد، تعبیه سامانه‌های هشدار سیل در نواحی سیل‌خیز و انجام اقدامات سازه‌ای اصولی از ضروری‌ترین اقدامات برای پیشگیری، بهبود مدیریت و کنترل این بلای طبیعی است [۲۱].

مواد و روش‌ها

داده‌ها

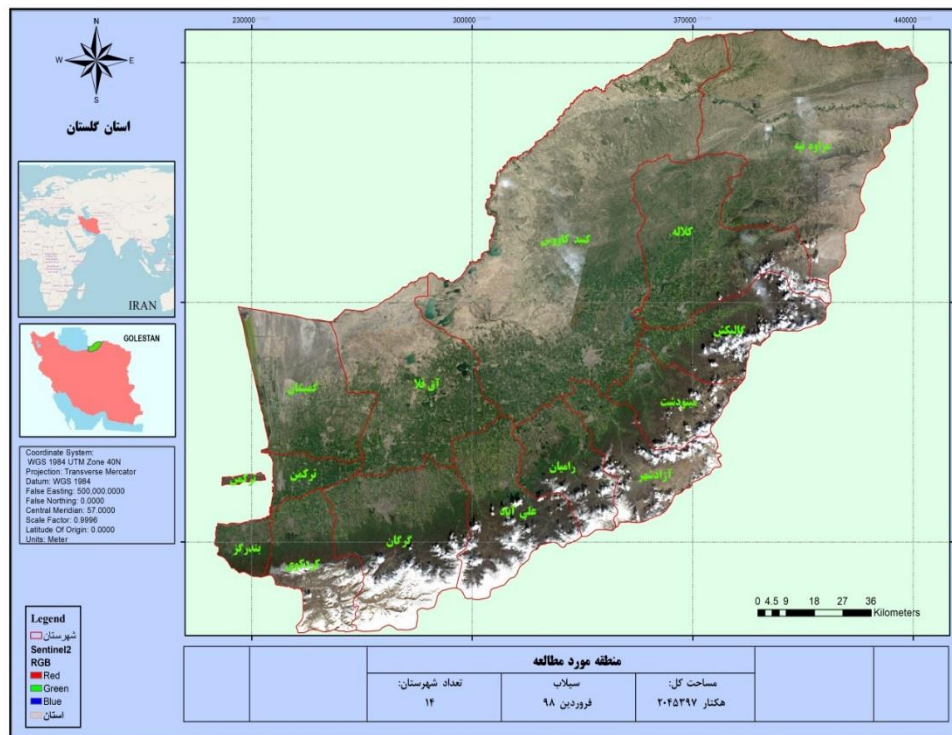
استان گلستان به عنوان منطقه مطالعه شده در سیستم تصویر UTM و سطح مسطحاتی WGS 84 در زون‌های ۴۰ و ۳۹ شمالی و در بین عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است (شکل ۱). محدوده مد نظر به مساحت ۲۰۴۳۸ کیلومترمربع و دارای حداقل ارتفاع ۲۵- متر و حداکثر ۴ هزار متر از سطح آب‌های آزاد است.

از ۱۳ اقلیم شناخته شده در جهان، استان گلستان هشت اقلیم معتدل مرطوب، معتدل مدیترانه‌ای، معتدل خشک، معتدل کوهستانی، سرد کوهستانی، خشک سرد، نیمه‌خشک و خشک دارد. این استان دارای ۱۴ شهرستان به نام‌های آزادشهر، آق‌قلا، گرگان، گنبدکاووس، بندرترکمن، گمیشان، رامیان، کردکوی، بندرگز، علی‌آباد، کتول، گالیکش، کلالة، مراوه‌تپه و مینودشت، ۲۷ بخش، ۳۳ شهر، ۶۰ دهستان و ۱۰۴۹ آبادی است.

گذشته‌نگر ۱۳ ساله، با ورودی TMPA، با آستانه سیل مشتق شده برای هر شبکه با استفاده از آمار ذخیره‌سازی سطح است. جریان، ذخیره‌سازی سطح آب، متغیرهای بارش در مسافت یک کیلومتر نیز محاسبه می‌شوند. علاوه بر این، آخرین نقشه‌های بارندگی و مجموعه‌ای از اطلاعات لحظه‌ای، یک روز گذشته، سه روز و هفت روز نمایش داده می‌شود [۱۹].

در پژوهش رجبی‌زاده و همکاران (۱۳۹۸ الف)، مروری مختصر بر سیلاب‌های اخیر ایران انجام شده و پس از شرح مشخصات و جانمایی حوضه آبخیز گرگان‌رود، سیل‌های استان گلستان در دو دهه اخیر بررسی شد. پس از شرح گزارش‌های مربوط به سیل ۱۳۹۷-۱۳۹۸ استان گلستان، دلایل وقوع آن طبق گزارش‌های موجود که توسط کارشناسان مطرح شده است، بررسی شد. در پایان، راه‌کارهایی جامع و متناسب با شرایط کشور و به‌ویژه استان گلستان ارائه شد. همچنین، برخی راه‌کارهای کشورهای پیشرفته در زمینه مدیریت و کنترل سیلاب شرح داده شد که می‌تواند در صورت توجه و سرمایه‌گذاری مناسب، به پیشرفت کشورمان در این زمینه کمک کند. ایجاد نوعی سامانه جامع فراقوه‌ای نظام‌نامه مدیریت و کنترل سیل، توجه هر چه بیشتر به اقدامات آبخیزداری و آبخوان‌داری و نیز توجه به اصول و مبانی مهندسی رودخانه‌زیستی، اجرای دقیق حد و حریم بستر و در صورت لزوم، بازنگری در قانون مربوط به آن به منظور افزایش حدود بستر، بازنگری و طراحی اصولی سازه‌های تقاطعی، بازسازی و احیای هر چه بیشتر مسیل‌ها، چالاب‌ها و تالاب‌های طبیعی و رفع تعدی و تجاوزها به آنها، احیای مراتع در بخش شمالی رودخانه گرگان‌رود با توجه به جغرافیای تاریخی آن، از جمله مهم‌ترین و ضروری‌ترین اقدامات برای پیشگیری و بهبود مدیریت و کنترل بهتر این مسئله است و با جلوگیری از تغییر شکل طبیعی حوضه‌های آبخیز و اقدامات غیر اصولی سازه‌ای، به مقابله بهتر با خسارت‌های سیل می‌پردازد [۲۰].

رجبی‌زاده و همکاران (۱۳۹۸ ب)، با بررسی سیل استان خوزستان طی سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ پس از بررسی جوانب مختلف آن، نشان دادند مشکل اصلی در تشدید سیل، عدم اعتماد و اطمینان دست‌اندرکاران مدیریت سیل به پیش‌بینی‌ها و نتایج شبیه‌سازی‌های



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعه شده

منبع: نویسندگان مقاله

مأموریت Sentinel-2 شامل دو ماهواره توسعه یافته برای پایش پوشش گیاهی، پوشش زمین و نظارت بر محیط زیست است. ماهواره Sentinel-2A توسط ESA در تاریخ ۲۳ ژوئن ۲۰۱۵ راه اندازی می شود و در مداری خورشید آهنگ با یک دوره تکرار ۱۰ روزه عمل می کند. دومین ماهواره مشابه (Sentinel-2 B) در تاریخ هفتم مارس ۲۰۱۷ راه اندازی شد و با استفاده از داده های موجود در EarthExplorer مأموریت یافته است. این دو ماهواره هر پنج روز تمام سطح زمین، جزایر بزرگ و آب های ساحلی و سرزمینی را پوشش می دهند [۲۳].

سنجندگی چندطیفی MSI در سنتینل ۲ شامل ۱۳ باند طیفی می شود و قدرت تفکیک مکانی^۴ بسیار خوب معادل ۱۰ متر در باندهای ۲، ۳، ۴ و ۸ را دارد که برای تفکیک محصول کشاورزی مناسب است (جدول ۱). تصاویر استفاده شده از نظر پردازش در سطح دو و شامل تصحیحات رادیومتریک و هندسی و مقادیر بازتابش در سطح زمین (BOA) است.

نمونه های نقاط کنترل زمینی به شکل تصادفی و با پراکندگی تقریبی یکسان از سرتاسر محدوده مد نظر با بررسی محلی و ثبت مختصات جغرافیایی هر نمونه با استفاده از دستگاه های سیستم موقعیت یاب جهانی (Global positioning system) و در سیستم تصویر UTM و سطح مبنایی WGS 84 انجام گرفته تا برای ارزیابی نتایج، استفاده شوند.

در ناوگان Sentinel ماهواره ها به منظور ارائه اطلاعات زمین سنجی از راه دور با توجه به اهمیت آن در برنامه کوپرنیکوس کمیسیون اروپا، طراحی شد. مأموریت Sentinel-2 نتیجه همکاری نزدیک بین آژانس فضایی اروپا، اتحادیه اروپا، ارائه دهندگان خدمات و کاربران آن است. این مأموریت توسط یک کنسرسیوم متشکل از ۶۰ شرکت به رهبری سازمان فضانوردی ایرباس و توسط مرکز فضایی فرانسه^۲ برای بهینه سازی کیفیت تصویر و مرکز هوا فضای آلمان^۳ برای بهبود بازیابی اطلاعات با استفاده از ارتباطات نوری طراحی و ساخته شده است [۲۲].

4. Spatial Resolution

1. European Space Agency (ESA)
2. The National Centre for Space Studies (CNES)
3. The German Aerospace Center

روش‌ها

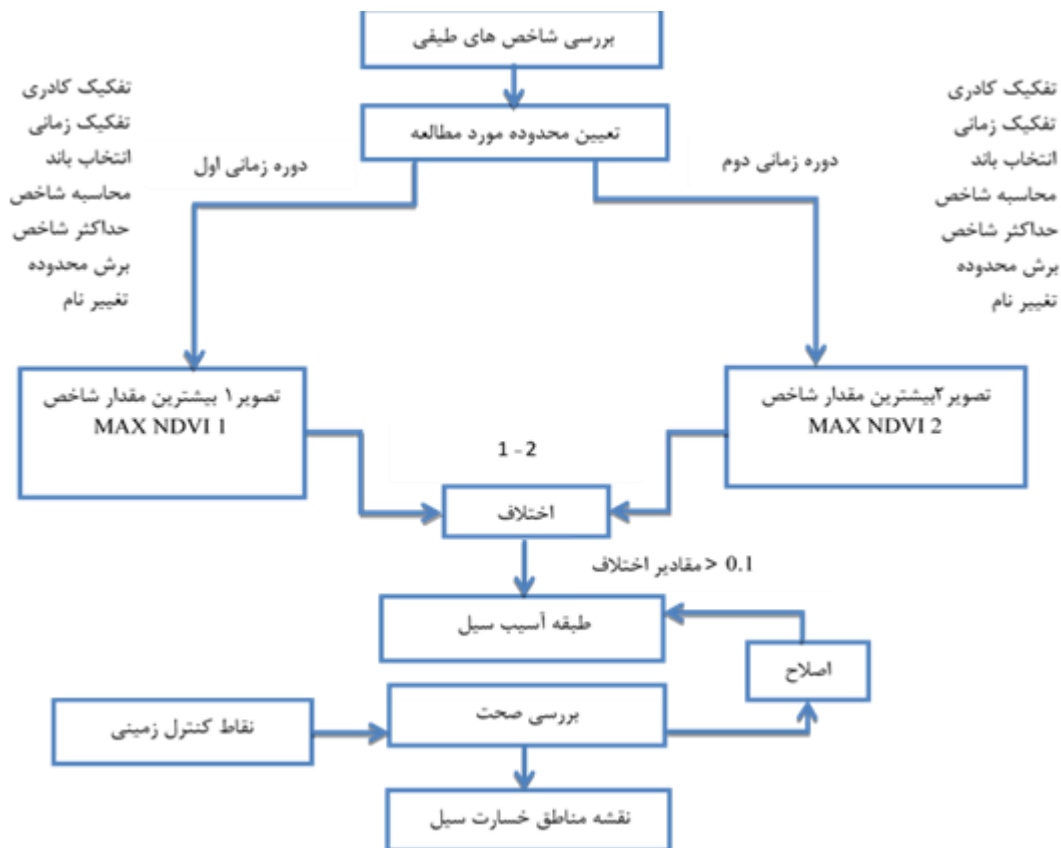
در پژوهش حاضر مراحل کار براساس شکل ۲ است. به این ترتیب، موزاییک تصویری متشکل از میانه (median) کلی انتخاب شده است. شاخص NDVI هر تصویر اپتیکال ماهواره سنتینل ۲ (تصاویر از تاریخ ۲۰۱۹/۳/۱ تا تاریخ ۲۰۱۹/۳/۱۵ به عنوان زمان اول و پیش از وقوع سیلاب (preevent) و تصاویر از تاریخ ۲۰۱۹/۳/۲۰ تا تاریخ ۲۰۱۹/۵/۲۰ به عنوان زمان دوم (event) در محدوده مطالعه شده) در Google Earth Engine به زبان برنامه‌نویسی جاوا و مطابق معادله ۱ محاسبه و در نهایت maximum همه آنها در دو موزاییک تصویر به ترتیب با عنوان MAX NDVI 1 و MAX NDVI 2 نام‌گذاری و تفاضل آنها (مطابق معادله ۲) محاسبه شد.

$$\text{Var getNDVI5} = \text{function(image) \{return image. ('B^{\wedge}Normalized Difference (['B$$
 (۱)

$$\text{Max NDVI 2} - = \text{Max NDVI 1 Difference} (۲)$$

جدول ۱. دقت مکانی و رادیومتریک سنجنده چندطیفی سنتینل ۲

شماره باند	طول موج مرکزی (نانومتر)	عرض باند (نانومتر)	دقت مکانی (متر)
۱	۴۴۳	۲۰	۶۰
۲	۴۹۰	۶۵	۱۰
۳	۵۶۰	۳۵	۱۰
۴	۶۶۵	۳۰	۱۰
۵	۷۰۵	۱۵	۲۰
۶	۷۴۰	۱۵	۲۰
۷	۷۸۳	۲۰	۲۰
۸	۸۴۲	۱۱۵	۱۰
۸a	۸۶۵	۲۰	۲۰
۹	۹۴۵	۲۰	۶۰
۱۰	۱۳۷۵	۳۰	۶۰
۱۱	۱۶۱۰	۹۰	۲۰
۱۲	۲۱۹۰	۱۸۰	۲۰
TCI	RGB	ترکیبی	۱۰

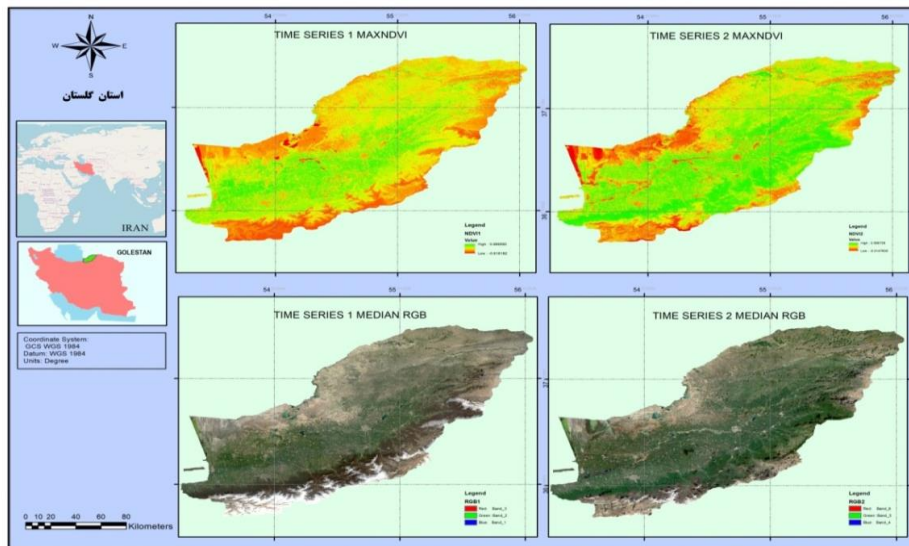


شکل ۲. الگوریتم تشخیص آسیب سیل

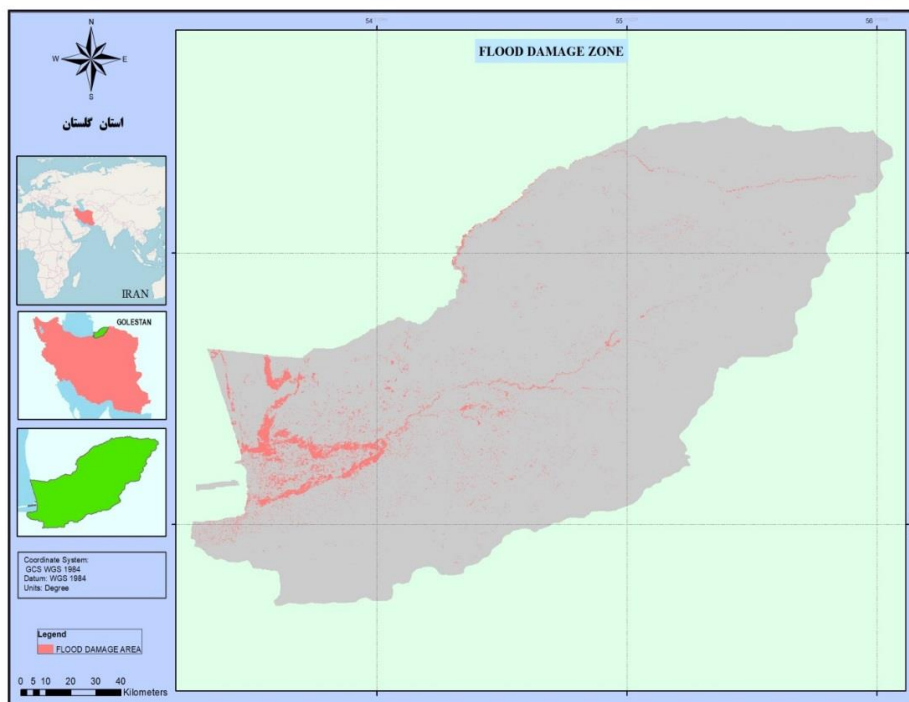
یافته‌ها

نتایج شکل ۲ موزاییک تصویر میانه ارزش تصاویر اپتیکال ماهواره سنتینل ۲ با ترکیب رنگ طبیعی بیشترین میزان مقادیر شاخص NDVI در زمان پیش و پس از خسارت سیلاب را در استان گلستان نشان می‌دهد (شکل ۳). با انجام محاسبات یادشده و طی مراحل روش تحقیق

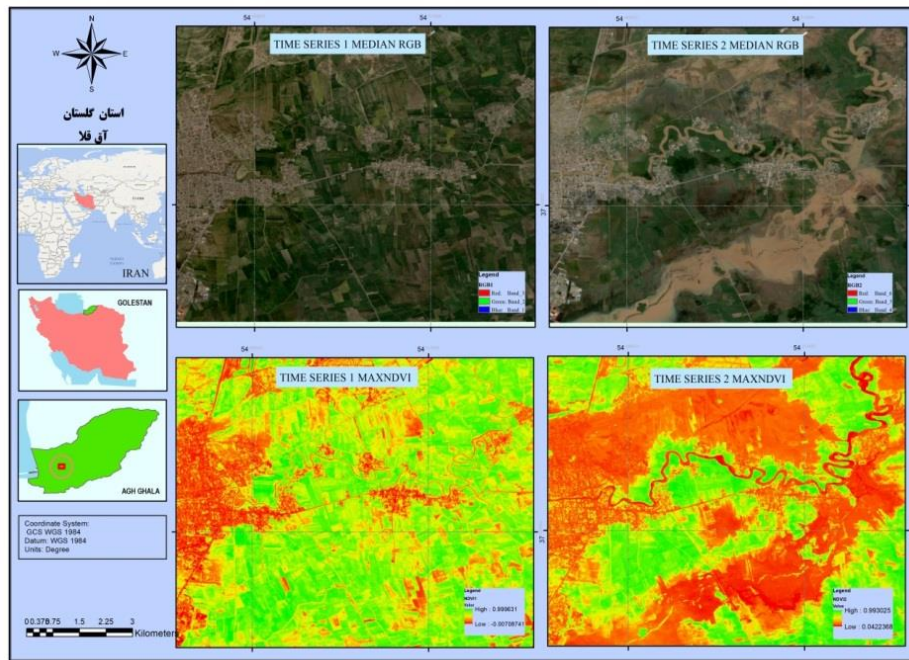
در نهایت، با استخراج نقشه تفاضل مقادیر NDVI و پس از بررسی‌های میدانی نشان داده است که هر پیکسلی با مقدار مثبت ($0 < \text{value} < 2$) تحت تأثیر خسارت سیل بوده است. تصویر به‌وجودآمده از این الگوریتم در شکل ۴ ترسیم شده است. شکل‌های ۵ و ۶ مربوط به حومه شهر آق‌قلا بوده که با وضوح بیشتر نمایش داده شده است.



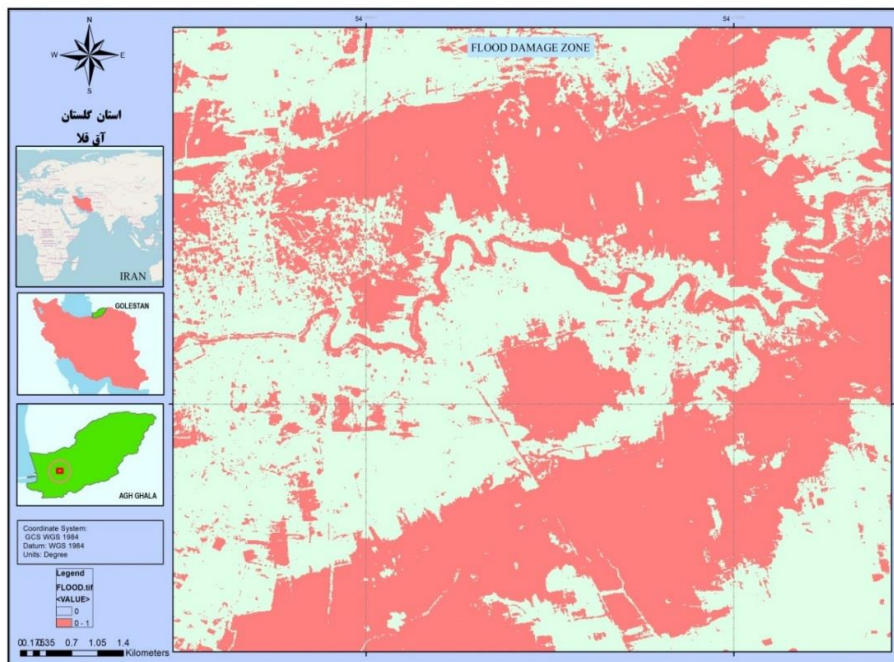
شکل ۳. دو تصویر قسمت بالا، حداکثر شاخص NDVI و در پایین، ترکیب رنگ طبیعی میانه مقادیر در دو دوره زمانی



شکل ۴. مناطق خسارت سیل با رنگ قرمز



شکل ۵. دو تصویر پایین، حداکثر NDVI و در بالا، ترکیب رنگ طبیعی میانه مقادیر در دو دوره زمانی حومه شهر آق قلا



شکل ۶. مناطق خسارت سیل (قرمز) حومه شهر آق قلا

دقت کلی ۹۳/۵ درصد (۵۷۳ از ۶۱۳ نمونه) و ضریب کاپای معادل ۰/۸۶ بیانگر دقت بسیار زیاد روش یادشده برای استخراج پهنه خسارت سیل از تصاویر سنتینل ۲ است (کلاس ۱ مناطق بدون خسارت و کلاس ۲ مناطق خسارت دیده است).

ماتریس صحت و ضریب کاپا^۱، دقت کاربر و دیگر ویژگی‌های راستی آزمایی با استفاده از نقاط کنترل زمینی (GCPs) برای هر دو طبقه (خسارت دیده و بدون خسارت) مطابق جدول‌های ۲ و ۳ محاسبه شده که نشان‌دهنده

1. Kappa Coefficient

جدول ۲. نتایج ارزیابی دقت

کلاس	صحت نتیجه (درصد)	صحت کاربر (درصد)	صحت نتیجه (پیکسل)	صحت کاربر (پیکسل)
کلاس ۱	۹۹	۸۳/۹	۱۹۸ از ۲۰۰	۱۹۸ از ۲۳۶
کلاس ۲	۹۰/۸	۹۹/۴۷	۴۱۳ از ۳۷۵	۳۷۵ از ۳۷۷

جدول ۳. ماتریس صحت

کلاس	واقعیت زمینی (درصد)			واقعیت زمینی (پیکسل)		
	۱	۲	جمع	۱	۲	جمع
طبقه بندی نشده	۰	۰	۰	۰	۰	۰
کلاس ۱	۹۹	۹/۲	۳۸/۵	۱۹۸	۳۸	۲۳۶
کلاس ۲	۱	۹۰/۸	۶۱/۵	۲	۳۷۵	۳۷۷
جمع	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۲۰۰	۴۱۳	۶۱۳

بحث و نتیجه گیری

برتری الگوریتم آسیب سیل نسبت به شاخص‌های مشابه نظیر شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI) و شاخص آسیب گیاهی بلایای طبیعی (DVIDI) که در پژوهش‌های پیشین (خدایی و همکاران، ۱۳۹۴؛ لیپینگ و همکاران، ۲۰۱۸؛ ساراه و همکاران، ۲۰۱۸) استفاده شده این است که هم‌زمان سادگی و سهولت محاسبه (که خود موجب کاهش خطا می‌شود) در ازای استفاده از حداقل و همچنین میانه NDVI می‌شود) در شاخص‌های VCI و DVIDI استفاده شده است از حداکثر مقادیر NDVI در دو دوره زمانی مقایسه شده، استفاده می‌کند که این امر خود موجب ایجاد تصویری فاقد تأثیر ابر می‌شود. در این الگوریتم در ازای استفاده از داده‌های ماهواره لندست با دقت مکانی ۳۰ متر، از داده‌های ماهواره سنیتل ۲ با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر استفاده شده است. همچنین، بدون استفاده از مدل‌های طبقه‌بندی که هر دو مورد یاد شده در پژوهش ایپکی و همکاران که در سال ۱۳۹۶ استفاده شده اعمال شده است. از طرفی، مقایسه پوشش گیاهی در زمان‌های بلافاصله پیش و پس از وقوع حادثه در ازای مقایسه با دوره مشابه وقوع حادثه در سال‌های طبیعی که در پژوهش شرس‌تها و همکاران استفاده شده است، موجب کاهش تأثیر آسیب‌های حاصل از سایر پدیده‌های طبیعی نظیر خشکسالی، سیلاب‌های دیگر، آتش‌سوزی و غیره می‌شود. برتری دیگر آن لحاظ نکردن در طبقه خسارت مناطقی است که پیش از وقوع سیلاب مد نظر، از پدیده‌ای دیگر نظیر طغیان رود (که در مواردی مدتی قبل از وقوع

سیلاب اصلی رخ می‌دهد) آسیب دیده باشند. نکته درخور توجه در الگوریتم پیشنهادی این است که تشخیص خسارت سیلاب در مناطق شهری بدون پوشش گیاهی نیز به وقوع پیوسته است. علت این امر این است که تقریباً در تمام مواقع وقوع سیل در محدوده مطالعه شده، سیلاب همراه با گل و لای و به بیان بهتر، خاک حاصل از فرسایش در مناطق بالادست است. در نتیجه، میزان افزایش خاک (گل و لای) در سطوح شهری پس از وقوع حادثه موجب افزایش مقادیر بازتابش در باند مادون قرمز و در نتیجه، کاهش مقادیر شاخص NDVI می‌شود که با تفاضل مقادیر طبق الگوریتم ارائه شده، سطوح خسارت دیده در مناطق شهری نیز آشکار می‌شود.

بر اساس یافته‌های پژوهش یاد شده با استفاده از داده‌های سنیتل ۲ و واقعیت‌های زمینی سیلاب استان گلستان، می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم آسیب سیل دقت مناسبی در تشخیص خسارت‌های سیل در محدوده زمانی و مکانی مطالعه شده دارد. بررسی و اصلاح شاخص ارائه شده در محدوده‌های مکانی و زمانی دیگر می‌تواند اساس پژوهش‌های بعدی باشد تا به یک جامعیت که از ویژگی‌های مهم یک الگوریتم است، دست یافت. در پژوهش‌های بعدی، این الگوریتم بررسی شده تا قابلیت انعطاف‌پذیری حاصل از داده‌های به دست آمده توسط سایر داده‌های ماهواره‌ای با ویژگی‌های طیفی و هندسی مشابه (برای مثال، داده‌های ماهواره لندست) و همچنین دیگر داده‌های دورسنجی، از جمله تصاویر SAR (مانند Sentinel-1) آزمایش شود.

منابع

- [1]. Jonkman SN. Global perspectives on loss of human life caused by floods. *Nat. Hazards Dordr. (Dordr)*. 2005; 34: 151–175.
- [2]. Leopold LB. *Hydrology for urban planning*. US Geological Survey, Washington, DC. (Available from: <http://eps.berkeley.edu/people/lunaleopold/>); 1968.
- [3]. Solaimani K. Flood hazard zonation in Mazandaran. Project final report, Mazandaran Management and planning Organisation; 2006. 430 p. [Persian]
- [4]. Hammer T.R. Stream channel enlargement due to urbanization. *Water Resources Research*. 1972; 8: 1530-1540.
- [5]. Schueler T. The importance of imperviousness watershed protection. 2nd int. conf. on urban drainage. 1994; 322-330.
- [6]. Paul MJ, Meyer JL. Streams in the urban landscape. *Annual review of ecology and systematic*. 2001; 333-365.
- [7]. Solaimani K. Hydrology and Quantitative Modeling of Urban Floods in GIS and SWM Environment. *Iranian Remote Sensing & GIS Association*; 2015. 322 p. [Persian].
- [8]. Boccardo P, Tonolo FG. Remote sensing role in emergency mapping for disaster response. In *Engineering Geology for Society and Territory- Volume 5*. Springer, Cham; 2015.p. 17-24.
- [9]. Giordan D, Notti D, Villa A, Zucca F, Calò F, Pepe A. Lowcost, multiscale and multi-sensor application for flooded area mapping. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci*. 2018; 1493–1516.
- [10]. Kumar R, Singh R, Gautam H, Pandey MK. Flood hazard assessment of August 20, 2016 floods in Satna District, Madhya Pradesh, India. *Remote Sens. Appl. Soc. Environ*. 2018; 11: 104–118.
- [11]. Schumann GJP. Preface: remote sensing in flood monitoring and management. *Remote Sens. (Basel)*. 2015; 7: 17013–17015.
- [12]. Rokni K, Ahmad A, Selamat A, Hazini S. Water feature extraction and change detection using multitemporal landsat imagery. *Remote Sens. (Basel)*. 2014; 6: 4173–4189. [Persian]
- [13]. Townsend PA, Walsh SJ. Modeling floodplain inundation using an integrated GIS with radar and optical remote sensing. *Geomorphology*. 1998; 21: 295-312.
- [14]. Ronald T, Eguchi RT, Huyck CK, Ghos S, Adams BJ. *The Application of Remote Sensing Technologies for Disaster Management*. The 14th World Conference on Earthquake Engineering October. 2008; 12-17
- [15]. Shrestha R, Di L, Yu G, Shao Y, Kang L, Zhang B. Detection of flood and its impact on crops using NDVI-Corn case. In *Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics)*. Second International Conference; 2013.p. 200-204.
- [16]. Elpki A, Rezai Y, Heydari Mozaffar M, Tarabzadeh Khorasani H. Evaluation and Survey of Surface Flood Changes Using Satellite Images (Case Study: Ilam Province). Hamedan Institute of Higher Education and Development. MA Thesis. 2016. [Persian].
- [17]. Liping Di, Eugene Yu, Shrestha R, Lin L. DVDI: A New Remotely Sensed Index for Measuring Vegetation Damage Caused by Natural Disasters. In *IGARSS 2018-2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*; 2018.p. 9067-9069.
- [18]. Sarah Di, Liying G, Lin L. Rapid Estimation of Flood Crop Loss by Using DVDI. 7th International Conference on Agro-geoinformatics (Agro-geoinformatics). Hangzhou, China. DOI: 10.1109/Agro-Geoinformatics; 2018.
- [19]. Wu H, Adler RF, Tian Y, Huffman GJ, Li H, Wang J. Real-time global flood estimation using satellite-based precipitation and a coupled land surface and routing model. *Water Resources Research*. 2014; 50(3): 2693-2717.
- [20]. Rajabizadeh Y, Ayyoubzadeh S.A, Zahiri A. Flood survey of Golestan province in 2017-2018 and providing solutions for its control and management in the future. *Iranian Journal of Ecohydrology*. 2019 (a); 6(4): 921-942. [Persian].
- [21]. Rajabizadeh Y, Ayyoubzadeh S.A, Ghomshi M. Investigation of floods in Khuzestan province during the water year 2018-2019 and providing solutions for its control and management in the future. *Iranian Journal of Ecohydrology*. 2019 (b); 6(4): 1069-1084. [Persian].
- [22]. Goffi A, Stroppiana D, Brivio PA, Bordogna G, Boschetti M. Towards an automated approach to map flooded areas from Sentinel-2 MSI data and soft integration of water spectral features. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2020; 84: 101951.
- [23]. www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-sentinel-2?qt=science+center+objects