



توسعه روش‌شناسی برآورد سیلاب مبتنی بر سنجش از دور در محیط گوگل ارث انجین

محمدحسین باقری هارونی^۱، محمدرضا فرزانه^{۲*}، بهزاد رایگانی^۳

۱- گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران و حمل و نقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

۲- گروه مهندسی محیط‌زیست و پایش آلاینده‌ها، پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران

۳- گروه ارزیابی مخاطرات، پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار، سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران

| نوع مقاله: | چکیده |
|--------------------|---|
| پژوهشی | <p>پیشینه و هدف: سیل به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین مخاطرات طبیعی در ایران خسارات گسترده‌ای را در مناطق مختلف به همراه داشته است. یکی از فن‌آوری‌هایی که در این زمینه می‌تواند دستاوردهای قابل توجهی را به همراه داشته باشد فن‌آوری سنجش از دور می‌باشد توانایی ارزیابی دقیق و به موقع سیل ابزاری مهم و ایمن جهت کاهش سیل و واکنش به این مخاطره می‌باشد. روش‌های متعددی برای نشان دادن خطرات مرتبط با سیل با استفاده از اندازه‌گیری‌های زمینی ایجاد شده‌اند. داده‌های سنجش از دور ماهواره‌ای برای ارزیابی سیل به دلیل قدرت تفکیک مکانی و ظرفیت آن‌ها برای ارائه اطلاعات برای مناطقی با دسترسی ضعیف یا فاقد اندازه‌گیری‌های زمینی استفاده شده‌اند. داده‌های ماهواره‌ای راداری و با وضوح بالا عمدتاً برای تجزیه و تحلیل فضایی پیکسل‌های آب مفید است. زمانی که داده‌های سیل (قبل و بعد از وقوع سیل) در دسترس باشد، می‌توان تغییرات پوشش زمین را طبقه‌بندی کرد و بنابراین مشخص کرد که کدام مناطق سیل‌زده هستند. از طرفی نیز توسعه ابزاری کاربردی برای تسهیل و تسریع پردازش تصاویر ماهواره نیز می‌تواند نقش کلیدی در پیشبرد و توسعه تحقیقات در این زمینه باشد.</p> |
| تاریخچه مقاله: | <p>موارد و روش‌ها: پژوهش حاضر به دنبال توسعه روش‌شناسی می‌باشد که با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل ۱ و با به‌کارگیری محصولات جهانی، خسارات ناشی از رویداد سیل را با رویکردی نوین برآورد کند این خسارات در دو واقعه سیلابی ۱۳۹۸ خوزستان و ۱۴۰۰ کنارک و چابهار مد نظر قرار گرفت. در این پژوهش به جز داده‌های ماهواره‌ای سنتینل ۱، جهت تعیین حد آستانه‌ها و تدقیق نتایج، از تصاویر ماهواره اپتیک از قبیل لندست ۸ نیز استفاده شده است. برای مناطقی که به دلایلی از قبیل مزاحمت ابر و یا عدم گذر ماهواره اپتیک و یا حتی عدم انطباق زمانی تصویر رادار و اپتیک، امکان استخراج و تدقیق حد آستانه بر اساس تصاویر اپتیک میسر نباشد؛ ایده استفاده از ترکیب رنگی حاصل از تصاویر بعد و قبل سیلاب به کار گرفته شد.</p> |
| دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۳ | |
| پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۰۸ | |
| کلمات کلیدی: | <p>نتایج: نتایج این پژوهش به توسعه ابزار کاربردی جهت برآورد خسارت سیل در محیط گوگل ارث انجین منجر گردیده است. نتایج پژوهش بیانگر این موضوع بود که با توجه به محدودیت‌های استفاده از تصاویر ماهواره نوری که غالباً در شرایط جوی بعد سیلاب و به دلیل مشکلات پوشش ابر، امکان استفاده از آن ایجاد مشکل می‌کند. لذا استفاده از ماهواره‌های راداری با ارائه ایده استفاده از ترکیب رنگی حاصل از تصاویر بعد و قبل سیلاب، می‌تواند به تنهایی نقش مؤثری در شناسایی پهنه سیلابی و متعاقباً برآورد خسارات حاصل از سیلاب داشته باشد. پیاده‌سازی روش ارائه شده در محیط گوگل ارث انجین به دلیل</p> |

سهولت در دسترسی به مجموعه تصاویر ماهواره‌ای و محصولات جهانی راهکاری مناسب در زمینه‌ی استخراج پهنه سیلابی و متعاقباً برآورد خسارات کشاورزی و مسکونی ناشی از سیلاب می‌باشد. بحث: اگرچه تلفیق اطلاعات ماهواره‌های راداری و نوری می‌تواند نقش مهمی در تدقیق حد آستانه‌ها و استخراج پهنه سیلابی ایفا کند. لیکن محدودیت‌های مربوط به تصاویر نوری از قبیل مزاحمت‌های پوشش ابری منجر به این شد که در این تحقیق روش شناسی مبتنی بر تصاویر راداری (بدون استفاده از تصاویر نوری) به کار گرفته و ارزیابی شود. از طرفی نیز مطابق با روش شناسی تحقیق، نیازی به تهیه و جمع‌آوری اطلاعات زمینی نبوده و محصولات جهانی در خصوص جمعیت و توزیع مکانی آن، پوشش زمین، پهنه‌های آبی دایمی و مدل رقومی ارتفاعی زمین، با دقت مکانی مناسب (کلیه اطلاعات با دقت مکانی کمتر از ۱۰۰ متر) به کار گرفته شده است. سهولت دسترسی سریع به تصاویر ماهواره‌ای پردازش شده و همچنین کدنویسی کلی و پردازش تصاویر و اجرای روش شناسی مدنظر در محیط ارث انجین از ویژگی‌های منحصر به فرد این مطالعه می‌باشد.

مقدمه

توسط گوگل معرفی شده و در این زمینه کارآمد می‌باشد (Gorelick *et al.*, 2017) این ابزار محیطی فراهم نموده که در آن غالب اطلاعات جهانی از قبیل بارندگی، دما، تبخیر-تعرق، جمعیت، کاربری زمین، رقوم ارتفاعی زمین به صورت پردازش شده و آماده، استفاده عموم است (Tamiminia *et al.*, 2020). در مطالعات مختلف، استفاده از داده‌ها مختلف به‌ویژه در ارزیابی سیل در مقیاس‌ها و موضوعات مختلف از جمله انتخاب داده‌های آموزشی مورد توجه قرار گرفته است (Tamiminia Huang *et al.*, 2018) این تحول می‌تواند بستر مناسبی جهت حل چالش ناکارآمدی مدل‌های عددی مرتبط با مدل‌سازی سیل باشد.

در این میان، حلقه مفقوده در مطالعات مربوط به سیلاب، ارزیابی خسارات وارده ناشی از آن در بازه زمانی کوتاهی پس از وقوع سیلاب در مناطق در معرض سیل می‌باشد. به نحوی که ارزیابی خسارات ناشی از سیلاب که یکی از ضروریات پس از سیلاب می‌باشد در کوتاه‌ترین زمان ممکن امکان‌پذیر باشد. در همین راستا به دلیل سهولت دسترسی به پایگاه‌های اطلاعاتی جهانی و امکان پردازش سریع و آسان تصاویر ماهواره‌ای، استفاده از محیط ارث انجین طی سنوات اخیر رشد قابل توجهی در بین محققین داشته است (Tamiminia *et al.*, 2020) و ماژول‌های مناسبی در حوزه علوم منابع طبیعی توسعه یافته است (Mhaweji & Faour, 2020).

سیل یکی از پرهزینه‌ترین مخاطرات طبیعی است که خسارات جانی و مالی گسترده‌ای را به میلیون‌ها نفر در سراسر جهان وارد می‌کند. گرمایش جهانی و به تبع آن پدیده تغییر اقلیم اثرات مختلفی از جمله ریسک سیل بویژه در مناطق آسیب‌پذیر را افزایش می‌دهد (Fakhri *et al.*, 2011, Fakhri *et al.*, 2014, Hirabayashi *et al.*, 2013, Nuri *et al.*, 2014, Abdolhosseini & Farzaneh *et al.*, 2014) نتایج استخراج شده از مدل‌هایی که به بررسی ریسک سیل می‌پردازد بیانگر ناتوانی این مدل‌ها در پیش‌بینی سیل می‌باشد (Wing *et al.*, 2018). بهره‌گیری از روش‌های مبتنی بر سنجش از دور در علوم مختلف مرتبط با منابع آب و به‌ویژه در سامانه‌های پایش مخاطرات طبیعی به‌طور فزاینده‌ای در مناطق سیل‌زده در حال ارتقا می‌باشد (Fazeli-Farsani *et al.*, 2015, Voigt *et al.*, 2016). با تحلیلی که از نظر فن‌آوری در دسترسی به داده‌های استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای رخ داد کاربران به آرشو داده‌ها به‌طور کامل دسترسی پیدا کرده و بدون نیاز به دانلود و ذخیره حجم زیادی از داده‌ها می‌توانند آنالیزهای تخصصی مورد نظر را اعمال نمایند. استفاده از این تصاویر ماهواره‌ای پردازش شده، محصولات آماده و همچنین افزایش سرعت محاسبات به‌خصوص برای پایش مخاطرات طبیعی مانند سیل به دلیل لزوم دسترسی سریع و به هنگام اطلاعات از ویژگی‌های منحصر به فرد این محیط می‌باشد (Ghaffarian *et al.*, 2020). در همین راستا گوگل ارث انجین پلتفرم محاسباتی است که

پهنه آبی دایم نسبت به ارزیابی خسارت وارده به زمین‌های کشاورزی و مسکونی اقدام شده است.

مواد و روش‌ها

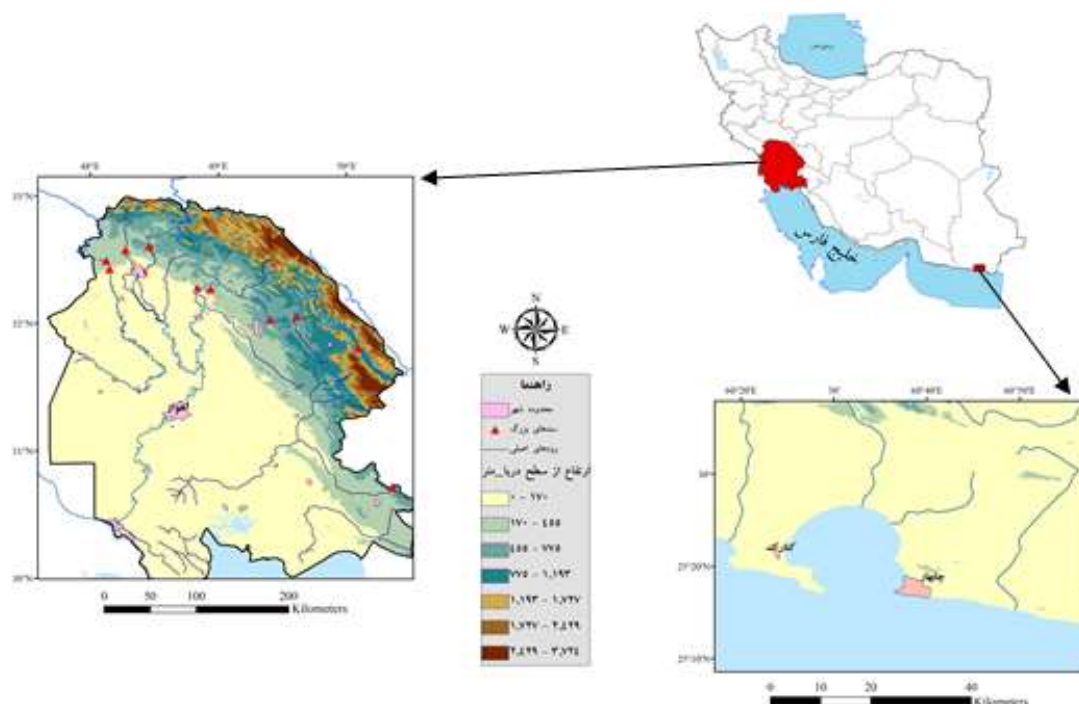
منطقه مطالعاتی

استان خوزستان در جنوب غرب ایران (عرض جغرافیایی ۳۰ تا ۳۳ درجه و طول جغرافیایی ۴۷/۷ تا ۵۰/۵ درجه) و با مساحتی معادل ۶۳۲۳۸ کیلومتر مربع واقع می‌باشد (شکل ۱) که بخش‌های عمده‌ای از حوزه آبخیز کرخه و کارون را شامل می‌شود. رودهای کارون، کرخه، دز، جراحی و اروند از ارتفاعات زاگرس سرچشمه گرفته و وارد این استان می‌شوند که آورد سالانه این رودخانه‌ها معادل ۳۰ درصد کل آورد رودخانه‌های کشور است (Moazami *et al.*, 2014) از نظر بارندگی نیز متوسط بارش سالانه در منطقه مطالعاتی ۳۵۸ میلی‌متر برآورد شده است (Rajabzadeh *et al.*, 2018) دیگر منطقه مطالعاتی در این تحقیق، شهرستان‌های کنارک و چابهار (استان سیستان و بلوچستان) می‌باشد که در این منطقه در دی ماه ۱۴۰۰ سیلاب گسترده‌ای به‌وقوع پیوسته است. شهرستان‌های چابهار و کنارک به ترتیب دارای متوسط بارش سالیانه به میزان ۱۰۵ و ۹۶/۶ میلی‌متر می‌باشند که در جنوبی‌ترین مناطق ایران واقع می‌باشند.

داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق تصاویر راداری سنتینل ۱ با قدرت مکانی ۱۰ متر، تصاویر سنتینل ۲ با قدرت مکانی ۱۰ و ۳۰ متر و تصاویر لندست ۸ با قدرت مکانی ۳۰ متر مجموعه اصلی داده‌های ماهواره‌ای راداری و اپتیکی بوده است. استفاده از محصولات جهانی نیز از دیگر داده‌های به‌کار رفته در این تحقیق بوده است که شامل داده‌های جهانی جمعیت با دقت مکانی ۹۳ متر، نقشه کاربری زمین با دقت مکانی ۱۰۰ متر، نقشه پهنه‌های دایمی آب با دقت مکانی ۳۰ متر و نقشه رقومی ارتفاع زمین با دقت مکانی ۳۰ متر بوده است. در جدول ۱ اطلاعات و مشخصات داده‌های استفاده شده ارائه شده است.

در همین راستا مطالعات و تجارب مختلفی در زمینه‌ی استفاده از ابزار ارث انجین با به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای در زمینه مطالعات سیلاب صورت گرفته است (DeVries *et al.*, 2020, Vanama & Rao, 2020, Liu *et al.*, 2018). اما تمرکز بر روی "ارزیابی خسارات" صرفاً به‌روی تعداد محدودی از مطالعات مورد توجه واقع شده است (Pourghasemi *et al.*, 2020; Bagheri & Farzaneh, 2021) استفاده از تلفیق اطلاعات راداری (سنتینل ۱) و لندست ۸ ضمن برآورد پهنه سیلابی با استفاده از محیط گوگل ارث انجین جهت برآورد خسارت وارده به استان خوزستان در سیلاب فروردین ماه ۱۳۹۸ نمونه‌ای از مطالعات مرتبط با موضوع می‌باشد (Bagheri & Farzaneh, 2021) که برای استخراج پهنه سیلابی از تصاویر لندست ۸ (Ounrit *et al.*, 2022) و شاخص NDWI (Narron *et al.*, 2022) به منظور تدقیق حد آستانه تفاضل تصاویر راداری قبل و بعد از سیلاب مورد استفاده قرار گرفت. از محدودیت‌های روش مورد استفاده در تحقیق مذکور، عدم امکان استفاده از تصاویر ماهواره اپتیک به دلایلی از قبیل مزاحمت ابر و یا عدم گذر ماهواره اپتیک در زمان سیلاب و یا حتی عدم انطباق زمانی تصویر رادار و اپتیک می‌باشد (Chen *et al.*, 2022) این معضل چالشی است که در غالب سیلاب‌ها و شرایط خاص جوی، برقرار است. از این رو ارائه روش‌شناسی صرفاً مبتنی بر تصاویر رادار بدون حضور تصاویر اپتیک که عموماً پوشش ابر تا چندین روز پس از سیلاب ایجاد مزاحمت دارد بسیار کارآمد است (Attia *et al.*, 2022). در این تحقیق با استفاده از اطلاعات ماهواره راداری سنتینل ۱، تلاش می‌گردد پهنه سیلابی مربوط به سیل ۱۳۹۸ استان خوزستان و سیل ۱۴۰۰ شهرستان‌های کنارک و چابهار استخراج گردد. در صورت وجود تصاویر اپتیک حد آستانه‌های تفاضل تصاویر راداری قبل و بعد از سیلاب استخراج و تدقیق می‌شود و در صورت عدم امکان استفاده از تصاویر اپتیک، با کمک تصویر با ترکیب باندی حاصل از تصاویر رادار بعد و قبل از سیلاب نیز آستانه‌های مناسب برای طبقه‌بندی تصاویر راداری انتخاب و سپس با به‌کارگیری اطلاعات جهانی تهیه شده در خصوص جمعیت، کاربری زمین، مدل رقومی ارتفاعی زمین و نقشه



شکل ۱- منطقه مطالعاتی

دوره زمانی اجرای روش شناسی تحقیق

یکی از نکات برجسته در استفاده از تصاویر راداری و روش تلفیق تصاویر قبل و بعد سیلاب، انتخاب زمان مناسب تصویر است. با توجه به دوره بازگشت ۶ روزه در تصاویر سنتینل ۱ و از طرفی نیز وقوع سه دوره سیلابی در منطقه مطالعاتی،

انتخاب این تصویر برای دوره زمانی مربوط به سیلاب اول با لحاظ تحقیقات قبلی (Dodange *et al.*, 2021) انتخاب شده است. سایر دوره های سیلاب (سیلاب دوم و سوم) در این تحقیق مد نظر قرار نگرفته است.

جدول ۱- داده های استفاده شده در تحقیق

| ردیف | داده | ماهواره / دیتابیس | نام مجموعه داده در گوگل ارث انجین | قدرت تفکیک مکانی (متر) |
|------|----------------------------------|---------------------------------|--|------------------------|
| ۱ | تصاویر راداری | سنتینل ۱ | ee.ImageCollection("COPERNICUS/S1_GRD") | ۱۰ |
| ۲ | تصاویر اپتیکی | لندست ۸ سنتینل ۲ سنتینل ۱ | ee.ImageCollection("LANDSAT/LC08/C01/T1_SR") ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2") ee.ImageCollection("ASTER/AST_L1T_003") | ۳۰ |
| ۳ | توزیع مکانی داده های جهانی جمعیت | دیتابیس جهانی | ee.ImageCollection("WorldPop/GP/100m/pop") | ۹۳ |
| ۴ | نقشه جهانی پوشش زمین | PROBA-V | ee.ImageCollection("COPERNICUS/Landcover/100m/Proba-V-C3/Global") | ۱۰۰ |
| ۵ | مدل رقومی ارتفاعی | ALOS ^۱ | ee.ImageCollection("JAXA/ALOS/AW3D30/V3_2") | ۳۰ |
| ۶ | نقشه پهنه های دایمی آب | بر اساس لندست | ee.Image("JRC/GSW1_0/GlobalSurfaceWater") | ۳۰ |

^۱ - Advanced Land Observing Satellite

جدول ۲- داده‌های استفاده شده در تحقیق

| منطقه مطالعاتی | دوره زمانی | تصویر | دوره زمانی |
|----------------|--------------|----------|------------|
| خوزستان | قبل از سیلاب | سنتینل ۱ | ۲۰۱۹-۰۳-۰۱ |
| | پس از سیلاب | لندست ۸ | ۲۰۱۹-۰۴-۱۲ |
| | | سنتینل ۱ | ۲۰۱۹-۰۴-۰۹ |
| چابهار-کنارک | قبل از سیلاب | سنتینل ۱ | ۲۰۲۱-۱۲-۰۱ |
| | پس از سیلاب | سنتینل ۱ | ۲۰۲۲-۰۱-۰۳ |

روش‌شناسی

تمامی مراحل این تحقیق در محیط گوگل ارث انجین پیاده‌سازی شده است^۲. هم‌چنین پیش پردازش‌های لازم بر روی تصاویر ماهواره‌ای راداری از قبیل حذف خطای نویز حرارتی، تصحیحات رادیومتریک، تصحیح هندسی که همواره از پیش نیازهای کار با این تصاویر است نیز در بانک اطلاعاتی موجود در محیط گوگل ارث انجین صورت گرفته است.

برای محاسبه‌ی به‌هنگام خسارت حاصل از سیلاب بر روی بخش کشاورزی و مسکونی، استخراج پهنه سیلاب اولین اقدام است (شکل ۲). با توجه به آن که عموماً مناطق سیلابی تحت پوشش ابر قرار دارند، استفاده از تصاویر ماهواره‌های غیرفعال ایپتیک از قبیل لندست جهت تعیین پهنه سیلاب کارآمد نمی‌باشند. از این رو تصاویر ماهواره‌ای راداری از قبیل ماهواره سنتینل ۱ که به دلیل ثبت امواج در محدود ماکروویو (باند C) امکان پایش کامل سطح زمین زیر پوشش ابر را دارد، ابزاری مناسب در این خصوص هستند. استفاده از تصاویر سنتینل ۱ برای قبل و بعد سیلاب و تهیه نقشه تغییرات این دو تصویر، از روش‌های مطرح در زمینه استخراج محدوده‌های سیلابی است (Dodange et al., 2021).

اعمال لایه‌های محدوده‌کننده به صورت بولین از قبیل حداکثر شیب ۵ درجه و پهنه‌های آبی دایمی (غیر سیلابی) برای این جداسازی استفاده شده است. با توجه به این که نقشه‌های حاصل از تصاویر غیرفعال از قبیل استر، لندست ۸ و سنتینل ۲ دقت مناسبی در استخراج پهنه‌های آبی دارند و لیکن از محدودیت‌های این تصاویر عدم پوشش کامل و مناسب منطقه سیلابی است (به دلیل پوشش ابر) لذا تلاش گردید برای منطقه کوچکی از منطقه مطالعاتی که تصاویر ماهواره‌ای ایپتیک فاقد ابر بود، بر اساس شاخص NDWI^۳، پهنه آبی استخراج و با

اعمال محدودیت مربوط به پهنه‌های آبی دایم، نقشه سیلابی این مناطق استخراج شود. بخش شمالی شهر اهواز (شکل ۶) جزء محدوده‌هایی بوده است که با بررسی تصاویر ماهواره‌ای ایپتیک از قبیل سنتینل ۲، استر و لندست ۸ مشخص شد که تصویر ماهواره لندست ۸ برای خوزستان و سنتینل ۲ برای چابهار-کنارک، فاقد پوشش ابر می‌باشد. جهت شناسایی اثر داغ‌آب سیلابی یا پیکره آبی ناشی از سیلاب بر روی تصاویر قبل و بعد از رویداد شاخص NDWI اعمال گردید و با اعمال یک آستانه مناسب پیکره آبی جدا شد. سپس با اعمال تابع بولین NOT بین دو تاریخ و اعمال مجدد آن برای پیکره آبی دائمی پهنه سیلابی بدست آمد. بر اساس نتایج بخش داده‌های ماهواره‌ای غیر فعال، با سعی و خطا و تطبیق خروجی‌های حاصل از تصاویر راداری و اعمال آستانه مناسب از تصویر تفاضل تاریخ قبل و بعد از سیلاب، نقشه مناطق سیلابی برای کل محدوده‌های مطالعاتی بر اساس تصاویر راداری استخراج گردید. بررسی اولیه خروجی سیلاب در چابهار-کنارک نشان داد به دلیلی عدم تطابق زمانی بین تصاویر رادار و ایپتیک، عملاً امکان استفاده از تصویر ماهواره سنتینل ۲ (علیرغم عدم مزاحمت ابر) وجود ندارد از طرفی نیز دیگر تصاویر ایپتیک (لندست ۸ و استر) نیز به دلیل مزاحمت ابر و هم‌چنین عدم گذر در زمان سیلاب قابل استفاده نبودند. موضوعی که غالباً در سیلاب‌ها به دلایل مذکور عمومیت داشته و استفاده از تصاویر ایپتیک را با محدودیت مواجه می‌کند. از این رو ایده استفاده از ترکیب رنگی تصاویر راداری سنتینل ۱ برای بعد و قبل سیلاب مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس این ترکیب نقاط دارای تغییرات زیاد در دو تصویر به رنگ آبی خود را نمایان می‌سازند (شکل ۶ سمت چپ).

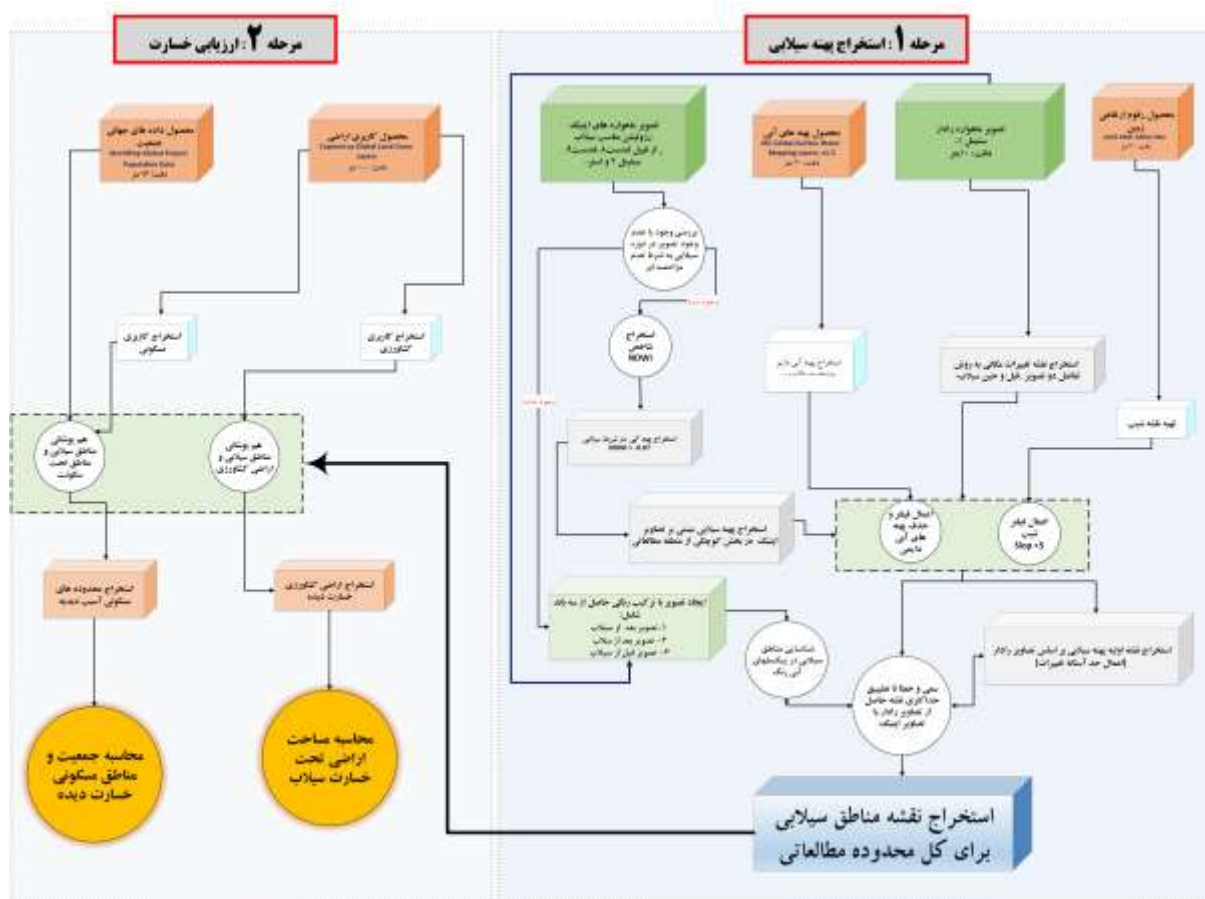
پس از استخراج نقشه مناطق سیلابی به‌منظور ارزیابی خسارات وارده به مناطق مسکونی و کشاورزی از محصولات تهیه شده در این خصوص استفاده و کاربری‌های کشاورزی و مسکونی از نقشه پوشش زمین متعلق به محصول خدمات جهانی زمین

^۲ صرفاً به منظور تهیه برخی از خروجی‌های از محیط نرم افزار ArcMap استفاده شده است.

^۳ Normalized Difference Water Index

بولین سطح زمین‌های کشاورزی و مسکونی آسیب دیده و بر اساس اعمال برش محدوده پهنه سیل و استفاده از تابع کاهنده سطح جمعیت آسیب دیده و مساحت آسیب بدست آمد.

پروژه کوپرنیک (CGLS) (مربوط به سال ۲۰۱۹) استخراج شد. برای جمعیت آسیب دیده از سیلاب نیز از محصول جهانی داده‌های انسانی و جمعیت با دقت ۹۳ متر مربوط به پروژه جهانی جمعیت زمین استفاده گردید. نهایتاً به کمک منطق



شکل ۲- دید کلی از روش شناسی تحقیق

دهنده پهنه آبی می‌باشد که در نقشه تفاضل این نقاط برجسته‌تر (شکل ۴) و به سیلاب مرتبط می‌باشد. با توجه به این که در زمان سیلاب به دلیلی تغییر کدورت برخی از مناطق پیکره آب دائمی از قبیل رودخانه، احتمال آشکارسازی این مناطق در نقشه تغییرات نیز وجود دارد لذا به عنوان یک فیلتر، پهنه سیلابی بر روی پهنه‌های آبی دائم حذف می‌گردد. برای اعمال پهنه آبی دائم از محصول جهانی^۴ تهیه شده در این خصوص استفاده گردید. این محصول بر اساس نقشه‌های لندست و بازه زمانی ۳۲ ساله انواع این ماهواره

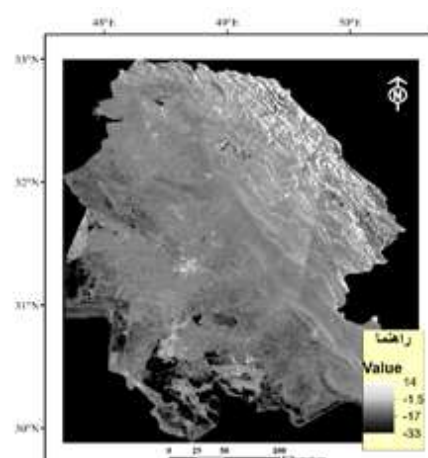
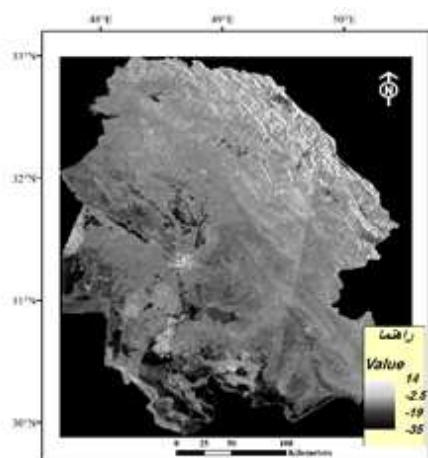
نتایج

همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد، ابتدا تصاویر سنتینل ۱ برای قبل و بعد از سیلاب‌های خوزستان و چابهار-کنارک مطابق بازه زمانی مندرج در جدول ۲ در محیط ارث انجین فراخوانی شد. به روش تفاضل بانندی و اعمال حد آستانه مناسب، تغییرات بین دو تصویر آشکارسازی گردید که با توجه به فاصله کم بین دو تصویر (قبل و بعد سیلاب) تغییرات دو تصویر معادل پهنه سیلابی محسوب شد. در شکل ۳ تصویر موزاییک شده برای قبل و بعد سیلاب به‌همراه تصویر تفاضل یافته دو تصویر نمایش داده شده است. نقاط متمایل به رنگ سیاه نشان

⁴ - RC Global Surface Water Mapping Layers, v1.3

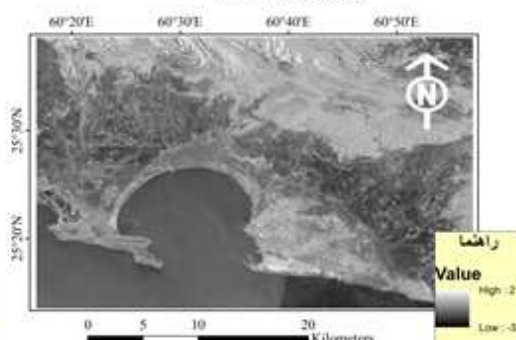
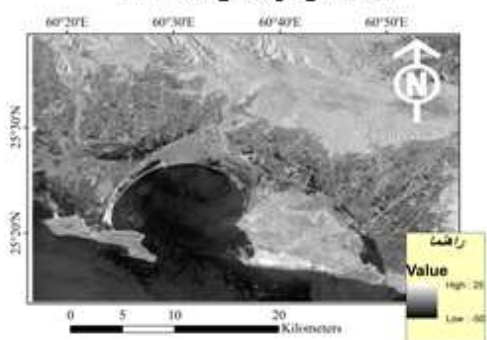
NDWI (مستخرج از تصاویر ماهواره لندست ۸) نیز برای تشخیص مناطق سیلابی تصویر اپتیک استفاده شد (شکل ۵).

استخراج شده است (Pekel *et al.*, 2016) که این محصول هر ساله به روز رسانی و هم‌اینک به‌هنگام می‌باشد. برای منطقه مطالعاتی خوزستان، حدآستانه -0.07 بر روی شاخص



الف) قبل از سیلاب خوزستان
(هفته اول فروردین ماه ۱۳۹۹)

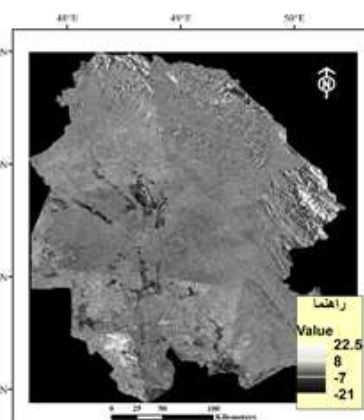
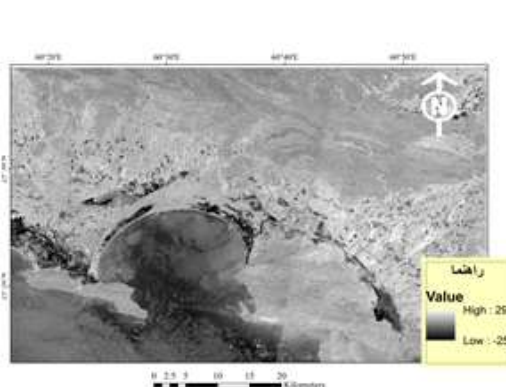
ب) بعد از سیلاب خوزستان
(هفته اول فروردین ماه ۱۳۹۹)



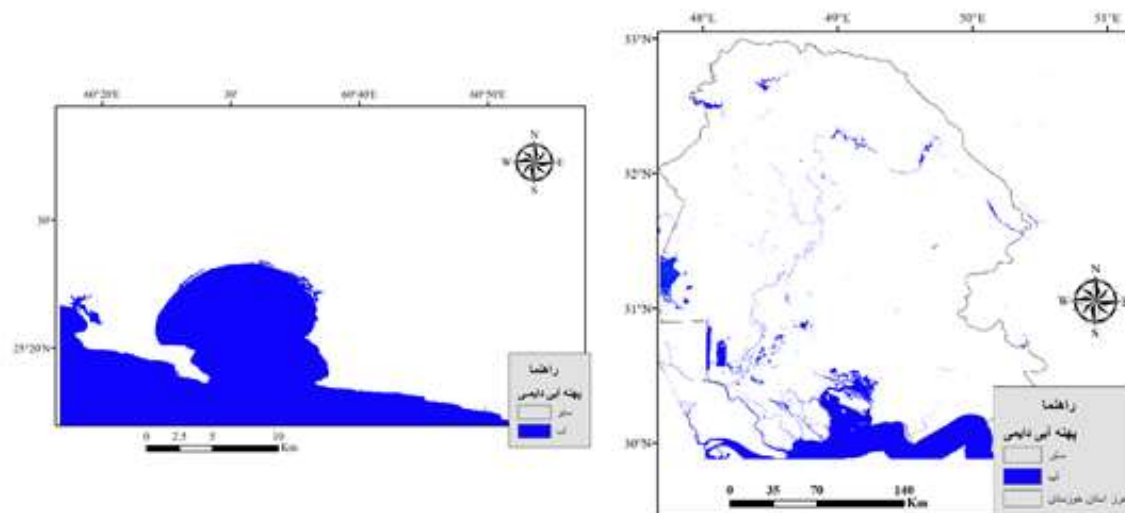
الف) قبل از سیلاب کنارک
(آذر ماه ۱۴۰۰)

ب) بعد از سیلاب کنارک
(دی ماه ۱۴۰۰)

شکل ۳- تصاویر موزاییک شده ماهواره سنتینل ۱ مربوط به زمان قبل و بعد از سیلاب برای سیل‌های خوزستان ۱۳۹۸ و چابهار-کنارک ۱۴۰۰



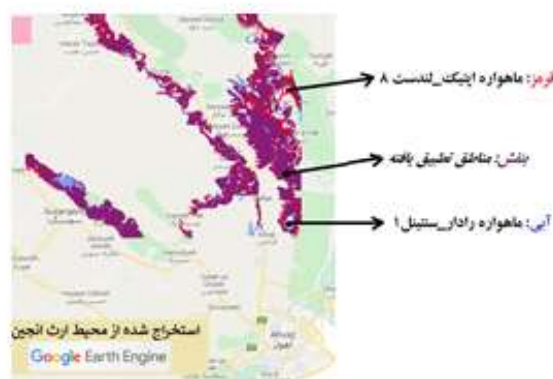
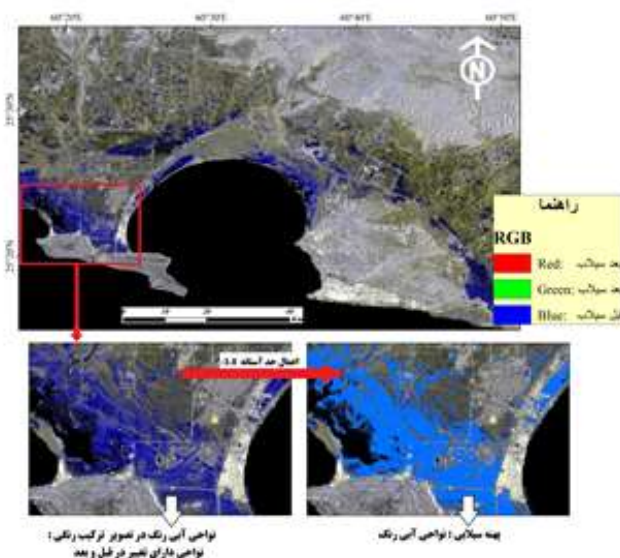
شکل ۴- تصویر محاسبه شده حاصل از تفاضل باندی اعمال شده بر روی تصاویر راداری قبل و بعد از سیلاب برای سیل‌های خوزستان (شکل سمت راست) ۱۳۹۸ و چابهار-کنارک ۱۴۰۰ (شکل سمت چپ)



شکل ۵- محصول پهنه آبی دائمی مستخرج از دوره زمانی لندست برای سیل خوزستان ۱۳۹۸ (شکل راست) و چابهار-کنارک ۱۴۰۰ (شکل سمت چپ)

تحقیق عدد $\frac{3}{8}$ - به عنوان بهترین حد آستانه انتخاب شده است. همان‌طور که قبلاً بیان شد برای سیلاب کنارک و چابهار، تصاویر اپتیک مناسب یافت نشد از این رو تلاش گردید از ترکیب رنگی تصاویر قبل و بعد سیلاب، مناطق دارای تغییر (به رنگ آبی) نمایان گردد. برای سیلاب کنارک و چابهار نیز حد آستانه $\frac{3}{8}$ - مناسب‌ترین نتیجه را با انطباق با تصاویر ترکیب رنگی مذکور ارائه نمود (شکل ۶).

با در دست داشتن نقشه پهنه‌های آبی دائمی و با اعمال حد آستانه مناسب بر روی نقشه تفاضل (شکل ۴) نقشه سیلابی حاصل می‌شود (شکل ۷). برای تعیین بهترین حد آستانه همان‌گونه که در شکل ۶ نیز قابل مشاهده است در سیلاب خوزستان، به دلیل در دسترس بودن تصویر ماهواره لندست ۸، تطابق خروجی‌های دو تصویر رادار و اپتیک مقایسه و سعی و خطا در جهت تطبیق مناسب‌تر صورت پذیرفته است. در این

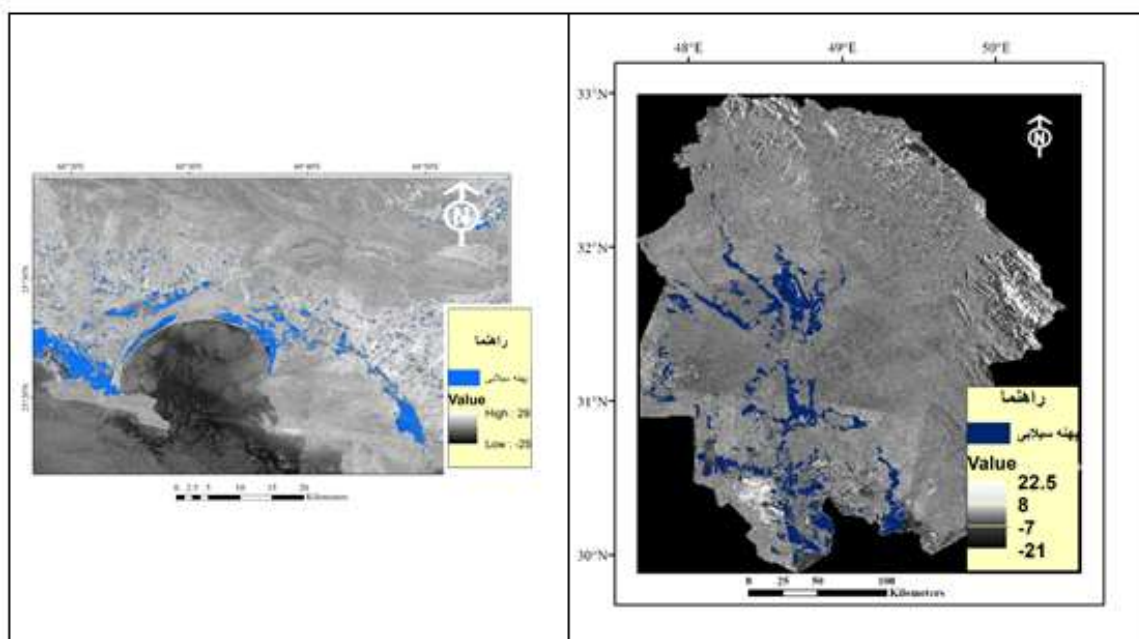


شکل ۶- تطابق برآورد پهنه سیلابی حاصل از تصاویر راداری با تصاویر اپتیک و تعیین حد آستانه مناسب برای سیل خوزستان ۱۳۹۸ (شکل سمت راست) و تطابق برآورد پهنه سیلابی حاصل از تصاویر راداری با تصاویر اپتیک و تعیین حد آستانه مناسب در سیل کنارک و چابهار ۱۴۰۰ (شکل سمت چپ)

در شکل ۶ (سمت راست)، نواحی با رنگ بنفش، مناطقی که با سعی و خطای مکرر حد آستانه مناسب تشخیص و بر اساس آن هر دو تصویر (اپتیک و رادار) در این نواحی تشخیص سیلاب داده شده است. نواحی قرمز رنگ، نواحی است که توسط تصویر اپتیک به عنوان سیلاب شناسایی شده اما توسط تصاویر راداری شناسایی نشده است. نواحی آبی رنگ نیز نواحی است که توسط تصویر راداری شناسایی اما توسط اپتیک شناسایی نشده است. در نهایت با تعیین بهترین حد آستانه و

اعمال آن برای کل محدوده مطالعاتی، نقشه سیلابی استخراج شد (شکل ۷). نواحی آبی رنگ شکل ۷ پهنه سیلابی با لحاظ پهنه آبی دائم را شامل می‌شود.

برای منطقه مطالعاتی چابهار-کنارک نیز در شکل ۶ (سمت چپ) ترکیب رنگی حاصل از تصاویر بعد و قبل سیلاب قابل ملاحظه است. اعمال آستانه $3/8$ - بر روی تصویر تفاضل، بهترین انطباق پهنه سیلابی را با نواحی آبی رنگ تصویر حاصل از ترکیب رنگی دارد.

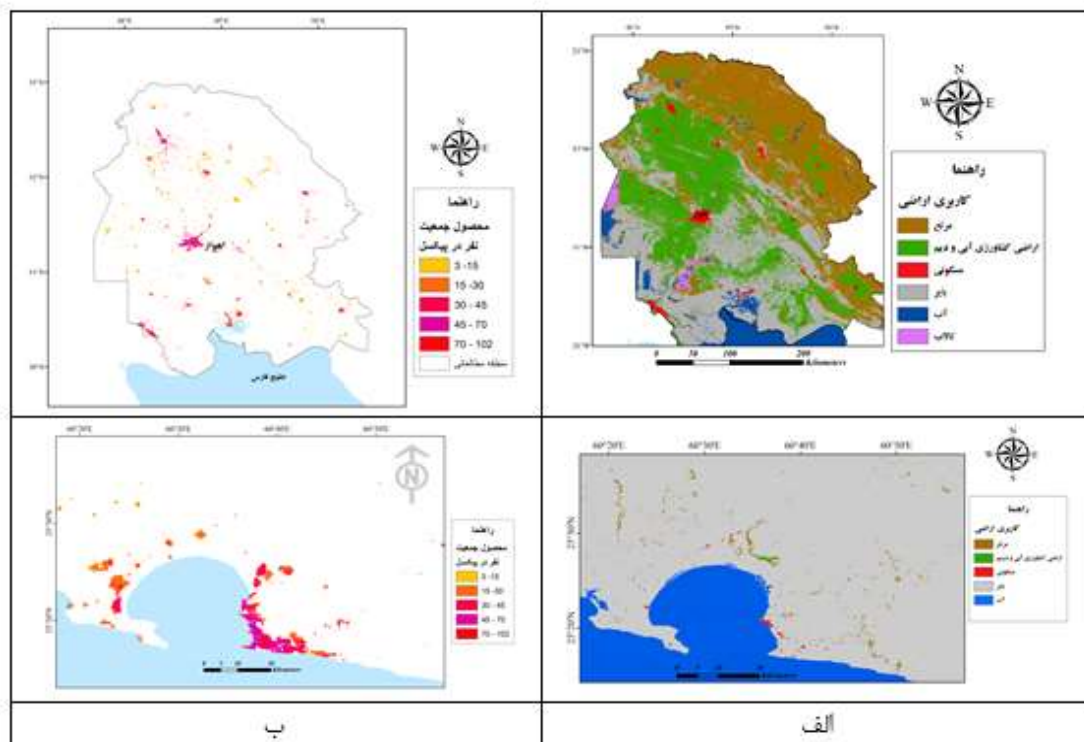


شکل ۷- نقشه مربوط به اعمال حد آستانه مقادیر کوچکتر از $(3/8)$ بر تصویر تفاضل راداری برای سیل خوزستان ۱۳۹۸ (شکل سمت راست) و سیل چابهار-کنارک ۱۴۰۰ (شکل سمت چپ)

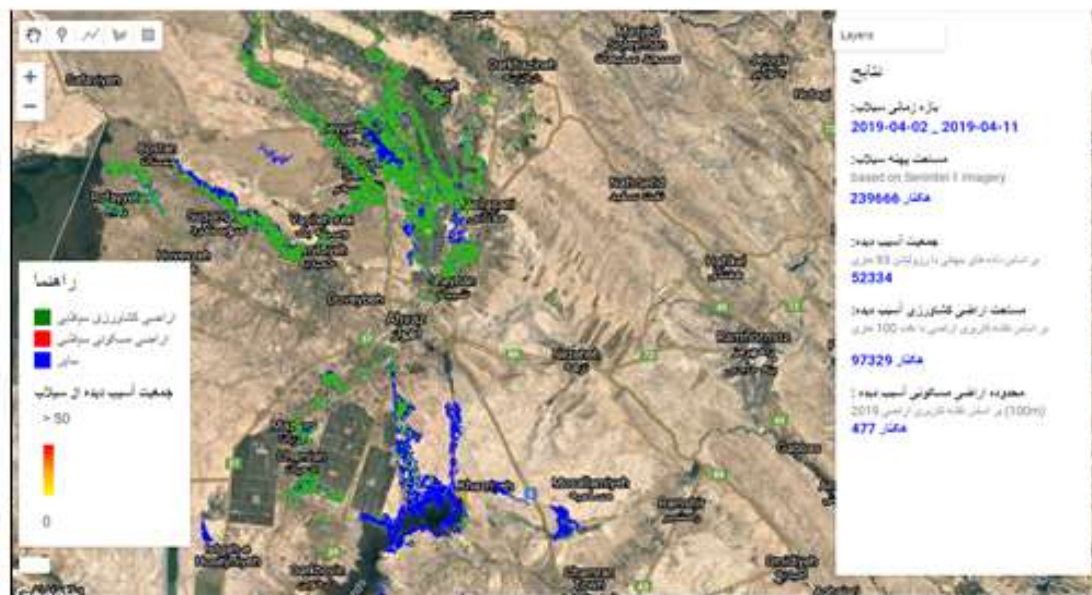
تعداد افراد آسیب دیده از سیلاب نیز محصول جهانی جمعیت با دقت مکانی مناسب (۹۳ متری) استفاده شد (شکل ۸-الف و ۸-ب). و نهایتاً جمعیت آسیب دیده و مساحت آسیب استخراج گردید.

مطابق شکل ۹ در محیط گوگل ارث انجین، ماژولی برای اجرای روش تحقیق، پیاده‌سازی گردید. نمای کاربری و خروجی حاصل از اجرای متدولوژی در شکل‌های ۹ و ۱۰ ارائه شده است.

به منظور ارزیابی خسارت سیلاب لازم است پس از استخراج پهنه سیلاب با استفاده از نقشه پوشش زمین، محدوده‌های کشاورزی و مسکونی استخراج و پهنه سیلابی بر روی این نواحی استخراج شود. بر همین اساس در محیط گوگل ارث انجین چندین بانک اطلاعاتی کاربری اراضی مورد ارزیابی اولیه قرار گرفت و در نهایت محصول پوشش زمین مستخرج از خدمات جهانی زمین پروژک کوپرنیک مورد استفاده قرار گرفت که در شکل ۸ (الف) ارائه شده است. از طرفی نیز جهت ارزیابی خسارت سیلاب بر روی مناطق مسکونی و تشخیص



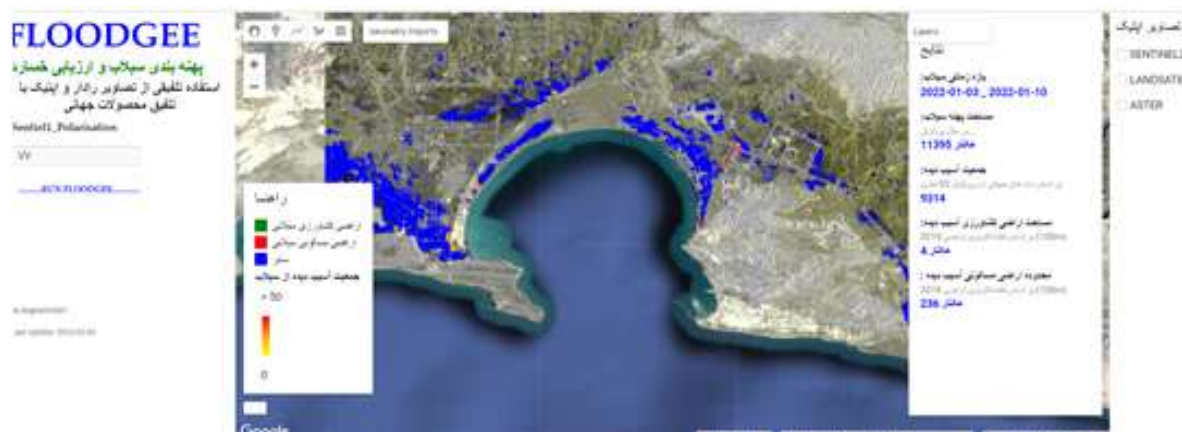
شکل ۸- الف) نقشه پوشش زمین مستخرج از محصول جهانی برای سال ۲۰۱۹ با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰ متری^۵ و ب) محصول جهانی جمعیت با قدرت تفکیک مکانی ۹۳ متری^۶ برای سیل خوزستان ۱۳۹۸ (شکل‌های بالا) و سیل چابهار-کنارک ۱۴۰۰ (شکل‌های پایین)



شکل ۹- محیط کاربری توسعه داده شده جهت اجرای متدولوژی تحقیق بر مبنای ماژول SEBALGEE و روش پیشنهادی <https://www.un-spider.org> برای سیل ۱۳۹۸ خوزستان

⁵ Copernicus Global Land Cover Layers: CGLS-LC100 Collection 3

⁶ WorldPop Global Project Population Data



شکل ۱۰- محیط کاربری توسعه داده شده جهت اجرای متدولوژی تحقیق برای سیل ۱۴۰۰ چابهار-کنارک

بحث

پس از رخداد سیلاب از جهتی خدمات‌رسانی و رسیدگی به مناطق سیل‌زده از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد و از سوی دیگر برآورد خسارات ناشی از سیل هرچقدر در زمان کوتاه‌تری صورت پذیرد خدمات‌رسانی نیز می‌تواند بهبود پیدا کند. عدم دسترسی به مناطق سیل‌زده یکی از معضلات اصلی در این زمینه می‌باشد بهره‌گیری از فن‌آوری سنجش از دور به‌ویژه استفاده از محیط‌هایی هم‌چون محیط نرم افزاری گوگل ارث انجین که دسترسی به داده‌ها را بدون نیاز به اختصاص زمان زیاد برای دانلود تصاویر امکان‌پذیر می‌کند این قابلیت را فراهم خواهد کرد تا ابزاری کاربردی جهت تشخیص پهنه سیلابی و سپس ارزیابی خسارت وارده به منازل مسکونی و اراضی کشاورزی توسعه یابد. لذا در این پژوهش تمرکز بر استفاده از تصاویر ماهواره راداری (سنیتل ۱) برای سیلاب فروردین ۱۳۹۸ خوزستان و ۱۴۰۰ چابهار-کنارک قرار گرفت تا روش‌شناسی ارائه شده را عملیاتی و ارزیابی کرد در کنار بکارگیری محصولات جهانی در خصوص جمعیت و توزیع مکانی آن، پوشش زمین، پهنه‌های آبی دائمی و مدل رقومی ارتفاعی زمین، با دقت مکانی مناسب (کلیه اطلاعات با دقت مکانی کمتر از ۱۰۰ متر) از اطلاعات مورد استفاده در این تحقیق بود. سهولت دسترسی سریع به تصاویر ماهواره‌ای پردازش شده و هم‌چنین کدنویسی کلی و پردازش تصاویر و اجرای روش‌شناسی مدنظر در محیط گوگل ارث انجین از ویژگی‌های منحصر به فرد این مطالعه می‌باشد.

همان‌گونه که در شکل‌های ۹ و ۱۰ قابل مشاهده است، پهنه سیلابی بر روی اراضی کشاورزی به صورت رنگ سبز و بر روی اراضی مسکونی با شدت زرد تا قرمز قابل مشاهده است. سایر مناطق سیلابی با کاربری غیرکشاورزی و غیرمسکونی نیز با رنگ آبی نمایان شده است. ابزار توسعه یافته در محیط ارث انجین حاصل از این مطالعه، به دلیل به روز بودن کلیه اطلاعات مورد نیاز در روش‌شناسی، بالاخص تصاویر راداری سنیتل ۱ برای مواقع سیلابی در سریع‌ترین زمان، بدون هیچ‌گونه اطلاعات فرعی دیگر (صرفاً متکی به پایگاه ارث انجین و تصاویر ماهواره و اطلاعات جهانی) قابل اجرا می‌باشد.

مساحت پهنه سیلاب با استفاده از روش اشاره شده در سیل خوزستان ۲۳۹۶۶۶ هکتار و در سیل چابهار-کنارک ۱۱۳۹۵ جمعیت آسیب‌دیده به ترتیب ۵۲۳۳۴ نفر و ۹۳۱۴ نفر، مساحت اراضی کشاورزی آسیب‌دیده ۹۷۳۲۹ هکتار و ۴ هکتار و محدوده اراضی مسکونی آسیب‌دیده ۴۷۷ و ۲۳۶ هکتار برآورد گردیده است. مقایسه پهنه سیلابی مستخرج از روش‌شناسی این تحقیق با اطلاعات خروجی سایر تحقیقات (Dodange et al., 2021; Soleimani et al., 2020; Rajabzadeh et al., 2018) نشان‌دهنده دقت مناسب آن می‌باشد. در خصوص بخش دوم تحقیق (ارزیابی خسارت) نیز هرچند اطلاعات ارائه شده از خسارات سیلابی در سطح رسانه‌ها و مقامات دولتی متغیر و بر اساس برآوردهای میدانی پس از سیلاب تخمین زده شده است اما در این خصوص نیاز به مطالعات تکمیلی جهت توسعه روش‌شناسی ارائه شده وجود دارد تا دقت برآورد خسارات نیز مورد واکاوی علمی قرار گیرد.

- land use classification algorithms using images fusion techniques (Case study: Beheshtabad Sub-basin). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 6(1), 91-106.
10. **Ghaffarian, S., Rezaie Farhadabad, A., & Kerle, N., 2020.** Post-disaster recovery monitoring with google earth engine. *Applied Sciences*, 10(13), 4574.
 11. **Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Iyushchenko, S., Thau, D., Moore, R., 2017.** Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sens. Environ.*
 12. **Hirabayashi, Y., Mahendran, R., Koirala, S., Konoshima, L., Yamazaki, D., Watanabe, S., Kim, H., Kanae, S., 2013.** Global flood risk under climate change. *Nat. Clim. Chang.* 3, 816–821.
 13. **Huang, W., DeVries, B., Huang, C., Jones, J., Lang, M., Creed, I., Carroll, M., 2018.** Automated extraction of surface water extent from Sentinel-1 data. *Remote Sens.* 10, 1–18.
 14. **Liu, C.C., Shieh, M.C., Ke, M.S. and Wang, K.H., 2018.** Flood prevention and emergency response system powered by Google Earth Engine. *Remote sensing*, 10(8), p.1283.
 15. **Mhaweji, M., & Faour, G., 2020.** Open-source Google Earth Engine 30-m evapotranspiration rates retrieval: The SEBALIGEE system. *Environmental Modelling & Software*, 133, 104845.
 16. **Moazami, S., Golian, S., Kavianpour, M. R., & Hong, Y., 2014.** Uncertainty analysis of bias from satellite rainfall estimates using copula method. *Atmospheric Research*, 137, 145-166.
 17. **Narron, C. R., O'Connell, J. L., Mishra, D. R., Cotten, D. L., Hawman, P. A., & Mao, L., 2022.** Flooding in Landsat across Tidal Systems (FLATS): An index for intermittent tidal filtering and frequency detection in salt marsh environments. *Ecological Indicators*, 141, 109045.
 18. **Nuri, A. Z., Farzaneh, M., & Espanayi, K., 2014.** Assessment of climatic parameters uncertainty under effect of different downscaling techniques. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 8(9), 838-225.
 19. **Ounrit, I., Sinnung, S., Meena, P., and Laosuwan, T. 2022.** FLASH FLOOD MAPPING BASED ON DATA FROM
- منابع**
1. **Abdolhosseini, M., & Farzaneh, M. R., 2014.** Investigation of internal uncertainty sources of change factor method in downscaling of climatic parameters of future period. *Intl J Agric Crop Sci*, 7(12), 941-949.
 2. **Attia, W., Ragab, D., Abdel-Hamid, A. M., Marghani, A. M., Elfadaly, A., & Lasaponara, R., 2022.** On the Use of Radar and Optical Satellite Imagery for the Monitoring of Flood Hazards on Heritage Sites in Southern Sinai, Egypt. *Sustainability*, 14(9), 5500.
 3. **Bagheri, M.H. and Farzaneh. M.R., 2021.** Timely estimation of flood damage using remote sensing in google earth engine (study area: 2020 Khuzestan flood). The 14th Comprehensive Conference on Flood Management and Engineering. Tehran.
 4. **Chen, T., Song, C., Zhan, P., Yao, J., Li, Y., & Zhu, J., 2022.** Remote sensing estimation of the flood storage capacity of basin-scale lakes and reservoirs at high spatial and temporal resolutions. *Science of the Total Environment*, 807, 150772.
 5. **DeVries, B., Huang, C., Armston, J., Huang, W., Jones, J.W. and Lang, M.W., 2020.** Rapid and robust monitoring of flood events using Sentinel-1 and Landsat data on the Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 240, p.111664.
 6. **Dodange, P., Ebadi, H., & Kayani, A., 2021.** Identification of flood areas with time series statistical calculations based on combining radar and optical data. *Ecohydrology*, 639-623, (3)8.
 7. **Fakhri, M., Farzaneh, M. R., Eslamian, S., & Hosseinipour, E. Z., 2011.** Uncertainty analysis of downscaled precipitation using LARS-WG statistical model in Shahrekord station, Iran. In *World Environmental and Water Resources Congress 2011: Bearing Knowledge for Sustainability* (pp. 4572-4578).
 8. **Fakhri, M., Farzaneh, M. R., Eslamian, S., & Khordadi, M. J., 2012.** Confidence interval assessment to estimate dry and wet spells under climate change in Shahrekord Station, Iran. *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(7), 911-8.
 9. **Fazeli Farsani, A., Ghazavi, R., & Farzaneh, M. R., 2015.** Investigation of

24. **Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, L., Adeli, S., & Brisco, B., 2020.** Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 164, 152-170.
25. **Vanama, V.S.K., Mandal, D. and Rao, Y.S., 2020.** GEE4FLOOD: rapid mapping of flood areas using temporal Sentinel-1 SAR images with Google Earth Engine cloud platform. *Journal of Applied Remote Sensing*, 14(3), p.034505.
26. **Voigt, S., Giulio-Tonolo, F., Lyons, J., Kučera, J., Jones, B., Schneiderhan, T., Platzeck, G., Kaku, K., Hazarika, M.K., Czaran, L., Li, S., Pedersen, W., James, G.K., Proy, C., Muthike, D.M., Bequignon, J., Guha-Sapir, D., 2016.** Global trends in satellite-based
27. **Wing, O.E.J., Bates, P.D., Smith, A.M., Sampson, C.C., Smith, K.A.J., P.M.; J.F.; O.E.J.W.; P.D.B.; C.C.S.; A.M., Fargione, J., Morefield, P., 2018.** Estimates of present and future flood risk in the conterminous United States. *Environ. Res. Lett.* 13, 034023.
- LANDSAT-8 SATELLITE AND WATER INDICES.
20. **Pekel, J.-F., Cottam, A., Gorelick, N., & Belward, A. S., 2016.** High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. *Nature*, 540(7633), 418-422.
21. **Pourghasemi, H.R., Amiri, M., Edalat, M., Ahrari, A.H., Panahi, M., Sadhasivam, N. and Lee, S., 2020.** Assessment of urban infrastructures exposed to flood using susceptibility map and Google Earth Engine. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 14, pp.1923-1937.
22. **Rajabzadeh, Y., Ayubzadeh, S. A., and Qomshi, M., 2018.** Investigating the flood of Khuzestan province during the water year 2017-2018 presenting its control and management solutions in the future. *Ecohydrology*, 6(4), 1069-1084.
23. **Soleimani, K., Darvishi, and Shadman, 2020.** Zoning and flood risk monitoring in spring 2018 in Khuzestan using Landsat-8 data. *Ecohydrology*. 662-647, (3)7.

Development of Remote Sensing-Based Flood Estimation Methodology in Google Earth Engine

Mohammad Hossein Bagheri¹, Mohammad Reza Farzaneh^{*2},
Behzad Rayegan³

1*- Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering and Transportation, Esfahan University, Iran

2- Research Group of Environmental Engineering and Pollution Monitoring, Research Center for Environment and Sustainable Development, RCESD, Department of Environment, Tehran, Islamic Republic of Iran

3- Research Group of Assessment and Environment Risks, Research Center for Environment and Sustainable Development, RCESD, Department of Environment, Tehran, Islamic Republic of Iran.

Abstract

Introduction: Flood is one of the main natural disasters in Iran, which has caused losses in different regions. The ability to produce accurate and timely flood assessments is an important safety tool for flood mitigation and response. Several methodologies have been developed to indicate the risks associated with flooding by using ground measurements. Satellite remote sensing data have been used for flood assessment because of their spatial resolution and capacity to provide information for areas of poor accessibility or lacking in ground measurements. High resolution satellite data is mainly useful for the spatial analysis of water pixels. When flood data (before and after of a flood event) are available, it is possible to classify land cover change, and thus identify which areas are flooded.

Materials and Methods: The present study developed a methodology that uses Sentinel 1 images and global products to assess the losses caused by a flood in the province of Khuzestan (2020) and Chabahar-Konarak (2021-2022). In this study, in addition to Sentinel 1 satellite data, Landsat 8 satellite images have been used. The results of this research have turned into the development of a flood application in the Google Earth Engine software.

Results: The results showed that the use of optically inactive images of this Landsat 8 or Sentinel 2 in cases where the cloud cover does not bother will increase the accuracy of the output. This issue is one of the specialization features in the conditions of uncertainty in determining the thresholds of changes in radar images. In the field of flood zone and subsequently estimation of losses from flood. Applying the method presented in the Google Earth Engine environment, due to the easy access to satellite images and global products, is a suitable solution for extracting the flood zone and subsequently estimating the agricultural and residential damages caused by floods.

Discussion: Combining the information of radar and optical satellites can play an important role in the accuracy of the thresholds and extracting the flood zone. The limitations related to optical images such as cloud cover disturbances led to the use and evaluation of methodology based on radar images (without the use of optical images) in this research. According to the research methodology, there is no need to prepare and collect land information and global products regarding the population and its spatial distribution, land cover, permanent water areas and the digital elevation model of the land, with appropriate spatial accuracy (all information with spatial accuracy less than 100 meters) has been used. Fast access to processed satellite images, as well as general coding and processing of images and the implementation of the considered methodology in the Earth-engine environment are the main advantages of this study.

Keywords: Natural Hazards, Flood, Satellite Imageries, Remote Sensing, Google Earth Engine.