نشریه علمی سد و نیروگاه برق آبی ایران
سال دهم/ ویژه‌نامه مدیریت سیلاب/ تابستان ۱۴۰۲

Journal of Iranian Dam and Hydroelectric Power Plant
10th Year/ Special Issue on Flood Management/ September 2023

پایش خسارت سیلاب بر کاربری اراضی با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای راداری و اپتیکی

برات مجردی*[۱]
فرشته باقری[۲]
شادی مداح[۳]

چکیده

هدف این مقاله برآورد خسارات وارده، به کاربری‌های اراضی پس از وقوع سیلاب است که شامل سه گام شناسایی گستره سیلاب با تصاویر راداری Sentinel1، استفاده از تصویر اپتیکی Sentinel2 به منظور تولید نقشه کاربری اراضی و نهایتاً برآورد میزان خسارات در هر کاربری است. منطقه‌ی مطالعاتی در شمال شهر اهواز واقع در استان خوزستان است. به منظور تولید نقشه‌ی گستره‌ی سیلاب، تصویر شاخص آبی از تصاویرSynthetic Aperture Radar (SAR) قبل و بعد از سیلاب با استفاده از تلفیق قطبیدگی‌های VVو VH به کمک روش تبدیل موجک گسسته بدست آمد. سپس تصاویر شاخص قبل و بعد از سیلاب، با استفاده از خوشه‌بندی Simple Linear Iterative Clustering (SLIC) قطعه‌بندی و به ابرپیکسل‌ها افراز گردیدند که ابرپیکسل‌های بدست آمده با استفاده از روش K-means، به دو کلاس پیکره آبی و پس‌زمینه، کلاس‌بندی شدند. نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصویر Sentinel2 نشان می‌دهد که بیشترین تخریب سیل مربوط به اراضی کشاورزی و کمترین میزان متعلق به راه و زمین‌های بایر است. در مجموع ۲۷٪ منطقه در معرض سیل قرار گرفته است که ۲۶٪ متعلق به اراضی کشاورزی است. بطور خاص، ۵۰٪ از اراضی کشاورزی نیز تحت دو کشت مزرعه نوع ۲ و ۳ هستند.

واژه‌های کلیدی

سیلاب، سنجش از دور ، تصاویر رادار با دهانه‌ی ترکیبی، پردازش تصاویر ماهواره‌ای.

*[۱]دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، mojaradi@iust.ac.ir
[۲]کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب.
[۳]دانشجوی دکتری مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران.

علمی-پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۰۱

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-18]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.1.0]

مقدمه

سیلاب به عنوان یکی از مهمترین بلایای طبیعی در ایران، هر ساله با از بین بردن زمین‌های کشاورزی و کاهش حاصلخیزی خاک، تخریب مناطق مسکونی و زیرساخت‌ها، خسارات گسترده و جبران‌ناپذیری را به همراه داشته است (خسروی[1] و همکاران، ۲۰۱۶). این درحالیست که مطالعات انجام شده حاکی از آن است که بیشتر شهرهای ایران به علت شرایط زمین‌شناسی، توپوگرافی و شرایط متنوع اقلیمی، از پتانسیل سیل‌خیزی بالایی برخوردار می‌باشند (خسروی و همکاران، ۲۰۱۶). از این رو، مدیریت و ارائه‌ی راه حلی در جهت پیشگیری از این رویداد طبیعی و کاهش خسارات ناشی از آن، امری بسیار مهم و حیاتی تلقی می‌گردد.

در مقایسه با سایر روش‌های جمع‌آوری داده، سنجش از دور، به عنوان ابزاری با قابلیت اخذ داده‌های به روز، فرمت رقومی مناسب برای محاسبات، هزینه‌ی کمتر و همچنین امکان انتخاب وسیعی از دقت‌های مکانی، زمانی و طیفی به عنوان ابزاری کارآمد در راستای پیشگیری، مدیریت و پایش سیلاب‌های رخ داده در منطقه و خسارات ناشی از آنها مطرح می‌گردد (ورلست و همکاران، ۲۰۱۵[2]).

در پژوهش‌هایی با استفاده از پردازش تصاویر اپتیک به شناسایی مناطق سیل زده پرداخته شد (امینی[3] و همکاران، ۲۰۱۰). از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالای IKONOS و مدل رقومی ارتفاعی منطقه با هدف تعیین مناطق سیل‌زده در خرم آباد لرستان استفاده نمودند. در این مطالعه، در ابتدا تصاویر IKONOS با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی طبقه‌بندی شدند و سپس با تلفیق اطلاعات مدل رقومی ارتفاعی موجود از منطقه مورد مطالعه، مساحت مناطق زیر سیل با دقت بیشتری مشخص شد.

در پژوهشی دیگر، (توماس[4] و همکاران، ۲۰۱۱) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست در بازه‌ی زمانی ۲۸ سال و به‌کارگیری الگوریتم خوشه‌بندی ISODATA توانستند روند تکرار پدیده سیل را در منطقه‌ای از استرالیا مورد بررسی قرار دهند.

(فنگ[5] و همکاران، ۲۰۱۵) به منظور تعیین مناطق سیل زده در منطقه ای از کشور چین و ایجاد تمایز میان آنها با مناطق آبی دائمی، از تصاویر با قدرت تفکیک بالای مکانی UAV[6] استفاده نمودند. در این تحقیق، پس از انجام پیش پردازش‌های لازم بر تصاویر اخذ شده و استخراج انواع ویژگی‌های طیفی و بافت از تصاویر، با استفاده از طبقه‌بندی کننده جنگل تصادفی، مناطق سیل‌زده را از آبهای دائمی تشخیص دادند. با وجود تمام مطالعات انجام شده در زمینه‌ی استفاده از تصاویر اپتیک سنجش از دور به منظور تشخیص مناطق آبی ناشی از وقوع سیل، به علت وابستگی ذاتی اخذ این تصاویر به شرایط آب و هوایی، عملکرد این تصاویر در تشخیص مناطق آبی ناشی از شرایط بارندگی دچار محدودیت می‌باشد (هوآنگ[7] و همکاران، ۲۰۱۸).

داده‌های اخذ شده از سنجنده‌های هوابرد و فضابرد SAR به دلیل مستقل بودن از شرایط آب و هوایی، شرایط تابشی و حساسیت بالای پراکنش سیگنال‌ها، می‌توانند به پارامترهایی همچون ثابت دی الکتریک، میزان زبری و ساختار عوارض تبدیل شوند و تاکنون توانسته‌اند اطلاعات بسیاری برای تهیه نقشه مناطق سیل‌زده فراهم کنند. (هوآنگ و همکاران، ۲۰۱۸). در دهه‌های اخیر مطالعات بسیاری بر مبنای استفاده از تصاویر رادار با دهانه ترکیبی SAR[8] در قطبیدگی‌ها و طول‌موج‌های مختلف به منظور تهیه نقشه از مناطق سیل‌زده انجام گرفته است. لانگ[9] و همکاران، ۲۰۰۸، تأثیر تغییرات زاویه فرود سیگنال ارسالی را در انواع مختلف جنگل‌های سیل‌زده با استفاده از تصاویر

[1] Khosravi
[2] Verrelst
[3] Amini
[4] Thomas
[5] Feng
[6] unmanned aerial vehicle
[7] Huang
[8] Synthetic aperture radar
[9] Lung

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-18]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.1.0]

راداری Radarsat-1 در باند C و پلاریزاسیون HH مورد بررسی قرار دادند.

سانتورو[1] و همکاران، ۲۰۱۵ از تصاویر چند زمانه‌ی ماهواره راداری Envisat در مقیاس جهانی و در بازه سال‌های ۲۰۰۵ – ۲۰۱۲، به منظور تعیین مناطق آبی استفاده نمودند. در پژوهش انجام شده، پس از اعمال پیش پردازش‌های لازم بر تصاویر راداری اخذشده، استفاده از دو معیار تغییرات زمانی و مینیمم میزان بازپراکنش به منظور اعمال حد آستانه‌گذاری مناسب و تفکیک مناطق آبی از سایر عوارض موجود پیشنهاد گردیده است. در پژوهش دیگر (موراندریا[2]و همکاران، ۲۰۱۶) از تصاویر پلاریمتریک راداری-Radarsat 2 به منظور تفکیک مناطق آبی ناشی از سیل و سایر عوارض موجود در منطقه مطالعاتی استفاده نمودند. کلیمنت[3] و همکاران، ۲۰۱۷، از ۱۳ تصاویر راداری چند زمانه Sentinel-1 برای بررسی مناطق سیل‌زده استفاده نمودند. در روش پیشنهادی پس از محاسبه میانه‌ی مقادیر هر پیکسل در ۱۳ تصویر موجود از منطقه و تولید تصویر مرجع، تفاضل هر یک از تصاویر شدت در پلاریزاسیون‌های مختلف از تصویر مرجع محاسبه و پس از اعمال حد آستانه‌ی مناسب بر تصاویر اختلاف به دست آمده، رفتار هر پلاریزاسیون برای تعیین مناطق سیل زده، مورد بررسی قرار گرفته است. بسیاری از روش‌های ارائه شده در این زمینه شامل اعمال روش‌های حد آستانه‌گذاری براساس هیستوگرام، به‌کارگیری انواع الگوریتم‌های طبقه‌بندی و یا حد آستانه‌گذاری با استفاده از تصاویر چند زمانه می گردد (هوآنگ و همکاران، ۲۰۱۸).

در پژوهشی دیگر، انوشا[4] و همکاران، ۲۰۲۰ روش‌های طبقه‌بندی آستانه‌ای و بدون نظارت را مورد بحث قرار می‌دهند تا مناطق سیلابی ناشی از بارندگی‌های بی‌وقفه را شناسایی کنند. از یافته‌ها، مشهود است که داده‌های SAR می‌توانند به طور مؤثر برای نقشه‌برداری آب سیل و پایش سیل استفاده شوند. بنابراین، این یافته‌ها در به حداقل رساندن تأثیر خطر سیل و به افزایش انعطاف‌پذیری در مدیریت سیل کمک می‌کند.

در پژوهشی دیگر، شریفی[5] و همکاران، ۲۰۲۱ پس از آستانه‌گذاری، از یک الگوریتم یادگیری ماشین و یک روش طبقه‌بندی مبتنی بر شی برای طبقه‌بندی داده های SAR استفاده کردند و دریافتند آستانه‌گذاری، به شناسایی مناطق سیل‌زده کمک می‌کند. نتایج این پژوهش نشان داد که الگوریتم یادگیری ماشین نتایج قابل توجهی برای طبقه بندی داده های SAR حاصل می کند و سودمندی تصاویر Sentinel-1 به‌عنوان داده‌های پایه برای بهبود شناسایی مناطق سیلابی و به عنوان منبع جدیدی برای نظارت بر خطرات سیل در نظر گرفته می‌شود.

در پژوهش‌های انجام شده در تهیه مناطق سیل زده با تصاویر SAR، تأثیر انتخاب محدوده طول موج امواج ارسالی، زاویه فرود آن‌ها و همچنین شرایط پوشش گیاهی بر بازپراکنش صورت گرفته از امواج راداری مورد بررسی قرار گرفته است. در برخی پژوهش‌ها، تفاوت نقشه‌های تهیه شده از مناطق وقوع سیل را براساس نوع و تعداد قطبیدگی‌ها (تصاویر تک قطبیدگی HH، VV، HV)، قطبیدگی دوگانه (HH/HV یا VV/VH) و همچنین تصاویر قطبیدگی (پلاریمتری) (HH/VV/HV/VH) مورد ارزیابی قرار گرفته است. هدف این مقاله، استخراج گستره‌ی سیلاب به صورت اتوماتیک از داده‌های SAR، قبل و بعد از سیلاب و استخراج تصاویر شاخص آب با استفاده از فیوژن قطبیدگی تصاویر SAR می‌باشد. در روش پیشنهادی تصویر شاخص آبی با تلفیق قطبیدگی‌های VVو VH با استفاده از روش تبدیل موجک گسسته و همچنین اعمال Nonlocal mean filtering بدست آمد. ابتدا تصویر شاخص آبی بدست آمده با استفاده از قطعه‌بندی Simple linear iterative clustering به ابرپیکسل‌ها (SuperPixels) افراز شده و سپس به منظور تولید نقشه‌ی بدنه آبی برای هر یک از زمان‌ها، ابرپیکسلها با استفاده از خوشه‌بندی به دو کلاس پیکره آبی و پس‌زمینه تبدیل شدند. با توجه به اینکه

[1] Santoro
[2] Moranderia
[3] Clement
[4] Anusha
[5] Sharifi

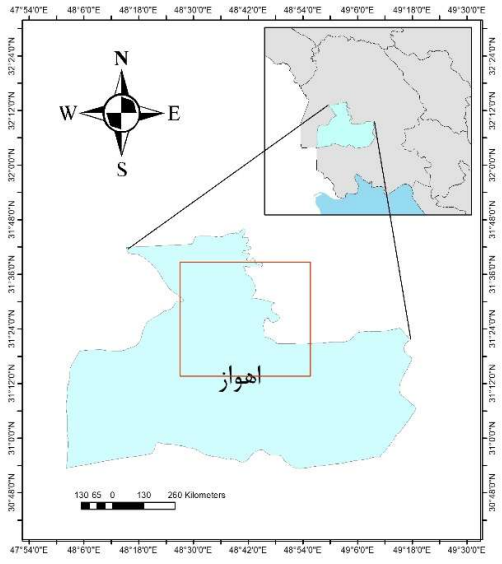
[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-18]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.1.0]

محصول نهایی این مقاله، شناسایی محدوده‌های کاربری اراضی تحت گستره سیل است، تهیه نقشه کاربری اراضی با دقت بالا نیز از اهداف دیگر این مقاله است. جهت بررسی میزان خسارات وارده بر پوشش اراضی در منطقه مورد مطالعه، از تصاویر Sentinel2 به منظور استخراج نقشه کاربری اراضی از روش طبقه‌بندی پیکسل پایه ماشین بردار پشتیبان به کمک الگوریتم ژنتیک جهت انتخاب باندهای بهینه استفاده شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

با توجه به رویداد سیلاب در فروردین سال ۹۸ و موقعیت جغرافیایی شهر اهواز در استان خوزستان، مطالعه و بررسی این شهر بسیار ضروری است و به عنوان مورد مطالعاتی، این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. شکل (۱)، موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در هفته‌ی اول و دوم فروردین ۱۳۹۸، بدلیل ورود سامانه بارشی متراکم، جنوب و غرب ایران دچار بزرگترین سیلاب و آبگرفتگی در ۵۰ سال اخیر شد و خسارت‌های جانی و مالی زیادی به همراه داشت.



شکل (۱): موقعیت منطقه مطالعاتی در استان خوزستان، شهر اهواز

شرح واقعه به این صورت است که، از حدود ۸ فروردین با بالا آمدن آب پشت سدها و از ۱۳ فروردین با آبگرفتگی وسیع دشت سیلابی رودخانه‌های کرخه، دز، کارون و در نهایت رودخانه‌ی جراحی به وقوع پیوست، منطقه وسیعی را در ناحیه دشت آزادگان، هویزه، تلاب هورالعظیم، رودکارون، مجاورت تالاب شادگان دچار آبگیری کرد به نحوی که در دهه سوم فروردین، عملا دشت‌های سیلابی رودهای کارون، کرخه و در شمال اهواز به هم پیوسته بود. در این تحقیق، بخش شمالی اهواز که در واقع شاهراه اصلی ورود بخش عمده‌ای از سیلاب به شهرستان اهواز بود، مورد مطالعه قرار گرفت.

تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

در این پژوهش، در راستای ارزیابی عملکرد الگوریتم پیشنهادی، تصاویر دو ماهواره سنتینل۱ و سنتینل۲، مورد استفاده قرار گرفت. در سنجنده‌ی راداری سنتینل۱ با عرض پوشش ۲۵۰ کیلومتری و رزولوشن ۲۰متر × ۵ متر در جهت رنج و آزیموت، IW[1] به عنوان یک مد کاربردی در مطالعات متنوعی از سطح زمین مطرح گردیده است. همچنین این سنجنده از قابلیت اخذ داده در هر یک از پلاریزاسیون‌های HH، VV، HH+HV و VV+VH برخوردار بوده که امکان دریافت آنها، با توجه به مد اخذ تصویر و منطقه موردنظر متفاوت است. در این پژوهش، تصاویر مورد استفاده از منطقه‌ی مطالعاتی واقع در استان خورستان، شهر اهواز در دو پلاریزاسیون VV و VH در محدوده‌ی زاویه فرود بین ۳۵-۲۹ درجه و مد IW اخذ شده‌اند. همچنین فرمت این تصاویر راداری به صورت GRD[2] بوده و رزولوشن مکانی آنها در هر دو جهت رنج و آزیموت ۱۰ متر می‌باشد. سنجنده‌ی اپتیک سنتینل۲ از ۱۳ باند طیفی در محدوده مرئی، مادون قرمز نزدیک و فروسرخ کوتاه طیف الکترومغناطیس در قدرت تفکیک مکانی متفاوتی تشکیل شده است. در این تحقیق، از تصویر ماهواره‌ای ماهواره سنتینل۲ از بخش شمالی اهواز، به منظور تهیه نقشه کاربری اراضی قبل از وقوع سیل استفاده شده است.

[1] Interferometric Wide Swath (IW)
[2] Ground Range Detected (GRD)

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-18]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.1.0]

روش شناسی

استخراج گستره‌ی سیلاب

روش پیشنهادی از دو دسته داده، در زمینه‌ی تولید نقشه خسارات سیل استفاده می‌کند که شامل تصاویر SAR قبل و بعد از سیل، جهت تولید نقشه بدنه آبی قبل و بعد از سیل و در نهایت تولید نقشه‌ی گستره سیلاب و همچنین تصاویر اپتیک مربوط به نزدیکترین زمان به تصویر SAR مربوط به زمان قبل از سیل، جهت تولید نقشه کاربری اراضی و همچنین بررسی میزان خسارات بر روی هر یک از داده‌ها به کار رفت. فلوچارت روش پیشنهادی به منظور استخراج نقشه‌ی گستره سیلاب از تصاویر SAR در شکل (۲) مشخص شده است.

در این روش، ابتدا تصاویر SAR قبل و بعد از سیلاب با استفاده از الگوریتم‌های پیش‌پردازش مناسب با نوع سنجنده مورد استفاده، از نظر رادیومتریکی و هندسی تصحیح می‌شوند و سپس به منظور حصول نتایج بهتر و همچنین جهت بهره بردن از تمامی قطبیدگی‌های تصاویرSAR ورودی در این تحقیق، از تلفیق قطبیدگی‌ها با استفاده از روش تبدیل موجک گسسته (DWT)[1] استفاده می‌شود. پس از تلفیق قطبیدگی‌ها، به منظور بارزسازی بدنه‌ی آبی در هر یک از شاخص‌های تلفیقی مربوط به قبل و بعد از سیلاب، از اپراتور Non local filtering استفاده می‌شود تا سهم نویز با اطمینان بیشتری از سطح شاخص‌های تلفیقی تولید شده برداشته شوند.

تصویر شاخص آبی

فیوژن تصویر تکنیکی برای ترکیب اطلاعات چندین تصویر، جهت دستیابی به تصویری با اطلاعات بیشتر می‌باشد. از آنجایی که به دست آوردن تصویر شاخص بهینه، جهت استخراج بدنه‌ی آبی، باید توانایی بالایی در تفکیک‌پذیری پیکره‌ی آبی از پس‌زمینه را داشته باشد، از فیوژن قطبیدگی‌های HV و VV استفاده می‌شود. در این راستا، از تبدیل موجک گسسته DWT به منظور تولید تصویر شاخص بهینه آبی استفاده شد. یکی از مزایای قطبیت VV، برجسته شدن خصوصیات بازتابندگی مربوط به عوارض مختلف است. همچنین، ارزش قابل توجهی در قطبیت VH مربوط به ارائه پیش‌زمینه دقیق و با کیفیت از مناطق آبی در سطح تصویر است؛ بنابراین شاخص آبی حاصل از تلفیق این دو تصویر، دارای پیش‌زمینه بهتری از اطلاعات مناطق آبی می‌باشد.

DWT، یک روش چند مقیاسی است که می‌تواند به خوبی تصاویر با قدرت تفکیک‌های متفاوت را مدیریت کند. DWT، امکان تجزیه‌ی تصویر به صورت ضرایب مختلفی که اطلاعات تصویر را دربردارند، فراهم می‌آورد. به منظور تلفیق قطبیدگی‌های HV و VV، ابتدا هر یک از آنها توسط DWT تجزیه می‌شوند.

DWT، شامل فیلترینگ و کاهش نرخ نمونه‌برداری هر یک از تصاویر با استفاده از فیلتر پایین گذر و بالاگذر در راستای سطر تصویر می باشد، که در نتیجه این عملیات ماتریس‌های ضرایب L و H به دست می‌آیند. در مرحله بعد، با استفاده از فیلتر پایین‌گذر و بالاگذر، فیلترینگ و کاهش نرخ نمونه‌برداری در ستون‌های L و H به صورت عمودی انجام می‌شود. در نهایت، چهار زیرتصویر LL، LH، HL و HH با نام ضرایب موجک نیز شناخته می‌شوند که در سطح تجزیه اول تولید می‌شوند.

LL، یک زیرتصویر هموار و متناظر با تصویری با فرکانس پایین است و در حقیقت، نسخه هموارشده‌ی یک تقریب مناسب از تصویر اولیه را ارائه می‌دهد. سه زیرتصویر HH، HLو LH جزئیات تصویر اولیه هستند که به ترتیب، تغییرات در راستای افقی، عمودی و قطری را ارائه می‌دهند. هر یک از این ضرایب می‌توانند به صورتی مناسب، ترکیب شده و ضرایبی جدید را بسازند. برای ترکیب این ضرایب، از قواعد تلفیق استفاده می‌شود. در این تحقیق از قواعد تلفیقی که در روابط زیر معرفی شده‌اند به منظور تولید ضرایب موجک تصویر فیوژن استفاده شده است.

$$X_F^{LL} = \frac{X_{VV}^{LL} + X_{VH}^{LL}}{2} \qquad (1)$$

$$X_F^K = \begin{cases} X_{VV}^K & D \geq 0 \\ X_{VH}^K & D < 0 \end{cases} \qquad (2)$$

$$D = |X_{HV}^K(i.j))| - |X_{HH}^K(\mathrm{i,j})| \qquad (3)$$

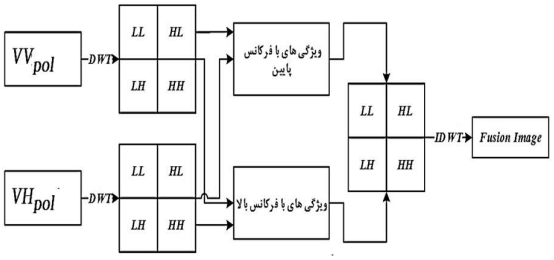
[1] Discrete wavelet transform

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.1.0]

که در روابط فوق X_F^{LL} و X_{HV}^{LL} و X_{VV}^{LL} به ترتیب ضرایب فرکانس پایین شاخص آبی تلفیقی، قطبیت‌های HV و VV می‌باشد و X_F^K و X_{HV}^K و X_{VV}^K ضرایب با فرکانس بالای شاخص آبی تلفیقی، قطبیت‌های HV و VV می‌باشند. K، بیانگر ضرایب با فرکانس بالای (HL، LH، HH) و D بیانگر اختلاف اندازه هر یک از ضرایب با فرکانس بالای قطبیدگی‌های HV و VV می‌باشد.

پس از اینکه ضرایب به درستی ترکیب و محاسبه شدند و اطلاعات موجود در تصاویر مرجع با قطبیدگی‌های HV و VV تجمیع شدند، تصویر تلفیق شده با استفاده از تبدیل موجک گسسته معکوس (IDWT) به دست می‌آید و در تصویر فیوژن که شاخص آب می‌باشد، تمامی اطلاعات مناسب قطبیدگی‌های HV و VV جهت جداسازی پیکره آبی از پس زمینه موجود است. شکل ۲ روند کلی فیوژن قطبیدگی‌های HV و VV را با استفاده از DWT نشان می‌دهد.



شکل (۲): روند کلی تلفیق قطبیدگی‌های HV و VV

پس از تولید تصویر شاخص آبی به منظور استخراج بدنه‌ی آبی، شاخص تولیدی مربوط به قبل و بعد از سیل به طور جداگانه با استفاده از روش قطعه‌بندی SLIC[1] به ابر پیکسل‌ها افراز شده تا مرز دقیقی از عوارض موجود در هر یک از شاخص‌ها بدست آید.

پس از قطعه‌بندی براساس میزان شباهت ابرپیکسل‌ها، هر یک از آنها به کلاس آب و یا غیر آب، با استفاده از روش خوشه‌بندی K-means طبقه‌بندی می‌شوند. با توجه به آنکه ممکن است برخی از جزییات در این فرآیند، به دلیل استفاده از اپراتور Non local filtering حذف گردد، در انتها نتایج حاصل از خوشه‌بندی شاخص آبی به روش DWT با نتیجه حاصل از تفکیک قطعه‌ها ترکیب می‌شوند تا جزییات کوچک از دست رفته، دوباره به قطعه‌ها اضافه گردد و یکپارچگی بهتری از بدنه‌ی آبی داشته باشیم. در واقع با این عمل می‌توانیم خطای Miss alarm را به طور قابل توجهی کاهش دهیم و برآورد صحیحی از مناطق تحت سیطره‌ی آب داشته باشیم.

در این تحقیق جهت ارزیابی کمی نتایج حاصل از استخراج بدنه آبی و تولید نقشه باینری گستره سیل با نقشه‌های مرجع واقعیت زمینی از سه معیار نرخ هشدار اشتباه، نرخ هشدار خطا و نرخ خطای کل استفاده شد.

معیار هشدار اشتباه به معنای پیکسل‌هایی است که به طور اشتباه به عنوان پیکسل‌های آب تشخیص داده شده‌اند، در حالی که در واقع غیرآبی هستند.

معیار هشدار خطا به معنای تعداد پیکسل‌های کلاس آب که به اشتباه به عنوان پیکسل‌های غیر آب انتخاب گردیده‌اند می‌باشد. معیار خطای کل به معنای تعداد کل پیکسل‌هایی است که به طور اشتباه برچسب‌گذاری شده‌اند. در حقیقت، این خطا، بیانگر مجموع پیکسل‌هایی می‌باشد که به اشتباه آب و غیر آب تشخیص داده شده‌اند.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.1.0]



شکل(۳): فلوچارت روش پیشنهادی در جهت استخراج نقشه گستره سیلاب از تصاویر SAR

روند برآورد میزان تخریب کاربری‌های اراضی با توجه به نقشه گستره سیلاب

جهت بررسی میزان خسارات وارده بر پوشش اراضی در منطقه‌ی مورد مطالعه، از تصاویر Sentinel2 به منظور تهیه‌ی نقشه کاربری اراضی استفاده شد. در این پژوهش، برای تهیه‌ی نقشه کاربری اراضی از روش طبقه‌بندی پیکسل پایه‌ی ماشین بردار پشتیبان به کمک الگوریتم ژنتیک استفاده شد که در محیط کدنویسی Matlab انجام شد. از الگوریتم ژنتیک به منظور انتخاب باندهای بهینه استفاده شد. استفاده از شاخص‌های طیفی NDVI، NDWI، NDBI، SAVI، CI، BI و RI برای بهبود نتایج بسیار ضروری است. این شاخص‌ها در تحلیل داده‌ها و همچنین در فرآیند انتخاب ویژگی با استفاده از الگوریتم ژنتیک، به همراه سایر شاخص‌ها، مورد استفاده قرار گرفتند. کلاس‌های کاربری اراضیِ منطقه‌ی مورد مطالعه، شامل مناطق مسکونی و صنعتی، زمین‌های زراعی در هفت نوع مختلف، راه، زمین بایر، آب می‌باشد. علاوه بر این، نمونه‌های آموزشی در هر یک از کلاس‌های مذکور با استفاده از نرم‌افزار Google Earth و توسط عامل خبره، به صورت پلیگون‌های خاصی از سطح تصویر برداشت شدند.

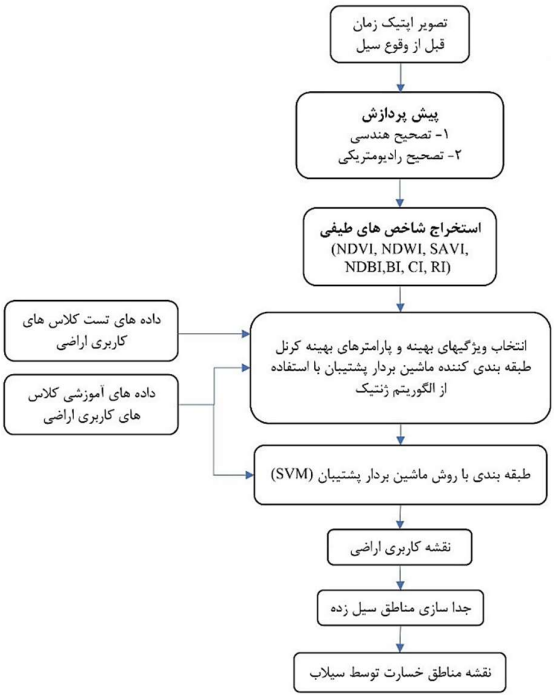
با توجه به تعداد باندهای طیفی بالای ماهواره Sentinel2 و همچنین اضافه شدن تعداد ۷ شاخص طیفی به باندها، در این مقاله به منظور انتخاب باندهای مناسب برای طبقه بندی با کمترین میزان وابستگی، از الگوریتم ژنتیک جهت انتخاب ویژگی‌های بهینه و همچنین تعیین پارامترهای بهینه کرنل در روش ماشین بردار پشتیبان استفاده شد.

با توجه به داده‌های مورد استفاده، تعداد کروموزوم‌ها، معادل با تعداد ویژگی‌های تصویر ماهواره‌ای Sentinel2 به کار رفته در این تحقیق در نظر گرفته شد؛ بنابراین، به ازای تلفیق اطلاعات طیفی و شاخص‌های طیفی تولید شده، مجموعاً ۱۹ کروموزوم (۱۲ باند طیفی + ۷ شاخص طیفی) ایجاد شد. همچنین با توجه به بازه‌های در نظر گرفته شده برای پارامترهای C و γ برای طبقه‌بندی‌کننده ماشین بردار پشتیبان، طول کروموزوم‌ها افزایش یافت. حضور یا عدم حضور ویژگی‌ها به ترتیب با اعداد صفر و یک در کروموزوم‌ها نشان داده می‌شود. در انتخاب والدین، از روش تورنمنت استفاده شد و تعداد جمعیت هر نسل، بصورت تصادفی انتخاب شده است. تابع شایستگی در این الگوریتم، دقت کلی بدست آمده از طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان است. تعداد نسل‌ها، برابر با ۱۰۰ نسل و تعداد جمعیت موجود در هر نسل، ۱۰۰ عضو است. احتمال جهش ۱۰ ٪، کسر تلفیقی ۸۰ ٪ و نرخ اعضای کوچ کننده به نسل بعد ۲۰ ٪ در نظر گرفته شده است. همچنین، در کروموزوم مربوط به استفاده از اطلاعات مربوط به ویژگی، عدد یک به معنای حضور و عدد صفر به معنای عدم حضور ویژگی مورد نظر در خروجی الگوریتم ژنتیک قرار می‌گیرد.

طبقه‌بندی داده‌ها، با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان انجام شده و ویژگی‌های انتخاب شده توسط الگوریتم ژنتیک، به عنوان ورودی، وارد مرحله طبقه‌بندی می‌شود. در مدل ماشین بردار پشتیبان، از کرنل تابع شعاعی استفاده گردید. همانطور که اشاره شد، در این تحقیق بهینه‌سازی پارامترهای مدل ماشین بردار پشتیبان، همزمان با انتخاب ویژگی صورت گرفت.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-18]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.1.0]

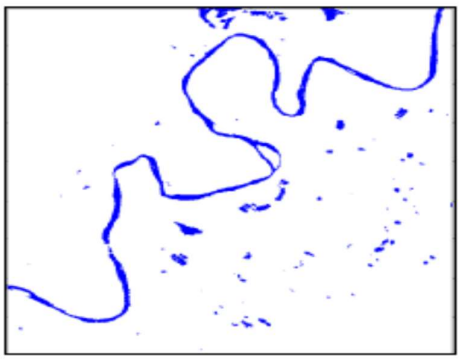
بعد از تعیین نقشه کاربری اراضی با استفاده از الگوریتم ارائه شده، در ادامه به تعیین میزان خسارات ناشی از سیل پرداخته می‌شود. در این قسمت، نقشه‌ی گستره سیلاب بدست آمده از تصاویر SAR قبل و بعد از سیل با نقشه کاربری اراضی تولید شده در این بخش، همپوشانی داده می‌شود تا نقشه‌ی گستره‌ی سیلاب بر روی آن حاصل گردد که درصد هم‌پوشانی گستره سیلاب در هر یک از کلاس‌ها نشان از میزان خسارات وارد شده به هر یک از کاربری‌های اراضی مورد نظر دارد. فلوچارت روند استخراج کاربری‌های اراضی خسارت دیده توسط سیلاب در شکل (۴) نشان داده شده است.



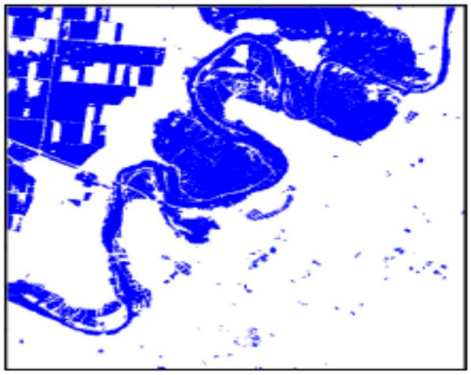
شکل(۴): فلوچارت مراحل استخراج مناطق خسارت دیده توسط سیلاب

نتایج و تجزیه و تحلیل

نتایج حاصل از تهیه نقشه باینری بدنه آبی برای داده SAR قبل از وقوع سیل (شکل ۵) و بعد از وقوع سیل (شکل ۶) نشان داده شده است.

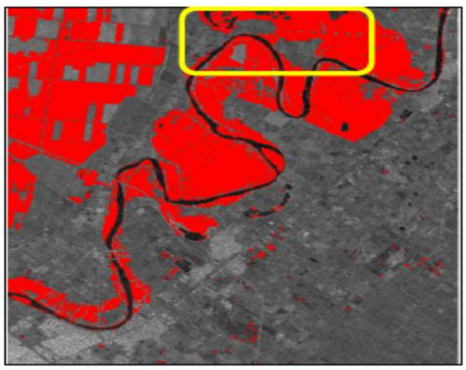


شکل (۵) : نقشه بدنه آبی مرجع برای تصویر SAR قبل از سیل



شکل (۶): نقشه بدنه آبی مرجع برای تصویر SAR بعد از سیل

بعد از تعیین بدنه‌ی آبی برای هر یک از تصاویر ورودی مربوط به قبل و بعد از سیل، این دو نقشه باینری بدنه آبی با یکدیگر مقایسه می‌شوند و از حاصل تفاضل آن نقشه گستره‌ی سیلاب تولید می‌شود که در شکل (۷) نمایش داده شده است.



شکل (۷):نقشه گستره سیلاب

عملکرد روش پیشنهادی با نقشه های مرجع با سه معیار نرخ هشدار اشتباه (False alarm)، نرخ هشدار خطا (Miss

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-18]

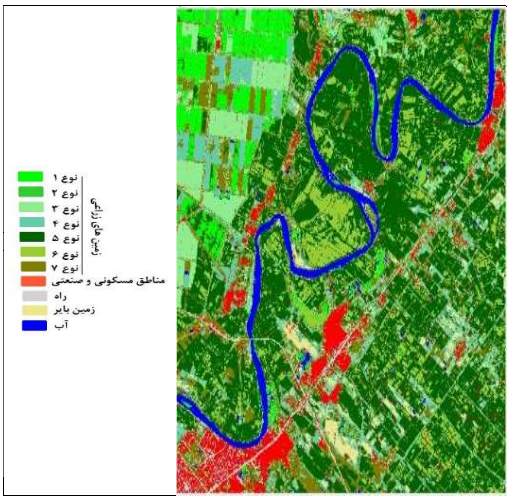
[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.1.0]

alarm) و نرخ خطای کل (Overall error) مورد ارزیابی قرار گرفته است و نتایج در جدول (۱) نشان داده شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد در روش پیشنهادی مذکور، نرخ خطای کل عملکرد مناسبی دارد. نتایج کمّی در این بخش، شباهت بالای بین نقشه‌ی مرجع و همچنین بدنه‌های آبی استخراج شده از روش پیشنهادی را تأیید می‌کند.

جدول(۱): ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی در استخراج بدنه‌ی آبی قبل از سیل، استخراج بدنه آبی بعد از سیل و تولید نقشه گستره سیلاب

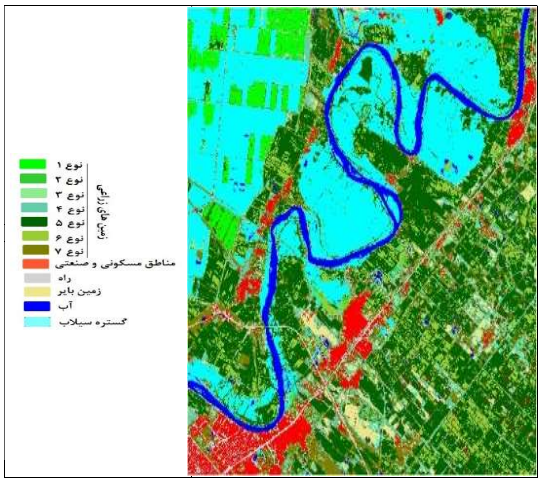
ارزیابی نتایج	False alarm		Miss alarm		Overal error	
	پیکسل	درصد	پیکسل	درصد	پیکسل	درصد
بدنه آبی قبل از سیل	۷۶۸۴	۰.۲۵	۱۲۸۱۶	۹.۶۱	۲۰۵۰۰	۰.۶۳
بدنه آبی بعد از سیل	۲۴۶۷۲	۱.۱۰	۲۰۱۲۶	۲.۰۲	۴۴۷۹۸	۱.۳۸
گستره سیل	۳۰۱۶۷	۱.۲۷	۲۱۶۳۴	۲.۴۹	۵۱۸۰۱	۱.۶

با استفاده از الگوریتم ژنتیک برای انتخاب ویژگی‌ها و طبقه‌بندی داده‌ها با استفاده از مدل ماشین بردار پشتیبان، دقت به دست آمده از این روش برابر با ۹۹.۱۳ درصد است. همچنین ضریب کاپا برابر ۹۸.۹۷ شده است که نشان از دقت بالای طبقه بندی دارد. نقشه‌ی کاربری اراضی خروجی در شکل (۸) نشان داده شده است.



شکل (۸) : نقشه کاربری اراضی منطقه شمال اهواز با استفاده روش ترکیبی ماشین بردار پشتیبان و الگوریتم ژنتیک

در این قسمت نقشه گستره سیلاب بدست آمده از تصاویر SAR قبل و بعد از سیل با نقشه کاربری اراضی تولید شده همپوشانی داده شد تا نقشه گستره سیلاب بر روی آن حاصل گردد. درصد هم‌پوشانی گستره سیلاب در هر یک از کلاس‌ها نشان از میزان خسارات وارد شده به هر یک از کاربری های اراضی مورد نظر دارد. شکل (۹) نقشه گستره‌ی سیلاب را بر روی تصویر ماهواره‌ای Sentinel 2 و همچنین نقشه‌ی گستره سیل بر روی نقشه‌ی کاربری اراضی را نشان می‌دهند. لازم بذکر است ابتدا کلاس آب از نقشه گستره سیلاب حذف شد تا تأثیر این کلاس روی ارزیابی خسارات کاربری‌های اراضی تأثیر نگذارد.

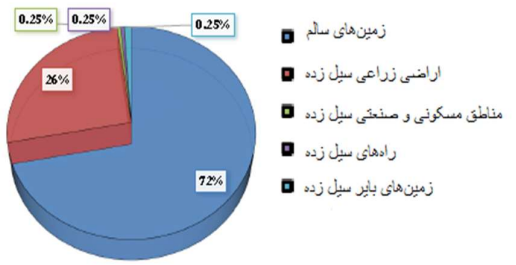


شکل (۹): نقشه گستره سیلاب در منطقه شمال اهواز هم پوشانی شده با نقشه کاربری اراضی تولیده شده

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.1.0]

با توجه به اینکه درصد کاربری‌های اراضی تحت سیطره‌ی سیل به عنوان درصد تخریب در نظر گرفته شده، میزان تخریب ناشی از سیل برای هرکدام از کاربری‌های اراضی در جدول (۲) فهرست شده است. همچنین میزان تخریب سیل به صورت نمودار دایره‌ای برای کاربری‌های مورد نظر در شکل (۱۰) آورده شده است.



شکل (۱۰): درصد تغییرات کاربری اراضی

با توجه به جدول (۲)، بیشترین تخریب سیل، مربوط به زمین‌های زراعی با مساحت ۲۷۵۹۲۹۱ هکتار می‌باشد که که منجر به خسارات مالی و اقتصادی زیادی برای کشاورزان منطقه‌ی شمال اهواز شده است. کمترین میزان تخریب سیل، مربوط به راه‌ها و زمین‌های بایر است. همچنین زمین‌های بایر و جزایر موجود در رود کارون، پوشیده از آب شده‌اند. اراضی مسکونی، کمتر تحت تنش سیلاب قرار گرفته‌اند، اما با این حال به میزان ۴ درصد از کاربری اراضی مسکونی و صنعتی به زیر آب رفته است.

با توجه به شکل (۹)، بیشتر واحدهای مسکونی زیر آب رفته، مربوط به واحدهای مسکونی در مرکز منطقه‌ی مورد مطالعه و در ساحل رود کارون هستند. در کل، ۲۷ درصد از کل کاربری‌های اراضی مورد مطالعه با توجه به سیلاب، تخریب شده‌اند که از این ۲۷ درصد، ۲۶ درصد آن متعلق به زمین‌های زراعی می‌باشد. در تفکیک انواع زمین‌های کشاورزی، بیش از ۵۰ درصد از زمین‌های نوع ۲ و ۳ به وسیله سیلاب تخریب کامل شده‌اند.

جدول (۲): میزان تخریب در هر یک از کاربری‌های اراضی

درصد تخریب	مساحت مناطق تحت تنش سیلاب (هکتار)	مساحت کاربری اراضی (هکتار)	نوع کاربری اراضی
۲۹٪	۵۶۰۰۵	۱۹۲۸۲۳	زمین زراعی نوع۱
۶۱٪	۴۶۲۲	۷۶۱۶	زمین زراعی نوع۲
۷۰٪	۱۴۷۶۷۴	۲۱۲۴۰۷	زمین زراعی نوع۳
۲۷٪	۸۸۴۸۶	۳۲۳۷۳۸	زمین زراعی نوع۴
۲۲٪	۲۶۹۳۹۲	۱۲۲۲۳۶۷	زمین زراعی نوع۵
۴۱٪	۱۲۳۳۲۴	۳۰۲۵۹۳	زمین زراعی نوع۶
۲۶٪	۱۲۷۰۴۳	۴۹۷۷۴۷	زمین زراعی نوع۷
۳۰٪	۸۱۶۵۴۶	۲۷۵۹۲۹۱	زمین زراعی (کل)
۴٪	۷۲۰۶	۱۸۲۴۱۷	مناطق مسکونی و صنعتی
۱۲٪	۱۰۸۳۳	۹۲۶۰۲	راه
۱۲٪	۷۸۶۶	۶۶۳۵۶	زمین بایر
۲۷٪	۸۴۲۴۵۱	۳۱۰۰۶۶۶	کل کاربری اراضی

نتیجه‌گیری

نقشه‌ی گستره‌ی آبی تولید شده، با استفاده از روش پیشنهادی و روش مبتنی بر تولید این نقشه بر مبنای مقایسه نقشه‌های بدنه‌ی آبی، نسبت به روش‌های مبتنی بر شناسایی تغییرات دارای دقت بالاتری بودند. علت این امر را می‌توان در ماهیت روش‌های شناسایی تغییرات بدنه‌ی آبی دانست که هر گونه تغییرات غیر از بدنه‌ی آبی را نیز به عنوان تغییرات ناشی از بدنه‌ی آبی در نظر می‌گیرند. نتایج تهیه نقشه کاربری اراضی داده Sentinel2 از منطقه مورد نظر نشان می‌دهد که استفاده از الگوریتم ژنتیک به منظور انتخاب ویژگی‌ها، علاوه بر انتخاب ویژگی‌های بهینه منجر به کاهش ابعاد داده‌های ورودی می‌شود؛ بنابراین نقشه‌های کاربری اراضی با ویژگی‌های با کیفیت بالا و حجم محاسباتی کمتر تولید می‌شوند. البته شاخص‌های مورد استفاده در این تحقیق، دارای قدرت بالایی در شناسایی کاربری‌های مورد نظر بودند که نشان می‌دهد باندهای طیفی سنجنده مورد نظر در تفکیک کلاس‌های مورد نظر، به اندازه کافی کارائی دارند. پیاده‌سازی روش پیشنهادی در منطقه شمال اهواز نشان می‌دهد مساحت زیادی از اراضی کشاورزی توسط سیلاب تخریب شده‌اند که نیاز است در برنامه‌ریزی‌های آتی سازمان جهاد کشاورزی، شهرداری و دستگاه‌های اجرائی

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-18]
[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.1.0]

مربوطه در استان مورد توجه قرار گیرد. سیستم توسعه داده شده در این تحقیق، می‌تواند در پایش سیلاب و ارزیابی خسارات ناشی از آن در مدیریت و برنامه‌ریزی استان و کشور مورد استفاده قرار گرفته و موارد جزئی‌تری را در رابطه با کاربری اراضی تحت تنش سیل در بازه زمانی مورد نظر تشخیص دهد.

مراجع

1- Amini, J. (2010). A method for generating floodplain maps using IKONOS images and DEMs. *International Journal of Remote Sensing*, *31*(9), 2441-2456.

2- Anusha, N., & Bharathi, B. (2020). Flood detection and flood mapping using multi-temporal synthetic aperture radar and optical data. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, *23*(2), 207-219.

3- Brisco, B. (2015). Mapping and monitoring surface water and wetlands with synthetic aperture radar. *Remote Sensing of Wetlands: Applications and Advances*, 119-136.

4- Clement, M. A., Kilsby, C. G., & Moore, P. (2018). Multi-temporal synthetic aperture radar flood mapping using change detection. *Journal of Flood Risk Management*, *11*(2), 152-168.

5- Csillik, O. (2017). Fast segmentation and classification of very high resolution remote sensing data using SLIC superpixels. *Remote Sensing*, *9*(3), 243.

6- Feng, Q., Liu, J., & Gong, J. (2015). Urban flood mapping based on unmanned aerial vehicle remote sensing and random forest classifier—A case of Yuyao, China. *Water*, *7*(4), 1437-1455.

7- Huang, W., DeVries, B., Huang, C., Lang, M. W., Jones, J. W., Creed, I. F., & Carroll, M. L. (2018). Automated extraction of surface water extent from Sentinel-1 data. *Remote Sensing*, *10*(5), 797.

8- Khosravi, K., Nohani, E., Maroufinia, E., & Pourghasemi, H. R. (2016). A GIS-based flood susceptibility assessment and its mapping in Iran: a comparison between frequency ratio and weights-of-evidence bivariate statistical models with multi-criteria decision-making technique. *Natural hazards*, *83*, 947-987.

9- Lang, M. W., Townsend, P. A., & Kasischke, E. S. (2008). Influence of incidence angle on detecting flooded forests using C-HH synthetic aperture radar data. *Remote Sensing of Environment*, *112*(10), 3898-3907.

10- Manavalan, R. (2017). SAR image analysis techniques for flood area mapping-literature survey. *Earth Science Informatics*, *10*(1), 1-14.

11- Morandeira, N. S., Grings, F., Facchinetti, C., & Kandus, P. (2016). Mapping plant functional types in floodplain wetlands: An analysis of C-band polarimetric SAR data from RADARSAT-2. *Remote Sensing*, *8*(3), 174.

12- Nandi, I., Srivastava, P. K., & Shah, K. (2017). Floodplain mapping through support vector machine and optical/infrared images from Landsat 8 OLI/TIRS sensors: Case study from Varanasi. *Water Resources Management*, *31*(4), 1157-1171.

13- Reksten, J. H., Salberg, A. B., & Solberg, R. (2019). Flood detection in Norway based on Sentinel-1 SAR Imagery. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, *42*, 349-355.

14- Rambour, C., Audebert, N., Koeniguer, E., Le Saux, B., Crucianu, M., & Datcu, M. (2020). Flood detection in time series of optical and sar images. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, *43*(B2), 1343-1346.

15- Santoro, M., Wegmüller, U., Lamarche, C., Bontemps, S., Defourny, P., & Arino, O. (2015). Strengths and weaknesses of multi-year Envisat ASAR backscatter measurements to map permanent open water bodies at global scale. *Remote Sensing of Environment*, *171*, 185-201.

16- Sharifi, A. (2021). Development of a method for flood detection based on Sentinel-1 images and classifier algorithms. *Water and Environment Journal*, *35*(3), 924-929.

17- Thomas, R. F., Kingsford, R. T., Lu, Y., & Hunter, S. J. (2011). Landsat mapping of annual inundation (1979–2006) of the Macquarie Marshes in semi-arid Australia. *International Journal of Remote Sensing*, *32*(16), 4545-4569.

18- Verrelst, J., Camps-Valls, G., Muñoz-Marí, J., Rivera, J. P., Veroustraete, F., Clevers, J. G., & Moreno, J. (2015). Optical remote sensing and the retrieval of terrestrial vegetation bio-geophysical properties–A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *108*, 273-290.

19- Willis, K. S. (2015). Remote sensing change detection for ecological monitoring in United States protected areas. *Biological Conservation*, *182*, 233-242.

20- Wu, H., Song, H., Huang, J., Zhong, H., Zhan, R., Teng, X., ... & Cao, J. (2022). Flood Detection in Dual-Polarization SAR Images Based on Multi-Scale Deeplab Model. *Remote Sensing*, *14*(20), 5181.

21- Zoka, M., Psomiadis, E., & Dercas, N. (2018). The complementary use of optical and SAR data in monitoring flood events and their effects. *Multidisciplinary digital publishing institute proceedings*, *2*(11), 644.

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.1.0]

نشریه علمی سد و نیروگاه برق آبی ایران
سال دهم/ ویژه‌نامه مدیریت سیلاب/ تابستان ۱۴۰۲

Journal of Iranian Dam and Hydroelectric Power Plant
10th Year/ Special Issue on Flood Management/ September 2023

Flood damage monitoring on land use using radar and optical satellite image processing

Barat Mojaradi*[1]
Fereshteh Bagheri[2]
Shadi Maddah[3]

Abstract

This paper aims to estimate flood damage on land use areas through a three-step process: identification of flood areas using Sentinel-1 images, mapping of land use using Sentinel-2 images, and estimation of damages in each land use class. The case study is located in the north of Ahvaz City in Khuzestan Province. To generate the flood extent map, the water index from Sentinel-1 images before and after the flood is obtained by fusing VV and VH polarizations using the discrete wavelet transform method. Then, the water index image of each time is segmented into super pixels using Simple Linear Iterative Clustering (SLIC). Afterward, the obtained super pixels are classified using K-means clustering into water bodies and backgrounds. The results obtained by classifying Sentinel-2 images indicate that agricultural lands are the most prone to damage. In total, 27% of the areas were destroyed, and 26% of these damages belong to agricultural lands. Moreover, more than 50% of agricultural lands are covered by type 2 and 3 agricultural fields.

Keywords

Flood, Remote sensing, SAR, Satellite image processing

[Downloaded from journal.hydropower.org.ir on 2026-11-18]

[DOR: 20.1001.1.23225882.1402.10.34.1.0]

[1]* Associate Professor. School of Civil Engineering, Iran University of Science & Technology. mojaradi@iust.ac.ir
[2] Mater of Remote sensing
[3] Ph.D. Student of Water Resources Management and Engineering, School of Civil Engineering, Iran University of Science & Technology

Received: 2023/01/01 Accepted: 2023/07/23