

تهیه نقشه گسترش سیلاب با استفاده از تصاویر راداری سنتینل ۱. مطالعه موردی: سیل فروردین ۱۳۹۸، شهرستان پلدختر

وحید محمدنژاد آروق

استادیار دانشگاه ارومیه

تاریخ دریافت: ۹۹/۱/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۸/۱

چکیده

سیل یکی از مخاطرات محیطی شایع و گسترده در سطح جهان به شمار می‌رود. بسته به شدت بارندگی‌ها و سایر عوامل مؤثر در وقوع سیلاب، ممکن است موجب وارد آمدن خسارت‌های شدید جانی و مالی برای افراد درگیر با آن شود. در این پژوهش به بررسی تصاویری راداری سنتینل ۱ و کاربرد آنها در تهیه نقشه گسترش سیلاب در امتداد رودخانه کشکان، شهرستان پلدختر، پرداخته شده است. هدف پژوهش حاضر تولید نقشه‌ای است که از تصاویر راداری (SAR)، استخراج شده و محدوده گسترش سیلاب فروردین ۱۳۹۸ در شهرستان پلدختر را نشان می‌دهد. روش اصلی به کار گرفته شده در تحقیق حاضر، روش آستانه گذاری اتسو است و داده‌های اصلی پژوهش تصاویر ماهواره سنتینل یک قبل و بعد از وقوع سیلاب و همچنین تصاویر ماهواره سنتینل ۲ است. ابتدا پیش‌پردازش‌ها و تصحیحات لازم روی تصاویر مختلف صورت گرفت. پهنه رودخانه کشکان با استفاده از شاخص آبی NDWI استخراج گردید. این تصویر به عنوان تصویر مرجع استفاده شد، سپس تصاویر قبل و بعد از سیلاب با استفاده از روش آستانه‌گذاری اتسو تحلیل گردید و در نهایت محدوده سیلاب از طریق طبقه‌بندی تصاویر استخراج شد؛ به این منظور از نرم‌افزارهای SNAP و ArcGIS استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد در محدوده مورد مطالعه، ۷/۹۹ کیلومترمربع از اطراف رودخانه در اثر سیل فروردین ۱۳۹۸ به زیر آب رفته است؛ همچنین گسترش سیلاب در مسیرهای مماندیری رودخانه، نشان‌دهنده تغییرات ژئومورفولوژیک شدید این بخش‌هاست. پیشنهاد می‌شود با توجه شرایط رودخانه، از تجاوز به حریم رودخانه جلوگیری و عملیات بهسازی بستر آن به خصوص در محل مماندرها اقدام شود.

واژه‌های کلیدی: سیلاب، تصاویر رادار، سنتینل ۱، رودخانه کشکان، پلدختر

مقدمه

سیل یکی از مخاطرات محیطی شایع و گسترده در سطح جهان به شمار می‌رود. بسته به شدت بارندگی‌ها و سایر عوامل مؤثر در وقوع سیلاب، ممکن است موجب وارد آمدن خسارت‌های شدید جانی و مالی برای افراد درگیر با آن شود. این خسارت‌ها می‌تواند حوزه‌های اقتصادی، کشاورزی، اجتماعی و ... را تحت تأثیر قرار دهد (Revellino et al., 2019; Paul and Sharif, 2018). طبق مطالعات صورت گرفته در سطح جهان، بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۷

میلادی، بیش از ۲ میلیارد نفر به طور مستقیم یا غیر مستقیم تحت تأثیر سیل و اثرات آن قرار گرفته‌اند (WHO, 2020). قرار گرفتن در معرض سیل، خطر این مخاطره طبیعی را افزایش می‌دهد، بنابراین تهیه نقشه‌های مربوط به محدوده گسترش سیلاب‌ها و نواحی که تحت تأثیر آن قرار می‌گیرند، می‌تواند در برنامه‌ریزی توسعه و همچنین سیاست‌های مقابله با سیلاب بسیار مؤثر واقع شود (Ruzza et al, 2019: 8). از این‌رو نقشه‌های زمانی مناطقی که به هنگام سیل، زیر آب می‌روند، داده‌هایی را در اختیار تصمیم‌گیران قرار می‌دهند که به کمک آنها می‌توان عکس‌العمل‌های مناسبی را در مقابل سیل‌های

پوشش ابری وجود ندارد مناسب خواهند بود. برای حل مشکل وجود پوشش ابر می‌توان از تصاویر راداری^۱ استفاده کرد. از این داده‌ها می‌توان جهت بررسی سیلاب استفاده کرد. چراکه تصاویر راداری در هر شرایط آب و هوایی و هر لحظه از شبانه روز اطلاعات دقیقی را از شرایط سطح زمین در اختیار ما قرار داده (Matgen et al., 2007; Kussul et al., 2019) و همچنین دارای قدرت تفکیک مکانی مناسبی نیز هستند (Shen et al., 2019; Ban et al., 2015). با این وجود الگوریتم‌هایی که داده‌های مورد نیاز را از تصاویر SAR استخراج می‌کنند در مقایسه با سنسورهای اپتیکی طراحی پیچیده‌ای دارند و نیازمند دخالت نیروهای متخصص در این زمینه هستند. با افزایش دسترسی به داده‌های SAR و توسعه تکنیک‌های استخراج داده‌ها از آن انتظار می‌رود در آینده از این داده‌ها در سطح گسترده‌تری استفاده شود (Shen et al., 2019: 5).

ایران از جمله کشورهایی است که همه ساله در نقاط مختلف آن، سیلاب‌هایی با شدت متفاوت رخ می‌دهد. سیل سال‌های اخیر گلستان، خوزستان، پلدختر و سیستان و بلوچستان که سه مورد اخیر در سال ۱۳۹۸ روی داده‌اند مثال‌هایی از این نمونه به شمار می‌روند. با توجه به وقوع و اهمیت مطالعات سیلاب در سطح جهان و ایران، پژوهش‌های زیادی در این زمینه صورت گرفته است که اغلب به پهنه‌بندی خطر سیلاب و همچنین تاثیر کاربری‌های بر وقوع سیلاب استوار بوده و اغلب از تصاویر ماهواره ای اپتیکی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است (برای مثال: کیا و همکاران، ۱۳۹۹؛ تراهی و حسنی‌مقدم، ۱۳۹۸؛ موسوی و همکاران، ۱۳۹۷؛ شاه‌حسینی و همکاران، ۱۳۹۷؛ سلیمانی و همکاران، ۱۳۹۲؛ یوردخانی و همکاران، ۱۳۹۶؛ امیدوار و کیانفر، ۱۳۸۹؛ جهانبخشی و همکاران، ۱۳۹۵؛ خلیفی و همکاران، ۱۳۸۴؛ رضایی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۵؛ رجبی و همکاران، ۱۳۹۵؛ غفاری و امینی، ۱۳۸۹؛ قنوتی و همکاران، ۱۳۹۴؛ نگهبان و همکاران، ۱۳۹۵).

احتمالی آینده، به‌ویژه در مناطق شهری، نشان داد (Klemas, 2015: 1007)، اگر چنین نقشه‌هایی برای یک دوره زمانی طولانی تهیه شوند به محققان در زمینه ارزیابی خطر سیلاب، مدیریت بهداشت عمومی، حفاظت از تنوع زیستی، مدیریت آب و مدیریت شهری کمک فراوانی خواهد کرد (Eppink et al, 2004; Gessner, 2014; Moel et al., 2009; Viala, 2008). روش‌های متعددی برای پایش سیلاب وجود دارد. با این وجود می‌توان این روش‌ها را به دو بخش اصلی تقسیم کرد. گروه اول مبتنی بر روش‌ها و مدل‌سازی‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی است و گروه دوم بر پایه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استوار است (bates, 2004; Khan et al., 2011; Zeng et al., 2020). با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولوژیکی داده‌هایی در اختیار ما قرار می‌گیرد که به کمک آنها در لحظه وقوع سیلاب می‌توان آن را کنترل و خطرات آن را کاهش داد. البته این امر زمانی میسر می‌شود که مدل به خوبی کالیبره شده و قابلیت اجرا داشته باشد (Gleason et al., 2014: 9607). گروه دیگر روش‌های بررسی سیلاب، استفاده از داده‌های سنسور از دور است که با سرعت زیادی در حال رشد است. امروزه سنسورهای متعددی وجود دارد که با اهداف مختلفی به فضا پرتاب شده‌اند. تعدادی از این سنسورها اطلاعات لازم در مورد سطح زمین را در اختیار محققان قرار می‌دهند که با استفاده از آن می‌توان به مطالعه سیل پرداخت. برای مثال تصاویر ۲۵۰ متر مودیس و ۳۰ متر ماهواره لندست را می‌توان نام برد (Brakenridge and Anderson, 2006; Carrol et al., 2009)، اما باید به این نکته توجه داشت که یکی از ضعف‌های استفاده از داده‌های اپتیکی مذکور، وجود پوشش ابر در آسمان است. با توجه به این‌که قبل و هم‌زمان با وقوع سیلاب معمولاً پوشش ابری وسیعی در آسمان وجود دارد و این ابرها مانع از رسیدن امواج الکترومغناطیسی سطح زمین به سنسور می‌شود در نتیجه تصویری از سطح زمین تولید نخواهد شد و یا تصویر تولیدشده بسیار ناقص خواهد بود. بنابراین این تصاویر برای مواقعی که

1. Synthetic Aperture Radar: SAR

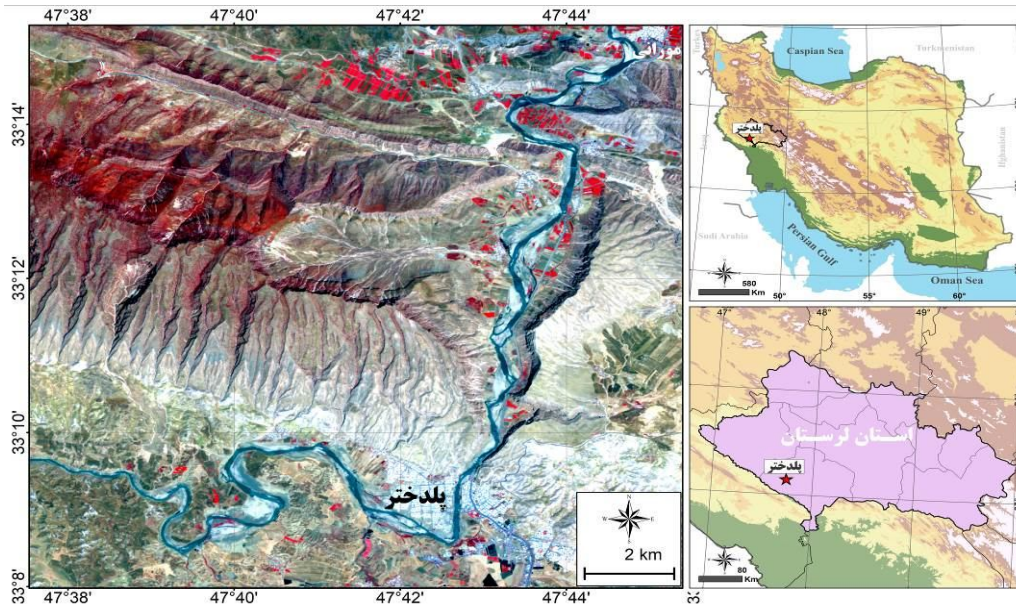
تا ۴۷ درجه ۴۵ دقیق طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). رودخانه کشکان از شهر پلدختر عبور می‌کند. حوضه آبریز کشکان با مساحت ۹۲۷۵ کیلومترمربع از سر شاخه های رودخانه کرخه محسوب می‌شود و در حدود یک سوم از خاک لرستان را در بر می‌گیرد (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲: ۷۵). متوسط بارندگی در منطقه ۳۲۷ میلی‌متر در سال و متوسط ارتفاع محدوده مورد مطالعه ۱۳۰۶ متر است.

در این پژوهش مسیری ۳۰/۸۸ کیلومتری از رودخانه کشکان در شمال و غرب شهر پلدختر به‌عنوان بخش مورد مطالعه انتخاب شده است. از روستای مورانی در شمال منطقه شروع شده و با جهت جنوبی پس از عبور از تاقدیس پلدختر، وارد این شهر شده و سپس جهت آن به سمت غرب تغییر مسیر می‌دهد (شکل ۱). به لحاظ سنگ‌شناسی، شمال و جنوب منطقه از آبرفت‌های عهد حاضر تشکیل شده است. انواع سنگ‌های آهکی و دولومیتی نیز در بخش‌های مرکزی منطقه مورد مطالعه قابل مشاهده است.

مطالعات دیگری در زمینه سیلاب با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی صورت گرفته است (Vishnu et al, 2019; Hermas et al, 2020; Akter et al, 2020; Xang et al, 2020; Feng et al, 2020; Grimaldi et al, 2020; Dasgupta et al, 20018). اکثر این محققان از روش‌های مختلف پردازش تصاویر ماهواره‌ای اپتیک و راداری به منظور مطالعه سیلاب در مناطق مختلف استفاده کرده‌اند. در این پژوهش با استفاده از تصاویر SAR ماهواره سنتینل ۱، نقشه حدود و گستره سیلاب فروردین سال ۱۳۹۸ در محدوده شهرستان پلدختر تهیه شده است.

محدوده و قلمرو پژوهش

منطقه مورد مطالعه بخش‌هایی از شهرستان پلدختر را شامل می‌شود که شهر پلدختر در جنوب آن قرار دارد. این محدوده بین ۳۳ درجه و ۷ دقیقه تا ۳۳ درجه ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه ۳۷ دقیقه



شکل ۱: محدوده مورد مطالعه

اطلاعات دقیقی از سطح زمین به ویژه محدودهای آبی، ارائه می‌دهند. پهنه‌های آبی در این تصاویر به رنگ تیره مشاهده می‌شوند. در حالی که سایر پهنه‌ها با توجه به زبری سطح خود انرژی زیادی از امواج رادار را

روش تحقیق

تصاویر SAR ماهواره سنتینل ۱: همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، مهم‌ترین ویژگی و مزیت تصاویر SAR این است که در هر شرایط آب و هوایی و شبانه روز

تعیین پهنه‌های سیلابی در رودخانه کشکان از تصاویر Sentinel 1A مربوط به قبل و بعد از وقوع سیلاب استفاده شده است (سایت سازمان فضایی اروپا)؛ همچنین از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ به منظور شناسایی بستر رودخانه و تفسیرهای بصری منطقه استفاده شده است. مشخصات تصاویر مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شده است.

به سمت سنجده ارسال می‌کنند. این شرایط موجب اختلاف شدید بین آب و خاک می‌شود (Vilches, 2013: 43). ماهواره سنتینل ۱ ترکیبی از دو ماهواره به نام‌های سنتینل A1 و B1 است که به ترتیب در سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۶ توسط آژانس فضایی اروپا به فضا پرتاب شده است. این ماهواره‌ها در باند C با پولاریزاسیون VH و VV تصویر تهیه کرده و دارای قدرت تفکیک مکانی ۲۰ متر می‌باشد. به منظور

جدول ۱: مشخصات تصاویر مورد استفاده

Sentinel 1A (SAR)					
Acquisition Date	Level 1. P	Mode	Orbit	Pixel spacing	Polarization
2019/03/28	GRD	IW	Descending	10*10	VV-VH
2019/04/03	GRD	IW	Descending	10*10	VV-VH
Sentinel 2A					
Acquisition Date	Used bands			Pixel size	Cloud cover (%)
2019/05/05	3+4+8+11			10 m	0

اعمال فیلتر نقطه‌ای^۲، است؛ همچنین به منظور تطبیق دقیق و پیکسل به پیکسل دو تصویر، هر یک از تصاویر به صورت جداگانه رجیستر شدند تا پیکسل‌های دو تصویر زمانی متفاوت به‌طور دقیق روی هم قرار بگیرند.

در مرحله بعد به منظور کاهش نویز داده‌های راداری از فیلتر لی^۳ با اندازه پنجره ۳*۳ استفاده شد. این فیلتر با اعمال بر روی سطوح همگن و حفظ لبه‌های عناصر تصویر، موجب حفظ ساختار تصویر می‌شود. در واقع در ارتباط با سیلاب با اعمال این فیلتر، الگوها و ساختار و مورفولوژی سیلاب مشخص می‌شود. در نهایت پس از اعمال این پردازش‌ها قادر هستیم تا چندین تصویر با زمان‌های متفاوت را باهم دسته‌بندی کنیم (Tsyganskaya et al., 2018: 2). پس از انجام مراحل فوق، ارزش رقومی^۴ پیکسل‌های هر یک از تصاویر، به ضرایب مقیاس دسیبل تبدیل شد (رابطه ۱).

$$R_{ref}^0 = \frac{\sigma_{ref}^0 \cos^2(\theta_{ref})}{\cos^2(\theta)} \quad \text{رابطه ۱:}$$

پیش پردازش تصاویر: تصاویر مربوط به منطقه مورد مطالعه از سایت آژانس فضایی اروپا برای قبل و بعد از وقوع سیلاب دانلود شد (https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home).

پیش پردازش‌های مورد نیاز برای تصاویر سنتینل ۱ و ۲ با استفاده از نرم‌افزار اسنپ صورت گرفت. این نرم‌افزار به صورت متن باز بوده و توسط آژانس فضایی اروپا طراحی شده است. تصحیحات رادیومتریکی، اتمسفری و توپوگرافیکی تصاویر سنتینل ۲ با استفاده از افزونه Sen2cor این نرم‌افزار صورت گرفت، همانطور که در جدول ۱ مشخص شده است، تصاویر SAR مورد استفاده برای استخراج پهنه‌های سیلابی از نوع سطح یک (IW) و پروداکت (GRD)، با پولاریزاسیون VV-VH است. تصاویر دریافتی وارد نرم افزار اسنپ^۱ شد و فرایند پیش پردازش روی آنها اعمال گردید. این فرایند به صورت اتوماتیک و با استفاده از افزونه‌های نرم‌افزار اجر شد که شامل کالیبراسیون رادیومتریکی تصاویر و تبدیل آنها به سیگمای صفر، تصحیحات ارتفاعی به روش Range Doppler و با استفاده از مدل‌های رقومی ارتفاعی و

2. Speckle Filtering
3. Lee filter
4. Digital Number

1. SNAP

این شاخص، تصحیحات رادیومتریک و اتمسفری با استفاده از نرم‌افزار SNAP بر روی تصویر انجام شد. در این روش با استفاده از باندهای سبز و مادون قرمز نزدیک تصویر سنتینل ۲ اقدام به استخراج رودخانه شد (شکل ۲ الف). مقادیر این شاخص بین ۱ و -۱ است که برای منطقه مورد مطالعه این مقدار بین ۰/۵۸ و -۰/۷۶ تعیین شد. مقدار آستانه اعمال شده بر روی تصویر NDWI نیز برابر با ۰/۱۳ است. با اعمال این آستانه، رودخانه از سایر پدیده‌ها به طور کامل تفکیک شد (شکل ۲ ب). سپس پهنه رودخانه‌ای استخراج شده با این روش به فرمت وکتور تبدیل شد. پهنه آبی با مساحت ۲/۰۹ و پهنه غیر آبی با مساحت ۱۶۶/۹ کیلومتر مربع به دست آمد.

با توجه به شکل ۲ مشخص است که رودخانه کشکان در مسیر خود دارای پیچ و خم‌های متعددی است. این شرایط به لحاظ ژئومورفولوژیکی می‌تواند در وقوع سیلاب و پخش آن در بخش‌های مائندری رودخانه مؤثر واقع شود. چرا که اغلب در این بخش از رودخانه سیلاب نمایان‌تر و خطرناک‌تر خواهد بود. بررسی‌ها این پژوهش نیز تا حدی زیادی این مطلب را تایید می‌کند که در مباحث بعدی به آن اشاره شده است.

شکل ۳ تصاویر سیگمای صفر ماهواره سنتینل ۱ برای قبل از سیلاب و بعد از آن را نشان می‌دهد. روی این تصاویر پیش پردازش‌های لازم انجام شده و نتیجه به صورت سیگمای صفر قابل مشاهده است. همانطور که مشاهده می‌شود در مسیر رودخانه کشکان بین دو تصویر الف (قبل از وقوع سیلاب) و ب (هنگام وقوع سیلاب)، اختلاف اساسی وجود دارد. این اختلاف را می‌توان در حوضچه‌های اطراف رودخانه نیز مشاهده کرد که قبل از سیلاب وجود نداشته‌اند و بعد تشکیل شده‌اند. در بخش‌های مختلف رودخانه به‌ویژه پس از شهر پلدختر، این تفاوت‌ها بیشتر آشکار می‌شود. علت این امر را می‌توان در مورفولوژی منطقه جستجو کرد. چراکه رودخانه در این بخش وارد دشت هموار با شیب بسیار پایینی می‌شود و این سبب پخش سیلاب به دشت سیلابی رودخانه شده است. در واقع اگر دو

در این رابطه، ضریب بازپخش نرمال شده، ضریب بازپخش اندازه‌گیری شده، زاویه برخورد موج در مرکز سنجنده و زاویه برخورد محلی بر اساس بیضوی مبنا است.

به‌منظور انجام پیش طبقه‌بندی تصاویر از روش‌های آستانه گذاری استفاده شده است. روش‌های آستانه‌گذاری به دلیل سادگی و انعطاف‌پذیری بالا، معمولاً در طبقه‌بندی نظارت نشده استفاده می‌شوند. جهت اعمال آستانه از روش اتسو^۱ استفاده شد. این روش پیکسل‌های آبی و بدون آب را به تصاویری تقسیم می‌کند که دارای هیستوگرام دو حالت هستند و اغلب برای تهیه نقشه سیلاب از تصاویر SAR توسط محققان دیگر استفاده شده است (Zeng et al., 2020; Huang et al., 2018a; Schlaffer et al., 2015; Schumann et al., 2010).

نقشه مناطق سیلاب زده: در این مرحله پهنه‌های آبی روی هر دو تصویر SAR استخراج شد. در نتیجه مناطقی که در اثر سیلاب به زیر آب رفته‌اند را می‌توان از طریق طبقه‌بندی آنها به پهنه‌های آبی و غیر آبی برآورد کرد. به این صورت که با طبقه‌بندی یک پیکسل به عنوان آب در تصویر زمان وقوع سیلاب و بدون آب در تصویر قبل از وقوع سیلاب، آن پیکسل به عنوان پیکسلی تعیین می‌شود که زیر آب رفته است؛ همچنین برای استخراج پهنه رودخانه در شرایط معمولی و استفاده از آن به عنوان تصویر مرجع از تصویر سنتینل ۲ همان منطقه استفاده شد. پهنه رودخانه کشکان با استفاده از شاخص اختلاف نرمال شده آب^۲، استخراج شد. در این شاخص از باندهای سبز و مادون قرمز نزدیک استفاده می‌شود (رابطه ۲).
رابطه ۲: $NDWI = (G - NIR) / (G + NIR)$

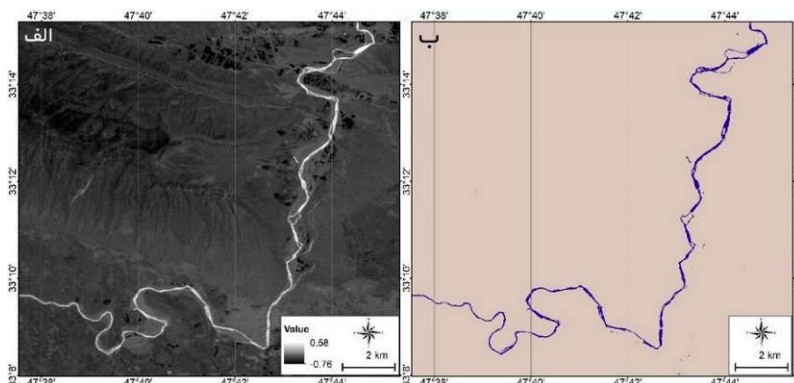
بحث اصلی

به منظور استخراج پهنه رودخانه کشکان و مقایسه آن با تصویر SAR قبل از سیلاب و تعیین دقت آن از شاخص NDWI استفاده شد. قبل از اعمال

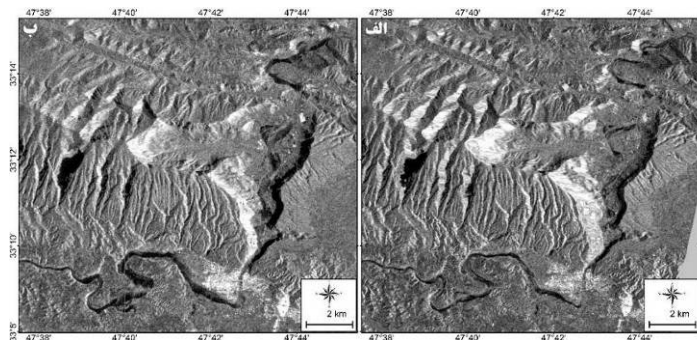
1. Otsu
2. NDWI

چشمگیری داشته است.

تصویر باهم دیگر مقایسه شود مشاهده می‌گردد که مساحت مناطق آبی (سیلابی)، در تصویر ب افزایش



شکل ۲: تصویر NDWI رودخانه کشکان (الف) و پهنه‌استخراج شده رودخانه کشکان به روش آستانه‌گذاری (ب)



شکل ۳: تصاویر سیگمای صفر قبل از سیلاب (الف) و بعد از سیلاب (ب)، تصاویر SAR سنتینل ۱

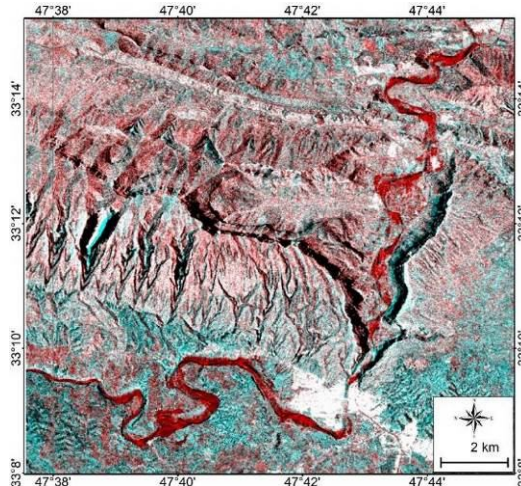
تصاویر مربوط دانست. فیلتر نقطه‌ای معمولاً سبب ترکیب پیکسل‌های آبی و خشک می‌شود و در نتیجه اختلاف بین این پیکسل‌ها را کاهش می‌دهد. با این وجود معمولاً بخش‌های مرکزی مناطق سیلابی کمتر تحت تاثیر قرار می‌گیرند و به خوبی اختلاف پیکسل-های آبی و خشکی را نشان می‌دهند.

پس از اعمال آستانه‌های اتسو روی دو تصویر SAR منطقه و جهت تحلیل راحت‌تر این تصاویر و مشخص کردن مناطق سیلابی هنگام وقوع سیل، دو تصویر با زمان‌های متفاوت با همدیگر به صورت یک لایه واحد ادغام شدند. این فرایند سبب می‌شود تا یک تفسیر بصری از پهنه‌های سیلابی به دست آید. پس از ادغام لایه‌ها، اقدام به ایجاد تصویری رنگی کاذب از آنها شد. با توجه به این که برای ایجاد تصویر رنگی

جهت طبقه‌بندی تصاویر SAR به پوشش‌های آبی و غیر آبی، از روش اتسو استفاده شد است. این روش آستانه‌گذاری بر روی هر دو تصویر قبل از وقوع سیلاب و هنگام وقوع سیلاب اعمال شد. در نتیجه این فرایند مناطقی که به زیر سیل رفته‌اند تا حد زیادی مشخص گردید. البته ذکر این مسئله در اینجا ضروریست که با اعمال آستانه و ترکیب دو تصویر سری زمانی علاوه بر مسیر رودخانه، پهنه‌های آبی دیگری نیز استخراج شدند که در اصل جزء مناطق سیل‌زده نیستند. این مناطق بیشتر پهنه‌های بسیار مرطوبی هستند که به هنگام بارندگی از آب پر شده و در نتیجه در استخراج پهنه‌های آبی خلل وارد می‌کنند. علت این امر را می‌توان در قدرت تفکیک نه چندان پایین تصاویر سنتینل ۱ و همچنین اعمال فیلتر نقطه‌ای روی

سیلاب و برای رنگ‌های آبی و سبز تصویر SAR قبل از وقوع سیلاب انتخاب گردید و یک تصویر رنگی کاذب تشکیل شد که به صورت بصری مناطق سیلابی را با رنگ مشخص (در اینجا قرمز)، نشان می‌دهد (شکل ۴).

کاذب ۳ باند در محدوده‌های طیفی مختلف لازم است ولی در این مطالعه فقط دو تصویر وجود داشت بنابراین مجبور شدیم برای دو طیف رنگی سبز و آبی از تصویر بعد از سیلاب استفاده کنیم؛ بنابراین تصویر رنگی کاذب برای رنگ قرمز، تصویر SAR هنگام



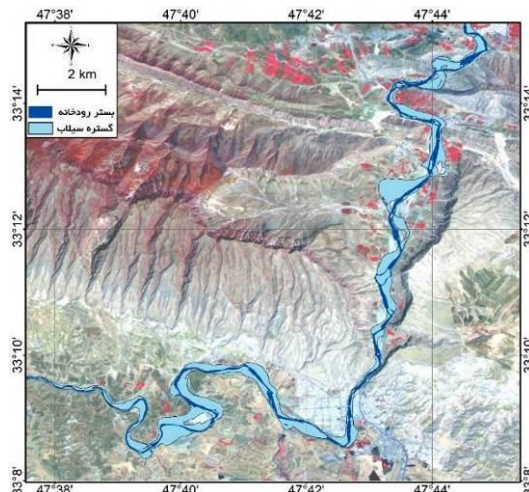
شکل ۴: ترکیب رنگی کاذب منطقه مورد مطالعه. با استفاده از ادغام دو تصویر و سپس تهیه تصویر رنگی کاذب از آنها محدوده سیلابی به صورت بصری قابل مشاهده است.

طبقه‌بندی آنها کرد؛ بنابراین در این مقاله از ترکیب رنگی کاذب استفاده شد. در نتیجه در طبقه‌بندی و به منظور اخذ نمونه‌ها از مناطق سیلابی، آن دسته از پیکسل‌هایی که ارزش محدوده قرمز آن ۲۵۵ یا نزدیک به آن بودن و ارزش محدوده سبز و آبی آنها صفر یا نزدیک به صفر بودند انتخاب شد. بدین صورت پیکسل‌هایی انتخاب شدند که تا حد بسیار زیادی پهنه‌های سیلابی را نشان می‌دهند. پس از نمونه برداری از پیکسل‌هایی که سیلاب را نشان می‌دهند، کل تصویر در محیط نرم‌افزار ArcGIS طبقه‌بندی گردید. نتیجه اینکه کل منطقه به پیکسل‌های آبی و غیر آبی طبقه‌بندی گردید. اما قبلاً نیز اشاره گردید که با توجه به وجود رطوبت زیاد در سایر نواحی و تشکیل حوضچه‌های بسیار کوچک در نتیجه بارش، نه تنها محدوده سیلابی بلکه پیکسل‌های دیگری نیز به عنوان محدوده سیلابی استخراج شدند. پس از این مرحله روی تصویر الگوریتم‌های پسا پردازش اعمال گردید (مانند Classification sieve)، تا پیکسل‌های مشابه

در نهایت پس از اعمال آستانه به روش اتسو روی تصاویر مختلف، اقدام به استخراج دقیق محدوده‌های تحت تاثیر سیلاب شد. بدین منظور از روش طبقه‌بندی نظارت شده پیکسل‌ها استفاده شد. طبقه‌بندی نظارت شده، روی تصویر ادغام شده (شکل ۴)، اعمال گردید. دلیل انتخاب این تصویر به عنوان تصویر مبنا جهت طبقه‌بندی و استخراج پهنه سیلابی این است که مبنای طبقه‌بندی ارزش پیکسل‌هاست. هر یک از پیکسل‌های تصویر دارای یک ارزش مخصوص و ویژه است. در تصویر ادغام شده ارزش‌ها بین ۰ - ۲۵۵ است که برای هر طیف رنگی ممکن است این اعداد متغیر باشد. یعنی ممکن است ارزش یک پیکسل در محدوده رنگ قرمز ۲۱۰، در محدوده سبز ۶۶ و در محدوده آبی ۵۰ باشد. با ایجاد ترکیب رنگی کاذب این امکان وجود دارد که بتوان پیکسل‌هایی که در محدوده رنگ قرمز دارای بیشترین ارزش و در سایر محدوده‌ها کمترین ارزش و حتی ارزش صفر را دارند از همدیگر تفکیک کرد و اقدام به

اصلاح شوند. سپس تصویر تصحیح شده به وکتور تبدیل گردید و پس انجام ویرایش‌هایی روی داده وکتوری، نقشه نهایی مناطقی سیلابی در امتداد رودخانه کشکان پلدختر استخراج شد (شکل ۵).

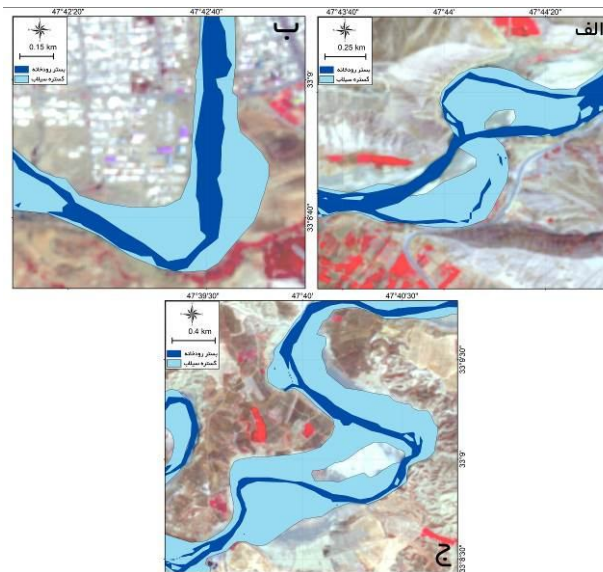
سیلاب که در واقع جزء سیلاب نبودند حذف شوند. با این روش برخی از خطاهای طبقه‌بندی رفع شد. فیلتر Majority نیز از جمله الگوریتم‌های پسا پردازش تصاویر است که روی داده‌های رستری اعمال گردید تا تک پیکسل‌هایی که اطراف آنها را آب فرا گرفته بود



شکل ۵: نقشه نهایی محدوده گسترش سیلاب رودخانه کشکان در فروردین ۱۳۹۸

با توجه به اینکه مئاندرهای رودخانه‌ای از مناطقی بسیار فعال و تغییرپذیر هستند (احمدزاده و همکاران، ۱۳۹۹: ۵۴)، و هر گونه افزایش یا کاهش نیروی آب در این بخش‌ها نسبت به بخش‌ها مستقیم به‌طور آشکاری منعکس می‌شود، در امتداد رودخانه کشکان نیز، در بخش‌های مئاندري هم سیلاب محدوده بیشتری را در بر گرفته و هم جابجایی بستر رودخانه صورت گرفته است. برای مثال در شمالی‌ترین بخش رودخانه و پس از روستای مورانی، سیلاب سبب از بین رفتن مسیر اصلی رودخانه و ایجاد یک مسیر جدید شده است. چنین تغییراتی را می‌توان در امتداد رودخانه و در بخش‌های دیگر آن نیز مشاهده کرد (شکل ۶).

به لحاظ ژئومورفولوژیکی ذکر این مسئله مهم است که اولاً سیلاب در دشت‌های باز که شیب نزدیک به صفر است امکان وقوع بالاتری دارد. با توجه به شکل ۵ مشخص است که این فرایند در منطقه مورد مطالعه نیز به خوبی قابل درک است. برای مثال حد گسترش سیلاب پس از شهر پلدختر که جهت رودخانه شرقی - غربی می‌شود، زیاد است. در بخش‌های شمالی منطقه نیز شرایط به این صورت قابل مشاهده است، اما با توجه به این که رودخانه در قبل از ورود به شهر پلدختر از یک دره باریک کلوز عبور می‌کند، سیلاب گسترش چندانی نداشته است؛ بنابراین اثر ژئومورفولوژی منطقه را می‌توان به خوبی در نحوه توسعه سیلاب مشاهده کرد. مورد دوم توسعه سیلاب در بخش‌های مئاندري رودخانه است. معمولاً



شکل ۶: گسترش سیلاب در بخش‌های مئاندری رودخانه. موقعیت هر بخش در شکل ۵ نشان داده شده است.

همچنین می‌توان بیان داشت که تعیین آستانه، جهت طبقه‌بندی منطقه به آبی و غیر آبی از طریق الگوی توزیع ضریب بازگشت امواج (روش اتسو)، می‌تواند در آستانه گذاری روی تصاویر راداری و استخراج پهنه‌های آبی بسیار مؤثر و دقیق باشد. از طرف دیگر نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تصاویر راداری قادر به نشان دادن پهنه‌های آبی در کمترین زمان ممکن و بدون هرگونه هزینه هستند. با توجه اینکه سیلاب به عنوان مخاطره طبیعی، همه ساله در نقاط مختلف کشور زندگی انسان‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد، برنامه ریزی دقیق و اصولی بر پایه روش‌های علمی و همچنین بر پایه مطالعه رفتار رودخانه‌ها و سیلاب‌های گذشته می‌تواند در بسیاری موارد از ایجاد هزینه‌های هنگفت بر دولت‌ها جلوگیری کند. به نحوی که با شناسایی پهنه‌های سیلابی، به مدیران اجرایی کمک می‌کند تا بتوانند بهترین تصمیمات را برای مقابله با سیل‌های احتمالی آینده اخذ کرده و از وارد آمدن خسارات جانی و مالی گسترده جلوگیری کنند.

تشکر و قدردانی

این پژوهش حامی و تأمین کننده مالی نداشته است.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

هدف این پژوهش تهیه نقشه محدوده گسترش سیلاب در امتداد رودخانه کشکان (پلدختر) با استفاده از تصاویر راداری (SAR)، ماهواره سنتینل ۱ است. با پردازش‌های صورت گرفته بر روی تصاویر راداری و تجزیه و تحلیل اطلاعات موجود در آنها نقشه گسترش سیلاب ناشی از سیل فروردین ۹۸ پلدختر استخراج شد. نتایج نشان می‌دهد که ۷/۹۹ کیلومتر مربع از اطراف رودخانه کشکان در اثر سیل فروردین ۹۸ به زیر آب رفته است. در حالی که در شرایط معمولی، مساحت پهنه آبی رودخانه در حدود ۲ کیلومترمربع می‌باشد؛ نتیجه این‌که استفاده از داده‌های راداری، محدودیت‌های زمانی و مکانی پژوهش و برآورد سیل را از بین می‌برد و ابزار مفیدی در این زمینه است، چراکه این تصاویر در هر شرایط آب و هوایی قابل استفاده می‌باشند؛ همچنین نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که با استفاده از تصاویر SAR ماهواره سنتینل ۱ با قدرت تفکیک ده متری که در فواصل زمانی چند روزه (بسته به عرض جغرافیایی)، از یک منطقه دو بار گذر می‌کند می‌توان جزئیات دقیق سیلاب‌ها را بررسی و حد گسترش آن را مشخص کرد تا در برنامه‌ریزی‌های آبی بتوان از آن استفاده کرد؛

منابع

۱. احمدزاده، مریم. هیوا علمی زاده و علی دادالهی. ۱۳۹۹. پیش‌بینی تغییرات هندسی پیچانرودهای رودخانه زهره، آمایش جغرافیایی فضا، سال دهم، شماره ۳۶، صص: ۵۳-۶۲.
۲. امیدوار، کمال. آمنه کیانفر. ۱۳۸۹. پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی رودخانه بالخوچای، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، شماره ۷۲، صص: ۷۳-۹۰.
۳. تراهی، علی‌اصغر. حسن سنی مقدم. ۱۳۹۸. تعیین گستره سیل با استفاده از داده‌های سنجنده OLI (مطالعه موردی: سیل سال ۱۳۹۵ دزفول)، مجله محیط زیست و مهندسی آب، شماره ۵، صص: ۲۴-۳۵.
۴. جهان‌بخشی، فرشید. احسان زاهدی و علی طالبی. ۱۳۹۵. مکان یابی مناطق مستعد پخش سیلاب با استفاده از منطق فازی و فرایند تحلیل شبکه‌ای ANO، مطالعه موردی دشت مشهد، نشریه علوم آب و خاک، شماره ۷۷، صص: ۱۸۵-۱۹۶.
۵. حسین‌زاده، محمدمهدی. سعیده بیرانوند و ایمن حسینی اصل و حسن صدوق. ۱۳۹۲. شبیه‌سازی سیلاب رودخانه کشکان، مجله سنجش از دور و GIS ایران، شماره ۱، صص: ۷۱-۸۴.
۶. خلیقی، شهرام. محمد مهدوی و بهرام ثقفیان. ۱۳۸۴. بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر سیل خیزی با استفاده از مدل NRCS، مطالعه موردی حوضه باراندوزچای آذربایجان غربی، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۴، صص: ۷۳۳-۷۴۲.
۷. رجبی، معصومه. حسن عایدی و شهرام لطفی و حسن بهادری. ۱۳۹۵. پهنه‌بندی سیل‌خیزی در حوضه آبریز آذرشهر چای با استفاده از مدل تحلیل شبکه ANP، دومین کنگره بین‌المللی علوم زمین و توسعه شهری، تبریز، شرکت کیان طرح دانش، پژوهشکده جهاد دانشگاهی واحد استان آذربایجان شرقی.
۸. سلیمانی، فرشاد. سعید سلطانی و خلای سلاجقه. ۱۳۹۲. انتخاب شاخص سیل‌خیزی مناسب با استفاده از مدل بارش - رواناب HES - HMS و تکنیک‌های GIS و RS (مطالعه موردی: حوضه سد جیرفت، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، شماره ۸، صص: ۹۰-۱۰۵).
۹. شاه‌حسینی، رضا. عبدالرضا صفری و سعید همایونی. ۱۳۹۷. پایش و برآورد خسارات ناشی از سیل به کمک آشکارسازی تغییرات شیگرا و تلفیق تصاویر راداری و
- نوری، نشریه علوم و فنون نقشه‌برداری، شماره ۱، صص: ۲۳۹-۲۵۷.
۱۰. غفاری، گلاره. امینی، عطاءاله. ۱۳۸۹. مدیریت سیلاب با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS مطالعه موردی قزل‌اوزون چای، شماره ۳۲، صص: ۱۳۴-۱۱۷.
۱۱. قنواتی، عزت‌اله. فریدون بابایی اقدم و طاهر همتی و مسعود رحیمی. ۱۳۹۴. پهنه بندی پتانسیل سیل با استفاده از مدل منطق فازی در محیط GIS مطالعه موردی خیابان چای مشکین شهر، شماره ۳، صص: ۱۳۵-۱۲۱.
۱۲. کاظمی، آفاق. محمدحسین رضایی مقدم و محمدرضا نیکجو و اسدالله حجازی و سعید خضری. ۱۳۹۵. پهنه‌بندی و مدیریت مخاطرات سیلاب در رودخانه سیمینه رود با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS، مدیریت مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق) شماره ۴، صص: ۳۷۹-۳۹۳.
۱۳. کیا، احمد. شهریار خالدی و غلامرضا جانباز. ۱۳۹۹. تعیین عوامل مؤثر در پتانسیل سیل خیزی مناطق همگن هیدرولوژیک. مطالعه موردی: حوضه‌های آبخیز سه هزار و دوهزار (چشمه کیله) تنکابن، آمایش جغرافیایی فضا، سال دهم، شماره ۳۸، صص: ۲۳۵-۲۵۸.
۱۴. موسوی، محمد. شهرام روستایی و هاشم رستم‌زاده. ۱۳۹۷. ارزیابی منطقه‌ای مخاطره سیل در مقیاس زیرحوضه با استفاده از سنجش از دور و مدل منطق فازی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز مرند)، مجله اکوهیدرولوژی، شماره ۳، صص: ۸۲۹-۸۴۱.
۱۵. نگهبان، سعید. سعیده معصومه موسوی و سعید رخشانی‌مقدم و سیدمحسن حسین‌زاده. ۱۳۹۵. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی با استفاده از منطق فازی TOPSIS در محیط GIS (مطالعه موردی حوضه آبخیز شهر باغملک)، شماره ۱۰، صص: ۹۸-۷۹.
۱۶. یوردخانی، محمد. سعید قره‌چلو و غلامرضا شوبیری. ۱۳۹۶. مدیریت سیلاب با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سامانه اطلاعات مکانی (مطالعه موردی: منطقه پاکدشت)، شانزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.
17. Akter, A., Tanim, A.H., and Islam, M.K. 2020. Possibilities of urban flood reduction through distributed-scale

27. Grimaldi, S., Xu, J., Li, Y., Pauwels, V.R., and Walker, J.P. 2020. Flood mapping under vegetation using single SAR acquisitions. *Remote Sensing of Environment*, 237, 111582.
28. Hermas, E., Gaber, A., and El Bastawesy, M. 2020. Application of remote sensing and GIS for assessing and proposing mitigation measures in flood-affected urban areas, Egypt. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*.
29. Huang, Q., Long, D., Du, M., Zeng, C., Qiao, G., Li, X., and Hong, Y. 2018a. Discharge estimation in high-mountain regions with improved methods using multisource remote sensing: A case study of the Upper Brahmaputra River. *Remote Sens. Environ.* 219: 115–134.
30. Khan, S.I., Hong, Y., Wang, J., Yilmaz, K.K., Gourley, J.J., Adler, R.F., and Irwin, D. 2011. Satellite remote sensing and hydrologic modeling for flood inundation mapping in Lake Victoria basin: Implications for hydrologic prediction in ungauged basins. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 49 (1): 85–95.
31. Klemas, V. 2015. Remote sensing of floods and flood-prone areas: an overview. *Journal of Coastal Research*, 31(4): 1005-1013.
32. Matgen, P., Schumann, G., Henry, J.B., Hoffmann, L. and Pfister, L. 2007. Integration of SAR-derived river inundation areas, high-precision topographic data and a river flow model toward near real-time flood management. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 9(3): 247-263.
33. Moel, H.D., Alphen, J.V., and Aerts, J.C.J.H. 2009. Flood maps in Europe-methods, availability and use. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 9, 289–301.
34. Ologunorisa, T.E., and Abawua, M.J. 2005. Flood risk assessment: A review. *J. Appl. Sci. Environ. Manag.* 9, 57–63.
35. Paul, S.H., and Sharif, H.O. 1960–2016. Analysis of Damage Caused by Hydrometeorological Disasters in Texas, *Res.* 31: 1005–1013.
36. Revellino, P., Guerriero, L., Mascellaro, N., Fiorillo, F., Grelle, G., Ruzza, G. and Guadagno, F.M. 2019. Multiple Effects of rainwater harvesting. *Water Science and Engineering*.
18. Ban, Y., Jacob, A. and Gamba, P. 2015. Spaceborne SAR data for global urban mapping at 30 m resolution using a robust urban extractor. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 103: 28-37.
19. Bates, P.D. 2004. Remote sensing and flood inundation modelling. *Hydrol. Process.* 18 (13): 2593–2597.
20. Brakenridge, R., and Anderson, E. 2006. MODIS-based flood detection, mapping and measurement: the potential for operational hydrological applications. In *Transboundary floods: reducing risks through flood management*. Springer, Dordrecht, pp. 1–12.
21. Carroll, M.L., Townshend, J.R., DiMiceli, C.M., Noojipady, P., Sohlberg, R.A. 2009. A new global raster water mask at 250 m resolution. *Int. J. Digit. Earth.* 2 (4), 291–308.
22. Dasgupta, A., Grimaldi, S., Ramsankaran, R.A.A.J., Pauwels, V.R., and Walker, J.P. 2018. Towards operational SAR-based flood mapping using neuro-fuzzy texture-based approaches. *Remote Sensing of Environment*, 215, 313-329.
23. Eppink, F.V., Van Den Bergh, J.C., and Rietveld, P. 2004. Modelling biodiversity and land use: Urban growth, agriculture and nature in a wetland area. *Ecol. Econ.* 51, 201–216.
24. Feng, Y., Brenner, C., and Sester, M. 2020. Flood severity mapping from Volunteered Geographic Information by interpreting water level from images containing people: a case study of Hurricane Harvey. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 169, 301-319.
25. Gessner, M.O., Hinkelmann, R., Nützman, G., Jekel, M., Singer, G., Lewandowski, J., Nehls, T., and Barjenbruch, M. 2014. Urban water interfaces. *J. Hydrol.* 514, 226–232.
26. Gleason, C.J., Smith, L.C., and Lee, J. 2014. Retrieval of river discharge solely from satellite imagery and at-many-stations hydraulic geometry: Sensitivity to river form and optimization parameters. *Water Resour. Res.* 50 (12): 9604–9619.

- temporary flooded vegetation using Sentinel-1 time series data. *Remote Sensing*, 10(8): 1-23.
42. Viala, E. 2008. Water for food, water for life a comprehensive assessment of water management in Agriculture. springer
43. Vilches, J.P. 2013. March. Detection of Areas Affected by Flooding River using SAR images. In Seminar: Master in Space Applications for Emergency Early Warning and Response (p. 40).
44. Vishnu, C.L., Sajinkumar, K.S., Oommen, T., Coffman, R.A., Thrivikramji, K.P., Rani, V.R., and Keerthy, S. 2019. Satellite-based assessment of the August 2018 flood in parts of Kerala, India. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10(1): 758-767.
45. Zhang, X., Fichot, C.G., Baracco, C., Guo, R., Neugebauer, S., Bengtsson, Z., ... and Fagherazzi, S. 2020. Determining the drivers of suspended sediment dynamics in tidal marsh-influenced estuaries using high-resolution ocean color remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 240: 111682.
- Intense Meteorological Events in the Benevento Province, Southern Italy. *Water*, 11(8): 1560.
37. Ruzza, G., Guerriero, L., Grelle, G., Guadagno, F.M. and Revellino, P. 2019. Multi-Method Tracking of Monsoon Floods Using Sentinel-1 Imagery. *Water*, 11(11): 1-17.
38. Schlaffer, S., Matgen, P., Hollaus, M. and Wagner, W. 2015. Flood detection from multi-temporal SAR data using harmonic analysis and change detection. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 38: 15-24.
39. Schumann, G., Di Baldassarre, G., Alsdorf, D., and Bates, P.D. 2010. Near real-time flood wave approximation on large rivers from space: application to the River Po. Italy. *Water Res. Res.* 46 (5).
40. Shen, X., Wang, D., Mao, K., Anagnostou, E. and Hong, Y. 2019. Inundation extent mapping by synthetic aperture radar: a review. *Remote Sensing*, 11(7): 1-17.
41. Tsyganskaya, V., Martinis, S., Marzahn, P. and Ludwig, R. 2018. Detection of