

شناسایی سیل از داده‌های سنتینل-۱ بر مبنای ادغام تصاویر اختلاف حاصل از قطبش‌های راداری VV و VH

سعید اسدی^۱، علی محمدزاده^{۲*}

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، ایران
s.asadi@email.kntu.ac.ir

^۲ استاد دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، ایران
a_mohammadzadeh@kntu.ac.ir

(دریافت: تیر ۱۴۰۳، تصویب: بهمن ۱۴۰۳)

چکیده

با شروع تغییرات آب‌وهوایی که دلالت بر تکرار سیل در بسیاری از مناطق جهان دارد و همچنین افزایش مداوم دارایی‌های اقتصادی در مناطق مستعد سیل، نیاز به حفاظت از جامعه در برابر سیل افزایش یافته‌است. تصاویر نوری در گذشته به طور موفقیت‌آمیز برای استخراج مناطق سیلابی استفاده شده‌است. با این حال، در وضعیتی که شرایط جوی، ابری و نامناسب است و سنجنده‌های نوری قادر به انجام عملیات تصویربرداری نیستند استفاده از داده‌های راداری به عنوان مکمل می‌تواند مناسب باشد. در این تحقیق از تصاویر دو زمانه سنتینل-۱ در سامانه گوگل ارث انجین جهت شناسایی سریع سیل استفاده شد. سیلاب فروردین ماه سال ۱۳۹۸ در استان خوزستان مساحتی معادل ۱۱۹۸ کیلومتر مربع داشت که خسارت‌های زیادی را به عرصه‌های مختلف مسکونی و کشاورزی وارد کرد. در پژوهش حاضر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و ارائه الگوریتم آشکارسازی سیل، به بررسی سیل دو منطقه اهواز و شاکریه پرداخته شده‌است. در روش ارائه شده، ابتدا تصویر تفاضل با دو باند VV و VH محاسبه سپس تصویر لگاریتم نسبت‌ها با دو باند VV و VH نیز تولید شد تا از اطلاعات حاصل از دو باند متفاوت تصاویر راداری جهت کاهش نویز سطح تصویر استفاده شود. سپس از تلفیق موجک با روش میانگین گیری ضرایب متناظر از دو تصویر، جهت تلفیق تصاویر تفاضل با تصویر لگاریتم نسبت‌ها به صورت جداگانه برای هر دو باند VV و VH استفاده شد تا عملکرد شناسایی سیل با کمک ادغام اطلاعات حاصل از دو قطبش متفاوت VV و VH بهبود یابد. سپس تصویر ادغام شده با دو باند به M بلوک بدون اشتراک با ابعاد $h \times h$ تقسیم گردید و از آن در روند محاسبه الگوریتم PCA-K-means جهت تولید نقشه باینری سیل استفاده شد تا عملکرد الگوریتم PCA-K-means متداول بهبود یابد. مقایسه‌ی روش پیشنهادی در دو حالت استفاده از مدل PCA-K-means متداول و نوع بهبودیافته آن، برتری مدل PCA-K-means بهبودیافته را به اندازه‌ی ۷٪، در نرخ دقت F-score برای مجموعه داده اول و به اندازه‌ی ۶٪، برای مجموعه داده دوم نسبت به روش متداول نشان داد. علاوه بر این روش پیشنهادی در مقایسه با روش PCA-GMM دارای عملکردی بهتر بوده، به نحویکه میزان نرخ دقت F-score را به اندازه ۲۳٪ و ۶٪، به ترتیب در مجموعه داده اول و دوم افزایش داد. نتایج بدست آمده بر روی منطقه مطالعاتی اهواز و شاکریه، به ترتیب حاکی از حصول صحت کلی ۹۵٪ و ۹۴٪ می‌باشد. بر اساس نتایج بدست آمده می‌توان گفت، روش معرفی شده در این تحقیق دارای قابلیت بالایی در شناسایی سیل است.

واژگان کلیدی: شناسایی سیل، Kmeans، تلفیق موجک، شاخص نسبت لگاریتم، شاخص تفاضل، قطبش‌های راداری، سنتینل-۱

۱- مقدمه

سیل در سراسر جهان یک نگرانی مهم است. در گزارش‌های ارزیابی فاجعه‌های جهانی، این رویداد معمولاً به عنوان یکی از مخرب‌ترین فاجعه‌های طبیعی شناخته می‌شود. متأسفانه، احتمال بروز سیل و شدت آن برای اکثر نقاط جهان به دلیل تغییرات آب‌وهوایی افزایش پیدا کرده‌است و با افزایش جمعیت، تماس انسانی با این رویدادها نیز افزایش می‌یابد [۱]. بلایای طبیعی در سراسر جهان رخ می‌دهند. انتظار می‌رود اثرات تغییر اقلیم جهانی منجر به افزایش شدت بارش شدید و وقایع سیل در همه مناطق اقلیمی، از مناطق خشک تا مرطوب شود. سیل یکی از شایع‌ترین و ویران‌کننده‌ترین رویدادهای طبیعی در جهان است که علت بسیاری از خسارات جانی، تخریب زیرساخت‌ها، زمین‌های کشاورزی و هزینه‌های اقتصادی است که می‌تواند اقتصاد یک کشور را بی‌ثبات کند [۱ و ۲]. بنابراین برای اجرای اقدامات مدیریت سیل، درک بزرگی و شدت و وسعت رویدادهای گذشته و همچنین آمادگی برای پیشگیری و ارزیابی خسارات ضروری است [۳ و ۴]. ارزیابی فاجعه سیل باید گسترش رخداد سیل را تعیین کند که به پایش به موقع و مؤثر در مقیاس منطقه‌ای بستگی دارد [۴ و ۵]. در دهه اخیر وقوع سیلاب‌های مکرر در ایران به اوج تاریخی خود رسیده‌است و میزان خسارات هر ساله رو به افزایش است؛ بنابراین، ارزیابی سریع گسترش و اثرات سیل با استفاده از ماهواره‌های سنجنش از دوری از اهمیت بسیاری برخوردار است. در دهه‌های اخیر نیز، تعدادی ماهواره جدید فضایی در مدار زمین قرار گرفته‌است که نحوه پیش‌بینی وقوع بلایای طبیعی را بهبود داده‌اند [۶ و ۷]. فناوری‌های سنجنش‌ازدور مانند تصویربرداری نوری و رادار روزه مصنوعی با افزایش نرخ اکتساب داده‌ها، قدرت تفکیک سنجنده و بهبود الگوریتم‌های آشکارسازی تغییرات پیشرفت‌های قابل‌توجهی در ارزیابی بلادرنگ خطرات طبیعی داشته‌اند. سنجنش‌ازدور یکی از ابزار مهم برای تولید نقشه سیل است که توسط بسیاری از محققان پیشنهاد می‌شود [۷ و ۸]. عوارض موجود بر روی زمین، سیگنال‌های برگشتی خاصی را برای هر باند طیفی نشان می‌دهند که می‌توانند برای شناسایی سطوح آب استفاده شوند [۸ و ۹]. سنجنده‌های نوری از نوع غیرفعال هستند. یعنی تصاویر دریافتی از بازتاب نور خورشید از سطح زمین ثبت می‌شوند

که در صورت وجود توده ابری، منجر به عدم نفوذ سیگنال‌ها و درنهایت عدم اخذ تصویر می‌شود. این مشکل اصلی ماهواره‌های نوری است [۹ و ۱۰]، با وقوع سیل، این سنجنده‌ها به عنوان گزینه ضعیف تلقی می‌شوند زیرا توانایی تصویربرداری را نخواهند داشت. از طرفی سیستم‌های SAR، مانند سنجنده سنتینل-۱، حسگرهای فعالی دارند که پالس رادار را منتشر و با بازگشت آن از سطح زمین، تصویر را ثبت می‌کنند. این سنجنده‌ها امکان جمع‌آوری داده‌ها را در شرایط جوی نامناسب فراهم می‌کنند [۱۱]. به دلیل توانایی آنها در گرفتن تصاویر با وضوح بالا از سطح زمین حتی در هوای طوفانی، حسگرهای رادار با روزه مصنوعی^۱ (SAR) در تشخیص سیل‌های بزرگ عملکرد بسیار خوبی دارند؛ بنابراین، اکثر سرویس‌های نقشه‌برداری بحران، مانند سرویس مدیریت اضطراری کوپرنیکوس^۲ (CEMS) از ماهواره‌های SAR برای عملیات خود استفاده می‌کنند. توانایی بازگشت پالس رادار به سنجنده، به تعدادی از عوامل، به‌ویژه زبری عارضه، خواص دی‌الکتریک، توپوگرافی منطقه و زاویه دید رادار بستگی دارد [۱۲ و ۱۳]. باوجود مزیت‌های عملیاتی SAR در مقایسه با سیستم نوری، این سنجنده‌ها چالش‌هایی در شناسایی سیل دارند. چالش‌هایی مانند زبری سطح آب که توسط بارندگی یا باد ایجاد می‌شود و می‌تواند سبب پراکنش مجدد سیگنال رادار شود، همچنین بازتاب آینه‌ای پالس رادار از سطوح آبی که منجر به بازگشت حداقل سیگنال به ماهواره می‌شود [۱۳ و ۱۴]. علاوه بر این شناسایی سیل در مناطق شهری، منجر به باز پراکنش دوگانه سیگنال رادار در تعامل با سیلاب و ساختمان‌ها می‌شود، که می‌تواند مشکل‌ساز باشد [۱۵ و ۱۶]. علاوه بر این، وجود عوامل طبیعی مانند پوشش گیاهی و نواحی تپه‌ساز ممکن است بر فرآیند تشخیص سیلاب از طریق داده‌های با وضوح بالا، مانند TerraSAR-X و COSMO-SkyMed، تأثیر بگذارد [۱۷]. با این حال، قابلیت حسگرهای SAR در نفوذ به پوشش ابر و بهبود وضوح مکانی و زمانی مجموعه داده‌های موجود، اهمیت این تکنولوژی را در پایش و مدیریت سیلاب‌ها به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد.

^۱ Synthetic Aperture Radar

^۲ Copernicus Emergency Management service

داده‌هایی با قطبش متقاطع (VH/HV)، طیف وسیع‌تری از مقادیر باز پراکنش سطوح زمین را در مقایسه با داده‌های هم پلاریزه (VV/HH) فراهم می‌کنند. بنابراین ترکیب آنها منجر به همپوشانی بالقوه و فراهم کردن اطلاعات بیشتر در مورد پوشش گیاهی مستغرق در طول رخداد سیل می‌شود [۱۸ و ۱۹]. تعداد زیادی از روش‌های تولید نقشه سیل با استفاده از تصاویر راداری ارائه شده است، از جمله روش‌های مبتنی بر تشخیص تغییرات [۲۰]، روش‌های مبتنی بر حد آستانه‌گذاری [۲۱]، روش‌های بیزین و روش‌های یادگیری ماشین [۲۱ و ۲۲]. در مقایسه با تولید نقشه سیل با یک تصویر، روش‌های آشکارسازی تغییرات در استخراج بدنه‌های دائمی آب و برخی عوارض مشابه مزیت‌های بسیاری دارند. در این روش‌ها حداقل دو تصویر از یک سنجنده، با یک مسیر مداری و عبور یکسان، یک قطبش و یک پوشش یکسان برای آشکارسازی تغییرات اخذ می‌شود. یعنی تصویر مرجع (پیش از رویداد) و تصویر هدف (در طول رویداد)، مورد نیاز است [۲۳ و ۲۴].

در این تحقیق، یک رویکرد نوآورانه در ادغام قطبش‌های متفاوت تصاویر اختلاف ارائه شد که در آن باند VV, VH شاخص تغییرات تفاضل با باند VV, VH شاخص تغییرات حاصل از روش لگاریتم نسبت‌ها (نسبت لگاریتمی) به صورت جداگانه با کمک تلفیق موزون، ادغام می‌شوند تا از ترکیب حساسیت‌های مختلف این دو باند به تغییرات سطح زمین، جهت تفکیک بهتر مناطق سیلابی استفاده شود. سپس با معرفی تصویر ادغام شده با دو باند VV و VH به الگوریتم نظارت نشده Pca-Kmeans، سعی در بهبود عملکرد شناسایی نظارت نشده مناطق سیل‌زده خواهیم داشت. ادغام قطبش‌های متفاوت تصاویر راداری باعث بهبود قابل‌توجهی در دقت تشخیص می‌شود که می‌تواند به شناسایی بهتر و سریع‌تر این مناطق در زمان بحران کمک کند.

۲- پیشینه تحقیق

مطالعات انجام‌شده در خصوص روش‌های استخراج دقیق و خودکار مناطق سیل‌زده از داده‌های سنجش ازدوری به‌سرعت در حال افزایش هستند و به یک موضوع تحقیقاتی چالش‌برانگیز و بسیار مهم برای محققان تبدیل شده است. خلاصه‌ای از مهم‌ترین تحقیقات و مطالعات انجام شده در زمینه‌ی شناسایی سیل در جدول ۱ آورده شده است.

Lisa landuyt و همکاران [۲۱] یک چارچوب خوشه‌بندی نظارت نشده مبتنی بر شی با هدف تهیه نقشه سیل در سه منطقه مطالعاتی چین و کرواسی و ایرلند با پوشش گیاهی با تصاویر سنتینل-۱ ارائه دادند. براساس یک جفت تصویر سنتینل-۱، ناحیه مورد نظر به چند قسمت تقسیم می‌شود و با استفاده از الگوریتم Kmeans خوشه‌بندی می‌شوند. این چارچوب به دقت خوبی دست می‌یابد و از معیارهای آستانه‌گذاری مبتنی بر پیکسل بهتر عمل می‌کند. علاوه بر این، این روش ممکن است در مناطقی با پوشش گیاهی متراکم با مشکلاتی مواجه شود.

Vanama و همکاران [۲۵] با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه مشاهدات زمین، یک چارچوب نوین نقشه‌برداری سیل ارائه کردند. این چارچوب از تصاویر راداری و نوری استفاده می‌کند. دو روش آشکارسازی تغییرات، یعنی شاخص نسبت و شاخص تغییرات نرمال شده، در ترکیب با آستانه‌گذاری نیمه اتوماتیک بر روی تصاویر راداری برای شناسایی سیل پیاده‌سازی شدند. در نتیجه، استفاده از تصاویر راداری، درک بهتری از شرایط سیل را فراهم می‌آورد. همچنین استفاده از تصویر مناسب قبل از سیلاب، تخمین سطح سیلاب را افزایش داده است.

Mark Edwin و همکاران [۲۶] با استفاده از تصاویر سنتینل-۱ و ۲ به بررسی مناطق سیل زده در کشور فیلیپین پرداختند. آنها با استفاده از روش‌های آشکارسازی مانند، شاخص $^{1}NDSI$ ، $^{2}SNDI$ ، استنباط بیز و حداستانه‌گذاری ^{3}KI به بررسی مناطق غرقابی پرداختند. روش استنتاج بیزی همراه با مدل هارمونیک از نظر دقت کلی بهتر عمل کردند. این روش ممکن است با چالش‌های مربوط به فعالیت‌های مکانی و زمانی و همچنین حضور پوشش گیاهی و فعالیت‌های انسانی در مناطق شهری مواجه شود.

Amitrano و همکاران [۲۷] در یک مطالعه که در پرو، بریتانیا، و استرالیا انجام شد از تصاویر سنتینل-۱ برای توسعه یک روش نقشه‌برداری سریع سیلاب استفاده کردند. روش پیشنهادی شامل پردازشگر سریع سیل در دو سطح و استفاده از سیستم طبقه‌بندی فازی بود. این روش نسبت به سایر روش‌های طبقه‌بندی مانند SVM و K-means دقت

۱ The Normalized Difference Scattering Index

۲ Shannon's entropy of NDSI

۳ Kittler and Illingworth

بهتری داشت و نیازی به آستانه‌گذاری دستی نداشت. این روش همچنین با هشدارهای کاذب کمتری همراه بود.

Masjuda Khatun و همکاران [۲۸] از سیستم Google Earth Engine با هدف تهیه نقشه سیل و ارزیابی خسارت ناشی از سیلاب بنگال در کشور هندوستان با کمک تصاویر راداری و نوری سنتینل استفاده کردند. از آشکارسازی تغییرات و آستانه گذاری برای تشخیص نواحی ناشی از سیل استفاده شده‌است. در این تحقیق از شاخص MNDWI برای اعتبارسنجی نقشه سیلاب حاصل از داده‌های راداری استفاده شده‌است. حدود ۹۵ درصد از منطقه تحت‌تاثیر سیل از کشاورزی تشکیل شده‌است و محصولات برنج و سبزیجات آسیب دیده‌اند.

Mrinal Singha و همکاران [۲۹] با استفاده از تصاویر سنتینل-۱ و ۲ به بررسی مزارع برنج سیل زده در کشور بنگلادش پرداختند. در این مطالعه از روش‌های آشکارسازی و آستانه گذاری تغییرات (CDAT) و شاخص^۱ NDFI برای تهیه نقشه سیلاب با استفاده از داده‌های سری زمانی SAR استفاده شده‌است. نقشه‌های سیلاب تولید شده در این مطالعه دارای دقت خوبی بوده که نشان‌دهنده قابلیت اطمینان آن‌ها می‌باشد. علاوه بر این، این روش در شناسایی دقیق مناطق سیل‌زده زیر پوشش گیاهی موفق نبوده‌است.

Dodangeh و همکاران [۳۰] در یک مطالعه، از تصاویر سنتینل-۱ و لندست-۸ برای بررسی اراضی کشاورزی آسیب‌دیده از سیلاب در استان خوزستان ایران استفاده کردند. از روش‌های آشکارسازی تغییرات، خوشه‌بندی K-means، و داده‌های جهانی آب (JRC) برای حذف مناطق دائمی آب استفاده و ویژگی‌هایی مانند NDVI و GLCM از تصاویر استخراج شدند تا دقت نتایج افزایش یابد. دقت کلی نقشه سیلاب به ۹۶.۳۰ رسید و ضریب کاپا ۸۰.۰۳ بود. چالش اصلی این تحقیق، در حذف نویزها و برخی از مناطق نادرست سیلاب بود.

Foroughnia و همکاران [۳۱] در یک مطالعه، که در ایتالیا بر روی داده‌های سنتینل-۱ و ۲ انجام شد به بررسی دقت روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده و نظارت نشده برای تولید نقشه سیل پرداختند. در این تحقیق از روش‌های آستانه گذاری ساده و طبقه‌بندی نظارت نشده (CThS)

استفاده شد. نتایج نشان داد که روش نظارت شده RF^۲ دقت بهتری دارد اما روش نظارت نشده نیز نتایج قابل قبولی ارائه داد. چالش‌ها شامل طبقه‌بندی نادرست مناطق پوشیده از گیاهان و خاک ماسه‌ای بودند.

Zhang و همکاران [۳۲] در یک مطالعه، به بررسی خسارات سیلاب بر محصولات کشاورزی در چین پرداخته و از داده‌های راداری سنتینل-۱، Hisea-1 و همچنین داده نوری سنتینل-۲ استفاده کردند. آنها از الگوریتم نظارت نشده K-means برای طبقه‌بندی استفاده کردند. نتیجه این تحقیق شناسایی موفقیت‌آمیز سطح سیلاب بود.

در مطالعه‌ای دیگر، Eric و همکاران [۳۳] با استفاده از داده‌های ERS-1 SAR و تکنیک‌های تشخیص تغییرات مبتنی بر آمار، تغییرات سطح زمین را تحلیل کردند. این مطالعه نشان داد که روش‌های آمار کلاسیک در تشخیص تغییرات مناطق شهری و طبیعی مؤثر هستند، اما نویز اسپکل و محدودیت‌های مکانی تصاویر SAR چالش‌هایی را در استخراج دقیق تغییرات به همراه داشت.

گونگ و همکاران [۳۵] به بررسی تشخیص تغییرات در تصاویر رادار پرداخته و به چند مجموعه داده خاص، از جمله تصاویر سیلاب اوتاوا و برن استفاده کردند. در این روش ابتدا تصاویر خروجی از دو روش لگاریتم نسبت‌ها و میانگین نسبت‌ها با تلفیق موجک ادغام می‌شوند. سپس از روش‌های فازی جهت خوشه‌بندی استفاده می‌شود. مزایای این روش کاهش نویز و حفظ اطلاعات لبه است.

در یک جمع‌بندی کلی از مطالعات اخیر مبتنی بر استفاده از یادگیری ماشین و تشخیص تغییرات می‌توان گفت، برخی مطالعات فقط از یک روش در الگوریتم خود استفاده کرده و برخی دیگر نیز در شناسایی سیل از ترکیب چندین روش استفاده کرده‌اند.

با توجه به نتایج ارزشمند مطالعات ذکر شده جدول ۱، می‌توان چالش‌ها و محدودیت‌هایی را عنوان کرد: ۱- عدم ارائه روشی مقاوم به نویز اسپکل در تصاویر راداری در تولید نقشه سیل که منجر به طبقه‌بندی نادرست مناطق سیل‌زده نشوند، ۲- چالش در تهیه نقشه سیل در مناطق حومه شهری دارای پوشش گیاهی و مزارع به دلیل بازگشت دو انعکاسی سیگنال راداری و ۳- عدم استفاده از روش‌هایی مبتنی بر ادغام تصاویر اختلاف و اطلاعات قطبش‌های متفاوت SAR

^۲ Random Forest

^۱ Normalized Difference Flood Index

جدول ۱- مروری بر مطالعات انجام شده در زمینه شناسایی سیل

نوع داده	روش	کشور	نقشه برداری
Lisa Landuyt (۲۰۲۰) [۲۱]	استفاده از روش طبقه بندی نظارت نشده Kmeans	Sentinel-1, 2	Croatia – Ireland
V. S. K. Vanama [۲۵] (۲۰۲۱)	دو روش آشکارسازی تغییرات یعنی شاخص RI و شاخص NCI	Worldview-3, Sentinel-2, Sentinel-1	India
Mark Edwin (۲۰۲۳) [۲۶]	روش های آشکارسازی شامل: شاخص SNDSI, NDSI، باقیمانده ها استاندارد شده (SR)، استنباط بیز و حد آستانه گذاری KI	Sentinel-1,2	Philippine
Donato Amitrano (۲۰۱۷) [۲۷]	روش پیشنهادی شامل پردازشگر سریع سیل در دو سطح و استفاده از سیستم طبقه بندی فازی- مقایسه روش پیشنهادی با Kmeans	Sentinel-1	Britain – Australia
Masjuda Khatun (۲۰۲۲) [۲۸]	از آشکارسازی تغییرات و آستانه گذاری (CDT) برای تشخیص نواحی سیل زده استفاده شده است.	Sentinel-1,2	India
Mrinal Singh (۲۰۲۰) [۲۹]	روش های آشکارسازی و آستانه گذاری تغییرات (CDAT) و شاخص NDFI	Sentinel-1,2	Bangladesh
Parisa Dodangeh [۳۰] (۲۰۲۲)	تعیین آستانه دستی، خوشه بندی KMeans	Sentinel-1, Landsat-8	Khuzestan
Fatemeh Foroughnia (۲۰۲۲) [۳۱]	استفاده از روش های طبقه بندی نظارت شده و نظارت نشده	Sentinel-1(VV) and Sentinel-2	Italy
Eric J. M. Rignot (۲۰۲۲) [۳۳]	روش های آشکارسازی تغییرات	ERS-1 SAR	USA
Maoguo Gong [۳۵] (۲۰۱۲)	استفاده از تلفیق موجک در ادغام تصاویر حاصل از تشخیص تغییرات	Radarsat-2	USA-Germany

ارائه روشی دقیق برای بررسی شناسایی سیلاب همواره مورد توجه پژوهشگران بوده است. تاکنون روش های بسیاری ارائه شده است که هر یک از آنها جوانبی را از بررسی این مسئله آشکار می سازد. جهت غلبه بر مشکلات و محدودیت های مطرح شده ی روش های پیشین در تشخیص دقیق مناطق سیل زده، در طرح پیش رو با الهام از مطالعات صورت گرفته قبلی و با به کارگیری توانایی های یادگیری ماشین در تشخیص سیل، برای اولین بار از یک

رویکرد نوآورانه جهت بهبود عملکرد الگوریتم شناسایی نظارت نشده تغییرات استفاده شد. در پژوهش حاضر بنا بر فرضیاتی اقدام به ارائه شاخصی حاصل از ادغام قطبش های متفاوت راداری تصاویر اختلاف برای بررسی شناسایی سیل با استفاده از الگوریتم نظارت نشده شده است. نهایتاً نوآوری اصلی در این تحقیق عبارت است از بکارگیری اطلاعات حاصل از دو قطبش متفاوت VV و VH و ادغام آن ها از طریق تلفیق موجک به منظور حذف حداکثری

همچنین در رابطه با داده‌های استفاده شده، از سامانه GoogleEarthEngine (<https://earthengine.google.com>) که یک ابزار قدرتمند برای استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای است استفاده شد. با استفاده از این سامانه می‌توان تمامی مناطق، پوشش‌ها و کاربری‌های سطح زمین را با جزئیات مکانی بالا مشاهده و تحلیل کرد. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق متشکل از دو تصویر قبل و بعد از سیل سنتینل-۱ با قطبش‌های VV, VH و همچنین تصویر نوری قبل و بعد از سیل سنتینل-۲ که شامل ۱۳ باند است. علاوه بر تصحیح رادیومتریکی تصویر نوری، پیش‌پردازش تصاویر SAR شامل تصحیح مداری، تصحیح نویز اسپکل، تصحیح توپوگرافی و هم مرجع‌سازی با تصویر نوری در سامانه گوگل ارث انجام گرفته‌است. در نهایت در این تحقیق با توجه به پویا بودن پدیده سیل، تصاویر سنتینل-۱ با دو باند VH, VV و تصاویر سنتینل-۲، مربوط به زمان رخداد سیل هر دو در یک زمان یکسان (۱۹ فروردین سال ۱۳۹۸ معادل ۸ اپریل سال ۲۰۱۹ برای مجموعه داده اول و ۲۴ فروردین سال ۱۳۹۸ معادل ۱۳ اپریل سال ۲۰۱۹ برای مجموعه داده دوم) تهیه شد. در واقع یکی از دلایل انتخاب این دو منطقه سیل‌زده وجود تصاویر نوری و راداری حین رخداد سیل در یک روز مشابه است که در دیگر مناطق سیل‌زده کشور در سالیان اخیر دیده نشده‌است. در جدول ۲ و ۳ اطلاعات داده‌ها ارائه شده‌است.

جدول ۲- اطلاعات داده‌های استفاده شده در منطقه اهواز

نوع گذر	سایز تصویر	تاریخ بعد سیل	تاریخ قبل سیل	سنجنده
Descending	(۳۸۲۴, ۵۱۳۷)	۲۰۱۹/۰۴/۰۸	۲۰۱۹/۰۳/۰۸	Sentinel 1
Sun-synchronous	(۳۸۲۴, ۵۱۳۷)	۲۰۱۹/۰۴/۰۸	۲۰۱۹/۰۳/۰۹	Sentinel 2

جدول ۳- اطلاعات داده‌های استفاده شده در منطقه شاکریه

نوع گذر	سایز تصویر	تاریخ بعد سیل	تاریخ قبل سیل	سنجنده
Ascending	(۱۹۶۹, ۲۳۸۶)	۲۰۱۹/۰۴/۱۳	۲۰۱۹/۰۳/۰۸	Sentinel 1
Sun-synchronous	(۱۹۶۹, ۲۳۸۶)	۲۰۱۹/۰۴/۱۳	۲۰۱۹/۰۳/۰۹	Sentinel 2

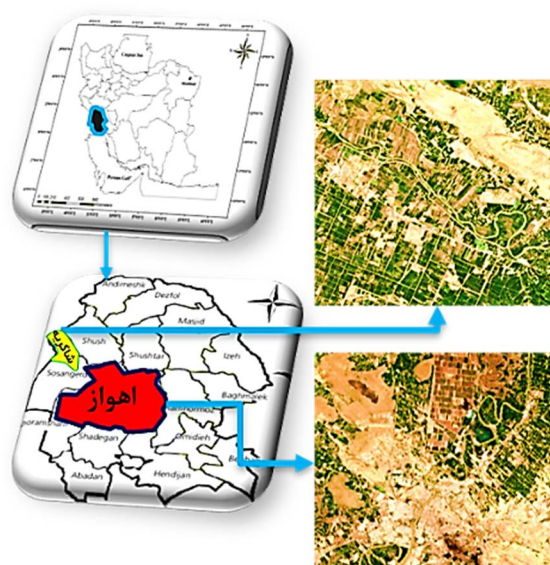
۴- روش پیشنهادی

روش ارائه شده در این تحقیق، یک روش ترکیبی بر مبنای تلفیق اطلاعات دو قطبش متفاوت VV و VH حاصل از

نویز اسپکل و دخالت حداقلی پراکنش مجدد سیگنال رادار، جهت تولید نقشه مناطق سیل‌زده با اطلاعات جامع‌تر و اطمینان بالا. انتظار می‌رود این رویکرد تشخیص درست سیل را انجام داده و اعتمادپذیری بالایی در مقایسه با روش‌های دیگر ایجاد کند.

۳- مشخصات منطقه‌ی مطالعاتی و داده‌ها

مطالعه‌ی موردی این پژوهش، منطقه‌ی اهواز و شاکریه واقع در شهر سوسنگرد در استان خوزستان می‌باشند (شکل ۱). از اواسط مارس تا آوریل ۲۰۱۹، سیل مرگبار گسترده در بخش‌های بزرگی از ایران، در استان‌های گلستان، خوزستان و دیگر استان‌ها به دلیل چندین موج بزرگ باران اتفاق افتاد. در این بین سیل در اهواز یک فاجعه ویرانگر بود که هزاران نفر را در منطقه تحت‌تأثیر قرار داد. با توجه به بارش شدید در کوه‌های زاگرس و باز شدن سدها در ۹ فروردین ۹۸، شش شهر و حدود ۷۰ روستا زیر آب رفتند. بارش سنگین باعث سرریز شدن رودخانه‌ها شد. سیلاب، خانه‌ها و زمین‌های کشاورزی را زیر آب فرو برده و منجر به جابه‌جایی قابل‌توجه ساکنان شده‌است و خسارات بسیاری را بر این منطقه وارد کرده است. خوزستان یک حوزه مسطح بسیار بزرگ است که تغییرات سریعی می‌تواند در آن رخ دهد. انتظار می‌رود اثرات تغییر اقلیم جهانی منجر به افزایش شدت بارش و وقایع سیل در همه مناطق اقلیمی شود و شهرهای ایران نیز از این قاعده مستثنی نیستند.



شکل ۱- منطقه‌ی مطالعاتی اهواز و شاکریه

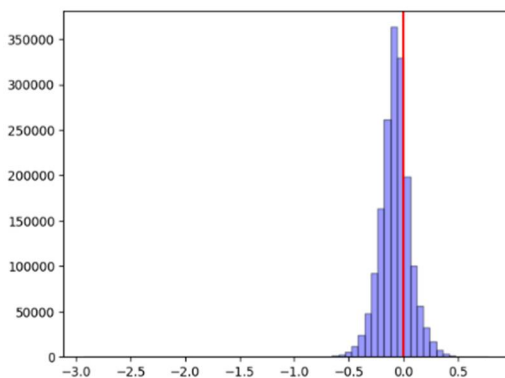
(۱)

$$X_d = X_2 - X_1$$

طبق رابطه، X_d تصویر تفاضل و دو تصویر X_1 و X_2 به ترتیب تصویر مرجع و تصویر بعد از سیل تعریف می‌شوند. رابطه تفاضل بدون قدر مطلق، تفاضل مستقیم بین پیکسل‌های متناظر دو تصویر را محاسبه می‌کند. این نوع تفاضل برای تحلیل تغییرات با جهت‌گیری مشخص مناسب است، مثلاً تعیین اینکه آیا بازتاب راداری افزایش یا کاهش پیدا کرده است. بر همین اساس جهت شناسایی مناطق سیل‌زده که منجر به کاهش بازتاب راداری در سطح منطقه می‌شوند نیاز به استفاده از رابطه تفاضل بدون قدر مطلق داریم [۴۰]. باید دقت شود در صورت استفاده از قدر مطلق، تغییرات رخ داده در تصویر اول مانند تغییرات پوشش زمین که ممکن است در تصویر دوم (در طول سیل)، وجود نداشته باشند نیز شناسایی می‌شوند که مدنظر پژوهش حاضر نمی‌باشد. بر همین اساس مناطق غرقاب در تصویر دوم تیره‌تر و در تصویر تفاوت نیز تیره به نظر می‌رسند، در حالی که مناطقی که در هر دو تصویر دارای پیکسل‌های مشابهی هستند (عدم تغییر) و یا تغییرات افزایشی داشته‌اند، روشن به نظر می‌رسند، لذا پیکسل‌های غیر غرقاب تلقی می‌شوند.

۴-۳- ایجاد تصویر لگاریتم نسبت‌ها

در این قسمت، هدف افزایش اطمینان ما از شناسایی شدن پیکسل‌های غرقاب است. در تصاویر تفاضل مناطق تغییر یافته به خوبی شناسایی می‌شوند اما نویز به خوبی حذف نمی‌شود که سبب برچسب‌گذاری مناطقی می‌شوند که سیل رخ نداده‌است، لذا نیازمند حل مشکل نویز و حفظ اطلاعات باز پراکنش هستیم.



شکل ۲- دامنه مقدار پیکسل‌های تصویر لگاریتم نسبت‌ها

شاخص تفاضل و لگاریتم نسبت‌ها به منظور بهبود عملکرد شناسایی نظارت نشده تغییرات است که هدف از آن، شناسایی مناطق سیل‌زده است. ابتدا در بخش اول داده‌ها آماده می‌شوند. سپس در بخش دوم با استفاده از تصاویر قبل و بعد از سیل، تصویر تفاضل برای دو باند VH و VV تولید و در بخش سوم نیز تصویر لگاریتم نسبت‌ها برای دو باند VH و VV تولید می‌شود تا در نهایت در بخش چهارم با تلفیق موجک، اطلاعات هر دو تصویر با باند مشابه ادغام شوند تا نهایتاً در بخش پایانی، تصویر ادغام شده با دو باند به الگوریتم Pca-Kmeans متداول معرفی شود تا عملکرد آن بهبود یابد. شکل ۳، روند کلی روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. در ادامه، هر یک از مراحل بیان شده به تفصیل شرح داده شده‌است.

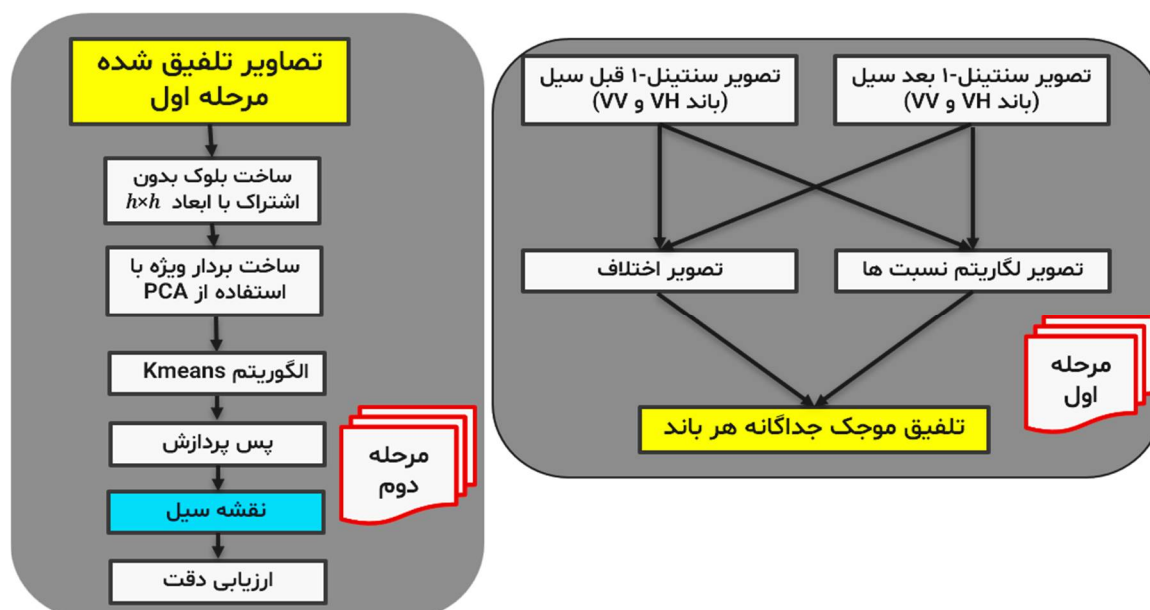
۴-۱- آماده‌سازی و پیش‌پردازش داده‌ها

حساسیت امواج میکروویو نسبت به ویژگی‌های پدیده‌های سطح زمین باعث ایجاد نویز اسپکل می‌شود [۳۳]. نویز اسپکل یک اثر مزاحم در تصاویر است که می‌تواند کیفیت تصویر را کاهش و اطلاعات مفید را در تصاویر مبهم کند. این اثر از نوع تصادفی و ممکن است به عوامل مختلفی مانند اختلاف در دمای هوا و خطاهای سخت افزاری بستگی داشته باشد. برای کاهش این اثرات، محققان از روش‌هایی مانند فیلترینگ تصویر برای تشخیص و حذف آن از استفاده می‌کنند. در این تحقیق از فیلتر ^{1}RLF برای حذف نویز و تولید تصویری نرم‌تر استفاده شده‌است. مطالعات گذشته نشان داد که فیلتر پیشنهادی عملکرد فیلتر اصلی Lee را بهبود بخشیده است [۳۴]؛ لذا از این فیلتر برای کاهش نویز اسپکل، بر روی هر دو تصویر قبل و بعد از سیل استفاده شده‌است.

۴-۲- ایجاد تصویر تفاضل

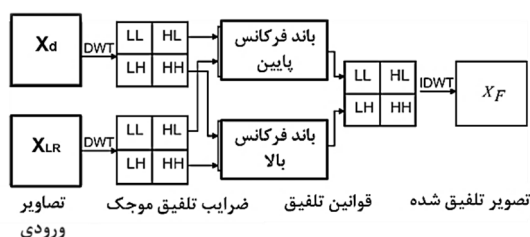
دومین گام روش پیشنهادی ایجاد تصویر تفاضل است. پس از انتخاب دو تصویر جهت تشخیص سیل، یعنی یک تصویر "مرجع" و یک تصویر "غرقاب" و انجام پیش‌پردازش مربوط به نویز اسپکل، از روش شناسایی تغییرات تفاضل برای استخراج میزان سیلاب استفاده شد. بر همین اساس رابطه زیر را خواهیم داشت:

^۱ Refined Lee Filter



شکل ۳- روند کلی روش پیشنهادی تولید نقشه‌ی سیل باینری

منظور جلوگیری از نویز و افزایش اطلاعات نواحی تغییر یافته، معرفی می‌شود [۳۵ و ۴۸]. روش لگاریتمی با افزایش پیکسل‌های با شدت پایین و تضعیف پیکسل‌ها در نواحی با شدت بالا مشخص می‌شود. با این حال، اطلاعات نواحی تغییر یافته در تصویر نسبت لگاریتمی، ممکن است به دلیل تضعیف در نواحی پیکسل‌های با شدت بالا قادر به انعکاس روند تغییرات واقعی در حداکثر دامنه نباشند. تلفیق موجک بر نمایش ناپیوستگی‌های نقطه‌ای و حفظ جزئیات زمانی و فرکانسی در تصویر تمرکز می‌کند [۳۵].



شکل ۴- روند انجام تلفیق موجک [۳۵ و ۴۸]

مطابق شکل ۴ [۳۵] و رابطه (۳) در هنگام انجام ادغام موجک، هر تصویر به ضرایبی تجزیه می‌شود که مولفه‌های فرکانسی مختلف تصویر را نشان می‌دهد (مانند تقریب فرکانس پایین و جزئیات فرکانس بالا). برای ادغام دو تصویر، ضرایب موجک متناظر آن‌ها باید تلفیق شوند. در این تحقیق از روش ادغام میانگین استفاده می‌شود (رابطه ۴). این روش کار را با میانگین گیری ضرایب متناظر از دو تصویر انجام می‌دهد که مقدار میانگین نشان‌دهنده ضریب

برای این منظور طبق مطالعات انجام شده از رابطه نسبت لگاریتمی (LogRatio) مطابق با رابطه (۲) استفاده می‌شود [۳۵]. عملگر نسبت لگاریتمی یا لگاریتم نسبت‌ها در بهبود پیکسل‌هایی با شدت کم به کار رفته و این در حالی است که عملکرد آن در پیکسل‌هایی با شدت بالا ضعیف است. از این رو اطلاعات به دست آمده از این تصویر ممکن است نتواند روند تغییرات واقعی را منعکس کند اما در کاهش نویز به خوبی عمل می‌کند [۴۳].

$$\text{Log Ratio} = \log \left(\frac{\text{Post} + 1}{\text{Pre} + 1} \right) \quad (2)$$

در این رابطه Pre تصویر قبل از وقوع سیل و Post تصویر بعد از وقوع سیلاب می‌باشد. مقادیر تصاویر بعلاوه یک می‌شوند تا در صورت وجود پیکسلی با مقدار صفر در رابطه مربوطه مشکلی پیش نیاید.

۴-۴- تلفیق موجک

در این بخش، هدف تلفیق اطلاعات به دست آمده از روش تفاضل و تصویر حاصل شده از اعمال عملگر لگاریتم نسبت‌ها برای هر دو باند VV و VH به صورت جداگانه، به منظور ادغام مناطق همگن با فرکانس بالا جهت بهبود عملکرد الگوریتم PCA-Kmeans متداول می‌باشد که در ادامه به آن خواهیم پرداخت. تکنیک ادغام با استفاده از اطلاعات هر دو تصویر برای ایجاد یک تصویر متفاوت به

تلفیق است که حاوی اطلاعات متعادل از هر دو تصویر است. در واقع روش میانگین بر روی هر دو فرکانس پایین و فرکانس بالا اعمال می‌شود. این روش زمانی مفید است که می‌خواهیم این دو تصویر را به روشی تلفیق کنیم که اطلاعات را از هر دوی آن‌ها متعادل کند. این به ویژه زمانی موثر است که میانگین‌گیری می‌تواند به کاهش نویز موجود در تصاویر کمک کند. همچنین تصویر ادغام‌شده یک نمایش متعادل از ویژگی‌های هر دو تصویر ورودی است. قوانین تلفیق را می‌توان به صورت نمونه برای باند VV در روابط (۳)، (۴) و (۵) توصیف کرد:

$$\begin{aligned} VV_{LR} &\xrightarrow{DWT} \{Coeff_{LR}^{LL}, Coeff_{LR}^{LH}, Coeff_{LR}^{HL}, Coeff_{LR}^{HH}\} \\ VV_D &\xrightarrow{DWT} \{Coeff_D^{LL}, Coeff_D^{LH}, Coeff_D^{HL}, Coeff_D^{HH}\} \end{aligned} \quad (3)$$

ضرایب ادغام نیز به صورت:

$$\begin{aligned} Coeff_{fused}^{LL} &= ((Coeff_{LR}^{LL} + Coeff_D^{LL})/2) \\ Coeff_{fused}^{LH} &= ((Coeff_{LR}^{LH} + Coeff_D^{LH})/2) \\ Coeff_{fused}^{HL} &= ((Coeff_{LR}^{HL} + Coeff_D^{HL})/2) \\ Coeff_{fused}^{HH} &= ((Coeff_{LR}^{HH} + Coeff_D^{HH})/2) \end{aligned} \quad (4)$$

و نهایتاً ضرایب برای ساخت تصویر نهایی تلفیق می‌شوند:

$$F = IDWT(Coeff_{fused}^{LL}, Coeff_{fused}^{LH}, Coeff_{fused}^{HL}, Coeff_{fused}^{HH}) \quad (5)$$

که در این روابط LR تصویر حاصل از روش لگاریتم نسبت‌ها، D تصویر حاصل از روش تفاضل، F تصویر ادغام‌شده، LL نماد فرکانس پایین و LH, HL, HH سه ضریب فرکانس بالا را نشان می‌دهند.

۴-۵- الگوریتم PCA-Kmeans

این مرحله با هدف تولید نقشه بهینه تغییرات با اعمال مدل PCA-Kmeans بر تصویر حاصل از ادغام (مرحله قبل) صورت می‌گیرد. این روند خود از چندین مرحله تشکیل شده است که در ادامه به توضیح هر یک پرداخته می‌شود. روش PCA-K-means متداول مبتنی بر تصویر تفاضل در سال ۲۰۰۹ میلادی توسط آقای Turgay Celik ارائه شد [۳۶] و قصد ما بهبود عملکرد این روش است. بطور کلی، همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، برخلاف نسخه متداول که از تصویر تفاضل به

عنوان ورودی استفاده شده است در اینجا ابتدا تصویر ادغام شده که دارای دو باند VV و VH است به M بلوک ناهمپوشان با سایز $h \times h$ تقسیم می‌شود تا یک مجموعه ویژگی تولید و هر قسمت نیز به برداری به سایز $1 \times h^2$ تبدیل می‌شود.

سپس، بردارهای بدست آمده ماتریسی را با ابعاد $2 \times M \times h$ تشکیل می‌دهند. در مرحله دوم، تبدیل PCA بر مجموعه ویژگی اعمال می‌گردد. با اعمال این تبدیل می‌توان باندهایی جدید به دست آورد که حداقل همبستگی را با هم دارند. برای دستیابی به مؤلفه‌های اصلی تصویر لازم است ماتریس واریانس کوواریانس محاسبه و مقادیر بردارهای ویژه از ماتریس کوواریانس استخراج شوند [۳۷]. در نهایت در مرحله سوم الگوریتم Kmeans با تعیین دو خوشه بر روی داده حاصل از تبدیل اعمال می‌شود. تخصیص هر پیکسل به یکی از دو خوشه با استفاده از حداقل فاصله اقلیدسی بین بردار میانگین پیکسل طبق رابطه (۶) انجام می‌شود [۳۶]:

$$EuclideanDistance(x, y) = \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \quad (6)$$

سپس k نقطه به عنوان مراکز اولیه به صورت تصادفی انتخاب و برای هر نقطه فاصله‌اش تا مرکز محاسبه و به نزدیک‌ترین مرکز اختصاص داده می‌شود و سپس مرکز جدید هر خوشه به عنوان میانگین نقاط آن خوشه محاسبه می‌شود [۳۶]:

$$label(x_i) = \operatorname{argmin}_j EuclideanDistance(x_i, c_j) \quad (7)$$

اگر مراکز جدید با مراکز قبلی برابر باشند، الگوریتم خاتمه می‌یابد [۳۶]. گام بعدی پس پردازش نقشه نهایی حاصل از PCA-Kmeans است. پیکسل‌هایی که در سطح منطقه به صورت دورافتاده پخش شده‌اند ممکن است در اثر پر شدن آب در برکه‌ها یا شیب منطقه به صورت سایه به وجود آمده باشند که سبب ایجاد پیکسل‌هایی تیره در تصویر راداری می‌شوند در صورتی که پیکسل‌هایی غیرسیل هستند. در واقع این عملیات، اطمینان از حذف شدن پیکسل‌های دورافتاده است. بر همین اساس هر جزء متصل پیکسل‌ها در تصویر را شناسایی برچسب‌گذاری می‌شوند:

$$(8)$$

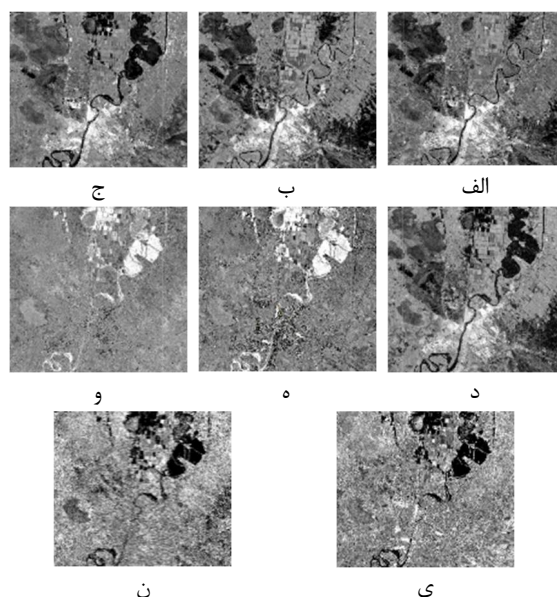
$$C(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if size(connected_components}(I)) \geq T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

سپس مجموع پیکسل‌ها در هر جزء متصل محاسبه و ماسکی ایجاد می‌شود که اجزای کوچک‌تر از $T=10$ پیکسل

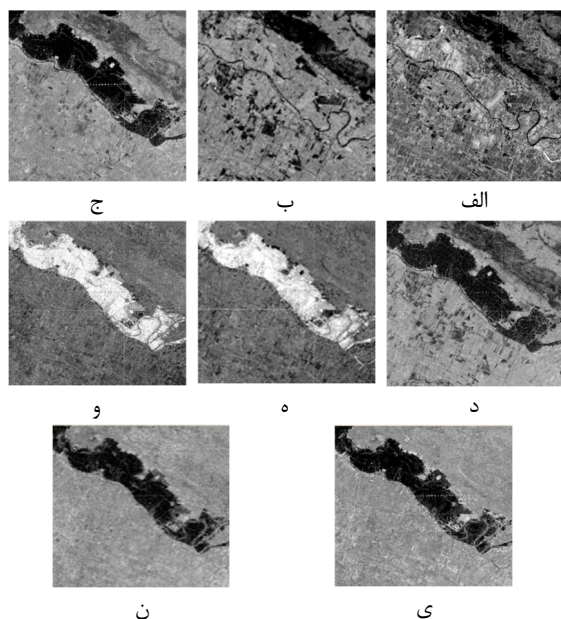
را شناسایی کند تا پیکسل‌های دورافتاده‌ایی که سیل نیستند، حذف شوند.

۵- نتایج و ارزیابی

به منظور دستیابی به ارزیابی کمی و کیفی نتایج آشکارسازی، نیاز به تولید نقشه مرجع به صورت دستی داریم (شکل ۷ و ۸). با توجه به طبیعت زودگذر سیل، وسعت آب در طول فرآیند سیلاب می‌تواند تغییرات روزانه داشته باشد. بنابراین موقعیت زمینی از نقاط سیل‌زده اغلب وجود ندارد. با این حال خوشبختانه در هر دو منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، نقشه مرجع تغییرات در تاریخ مشابه با داده سنتینل-۱ تولید شد. برای مثال برای منطقه اهواز دو تصویر نوری از سنجنده سنتینل-۲، تصویر اول یک ماه قبل از سیل (۱۷ اسفند) و تصویر دوم در طول واقعه سیل (۱۹ فروردین) مشابه با تاریخ اخذ داده سنتینل-۱ تهیه شد. جهت تولید نقشه مرجع، علاوه بر استفاده از تمامی باندهای ماهواره سنتینل-۲ از شاخص‌های MNDWI، NDBI، BSI، NDVI و همچنین شیب و جهت شیب بدست آمده از ماهواره ALOS استفاده شد تا به عنوان ویژگی [۳۸] به طبقه بندی کننده جنگل تصادفی معرفی شوند. NDWI



شکل ۵- مجموعه داده‌های راداری اهواز: الف) باند ۷۷ تصویر قبل از سیل، ب) باند ۷۸ تصویر قبل از سیل، ج) باند ۷۷ تصویر بعد از سیل، د) باند ۷۸ تصویر بعد از سیل، ه) باند ۷۷ تصویر لگاریتم نسبت‌ها، و) باند ۷۸ تصویر لگاریتم نسبت‌ها، ی) باند ۷۷ تصویر تفاضل، ن) باند ۷۸ تصویر تفاضل



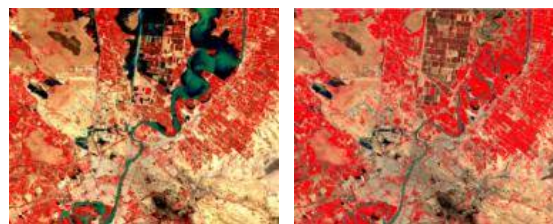
شکل ۶- مجموعه داده‌های راداری شاکریه: الف) باند ۷۷ تصویر قبل از سیل، ب) باند ۷۸ تصویر قبل از سیل، ج) باند ۷۷ تصویر بعد از سیل، د) باند ۷۸ تصویر بعد از سیل، ه) باند ۷۷ تصویر لگاریتم نسبت‌ها، و) باند ۷۸ تصویر لگاریتم نسبت‌ها، ی) باند ۷۷ تصویر تفاضل، ن) باند ۷۸ تصویر تفاضل

می‌تواند منجر به برآورد بیش از حد آب شود زیرا به سازه‌های شهری حساس است [۳۹]. برای حذف نویز سازه‌های شهری، MNDWI با جایگزین کردن باند مادون قرمز نزدیک (NIR) با باند مادون قرمز میانی (MIR) ساخته می‌شود. شاخص MNDWI بر NDWI ترجیح داده می‌شود، زیرا با استفاده از باندهای سبز و SWIR می‌تواند ویژگی‌های آب باز، مناطق شهری و گیاهان را بهبود بخشد [۳۹].

در این تحقیق جهت ارزیابی کمی نتایج حاصل از آشکارسازی نظارت نشده تغییرات، از چهار معیار FN (پیکسل‌هایی که به اشتباه به عنوان سیل شناسایی نشده‌اند)، FP (پیکسل‌هایی که به اشتباه سیل شناسایی شده‌اند)، دقت کلی و f1-Score استفاده شد

جدول ۴- ماتریس ابهام

نقشه تغییرات روش موردنظر			
نتیجه	کلاس	تغییر	غیرتغییر
	تغییر	TN	FP
	غیرتغییر	FN	TP



(ج)

شکل ۷- مجموعه داده‌های مرجع نوری و ترکیب رنگی کاذب ۳-۴-۸

مورد استفاده در منطقه اهواز : (الف) تصویر نوری قبل از سیل،

(ب) تصویر نوری بعد از سیل، (ج) تصویر مرجع نهایی سیل



شکل ۸- تصویر مرجع نهایی سیل مجموعه داده‌ها مورد استفاده در منطقه شاکریه

. نقشه تغییرات حاصل که شامل دو کلاس تغییرات و عدم تغییرات است، با داده واقعیت زمینی مقایسه می‌شود تا ماتریس خطا تشکیل گردد. سپس می‌توان معیارهای گفته شده را برآورد کرد. بدین منظور با مقایسه پیکسل‌های سیل و غیر سیل استخراج شده از داده‌های مرجع، مطابق جدول ۴ [۴۰]، می‌توان دقت روش پیشنهادی را مورد بررسی قرار داد. در این بخش نتایج حاصل از پیاده‌سازی روش پیشنهادی در دو بخش ارائه می‌شود. در گام اول به ارزیابی منطقه اول مورد مطالعه (اهواز) در این تحقیق خواهیم پرداخت. در گام دوم، روش پیشنهادی در منطقه مورد مطالعه دوم (شاکریه) مورد ارزیابی و بحث قرار می‌گیرد. در ادامه تلاش می‌شود که هر کدام از این موارد به صورت مفصل توضیح داده شود.

۵-۱- نتایج مجموعه داده‌های اهواز

در ارزیابی اول، کارایی روش پیشنهادی در منطقه اهواز بررسی شد که نسبت به مجموعه داده دوم بزرگ‌تر و شامل مناطق شهری است. مطابق نقشه تغییرات حاصل شده از روش پیشنهادی در شکل ۱۱، تغییرات شدید پوشش زمین به خوبی منعکس شده و پس‌زمینه (نواحی بدون تغییر) در نقشه نهایی به میزان مشخصی با استفاده از ضرایب کوچک مهار شده و بهبودهای اعمال شده در این تحقیق، موجب افزایش دقت این الگوریتم به‌ویژه در مناطق ناهمگن شده است. همانطور که در جدول ۵ نشان داده شد، نتایج آشکارسازی تغییرات سیل با روش پیشنهادی با نتایج حاصل از PCA-K-means متداول و PCA-GMM مقایسه شدند. از تجزیه و تحلیل جدول ۵ و شکل ۹ می‌توان دریافت که نتایج آشکارسازی تغییرات روش پیشنهادی، موفقیت‌آمیز بوده است. با تحلیل بصری شکل ۱۱ و ۱۴ می‌توان درک بهتری از رفتار سه روش مختلف داشت.

مطابق جدول ۵، روش پیشنهادی دارای بهترین عملکرد در مقایسه با سایر روش‌ها بوده است. از نظر کمی روش پیشنهادی توانسته است به اندازه ۳ و ۹ درصد به ترتیب در مقایسه با عملکرد روش‌های PCA-K-means متداول و PCA-GMM صحت کلی را افزایش دهد. پس از روش پیشنهادی، روش PCA-K-means متداول به خوبی توانسته است سیل را شناسایی کند.

با توجه به عملکرد مناسب این روش نسبت به روش PCA-GMM، باید توجه داشت که تصاویر سنتینل-۱ و تصاویر تفاضل به دست آمده از آن‌ها ممکن است به طور طبیعی خوشه‌هایی را تشکیل دهند که کروی و توزیع یکنواخت‌تری دارند [۴۱]، که با فرضیات الگوریتم Kmeans همخوانی خوبی دارند. Kmeans داده‌ها را با به حداقل رساندن واریانس درون هر خوشه که وقتی خوشه‌ها تقریباً کروی و به اندازه مساوی باشند، به خوبی جواب می‌دهد [۴۲]. از طرفی GMM فرض می‌کند که داده‌ها از ترکیب چندین توزیع گوسی، هر کدام با میانگین و کوواریانس خود تولید می‌شوند [۴۷]. این فرض می‌تواند برای انواع خاصی از داده‌ها بسیار پیچیده باشد، به خصوص زمانی که خوشه‌ها گوسی نیستند و یا زمانی که مجموعه داده‌ها بزرگ باشند و مشخصه‌ها بسیار هم‌بسته باشند.

جدول ۵- نتایج کمی حاصل از روش‌های مختلف شناسایی تغییرات در منطقه اهواز

روش	FN	FP	OA	FS
PCA-k-means	۸۴۸۲۱۹	۴۲۲۳۵۲	۰.۹۲۰	۰.۶۶
PCA- GMM	۹۱۶۵۴۱	۱۷۰۷۳۱۳	۰.۸۶۶	۰.۵۰
روش پیشنهادی	۸۷۰۰۷۴	۲۰۶۳۳۹	۰.۹۵۰	۰.۷۳

جدول ۶- نتایج کمی حاصل از روش‌های مختلف شناسایی تغییرات در منطقه شاکریه

روش	FN	FP	OA	FS
PCA-k-means	۳۱۱۴۰۹	۵۶۷۷۶	۰.۹۲۰	۰.۷۹۷
PCA- GMM	۳۱۹۵۵۰	۵۱۹۷۱	۰.۹۲۰	۰.۷۹۴
روش پیشنهادی	۲۴۴۴۲۵	۴۱۹۲۰	۰.۹۴۰	۰.۸۵۰

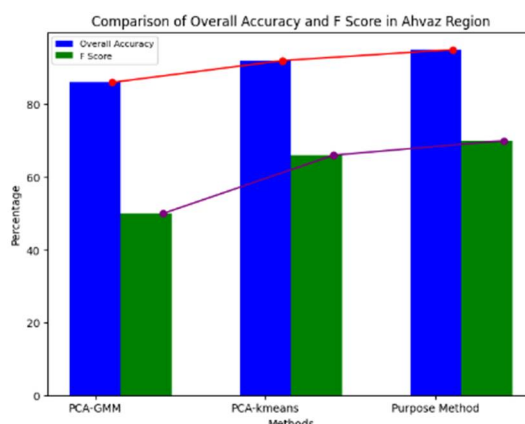
برای شناسایی سیل، تفاوت در مقادیر شدت ممکن است با توزیع گوسی برازش نداشته باشد که منجر به عملکرد ضعیف^۱ GMM می‌شود. GMM شامل برآورد پارامترهای چندگانه (میانگین، کوواریانس و وزن) است که می‌تواند از نظر محاسباتی پرهزینه و حساس به مقداردهی اولیه باشد. در نتیجه مناطق سیلابی و غیر سیلاب ممکن است تغییرات ناگهانی و مشخصی در مقادیر شدت پیکسل داشته باشند که به راحتی توسط روش مرکز محور Kmeans ثبت می‌شوند که منجر به هم‌گرایی سریع‌تر و نتایج پایدارتر به‌ویژه در مجموعه داده‌های بزرگ می‌شود. از طرفی در مقایسه عملکرد روش PCA-K-means متداول PCA-K-means بهبود یافته (روش پیشنهادی)، به‌کارگیری الگوریتم PCA-K-means مبتنی بر تصویر تفاضل اگرچه تا حدی با انتخاب دو مؤلفه اصلی موفق بوده‌است، اما همچنان در تشخیص دقیق مناطق سیل‌زده به علت نویز حاصل از روش تفاضل ناتوان است.

در تصاویر SAR به‌ویژه در مقیاس DB (دسیبل) نویز به صورت تصادفی توزیع می‌شود. استفاده از روش تفاضل که ناشی از تفاضل تصویر قبل و بعد از سیل (رابطه ۱) است این نویز را هموار کرد، به خصوص در مناطقی که تغییر قابل توجهی را تجربه نکرده‌اند و منجر به این شد که بر روی تغییرات معنادار تمرکز شود. تفریق مستقیم مقادیر دسیبل، بزرگی و جهت تغییر را به روشی حفظ کرد که با فیزیک باز پراکنش سیگنال‌های رادار همسو باشد تا بتوان تغییرات

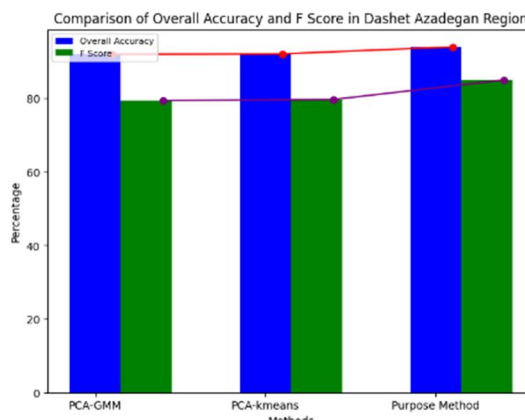
موجود در منطقه مورد مطالعه را به خوبی شناسایی و مشخص کرد. از طرف دیگر با وجود شناسایی تغییرات در تصاویر تفاضل، نویز اسپیکل به طور مؤثری حذف نمی‌شود و این موضوع منجر به برچسب‌گذاری نادرست مناطقی می‌شود که در آن‌ها سیل رخ نداده است [۴۴ و ۳۳]. بنابراین، نیاز به حل مشکل نویز و حفظ اطلاعات مربوط به بازپراکنش و شدت سطح زمین باعث شد که از رابطه نسبت لگاریتمی استفاده شود. به طور کلی، نسبت لگاریتمی در بهبود پیکسل‌هایی با شدت کم مؤثر بود، در حالی که عملکرد آن در پیکسل‌های با شدت بالا ضعیف بوده‌است. از این رو، اطلاعات به دست آمده از این تصویر ممکن است نتواند تغییرات واقعی را به درستی منعکس کند، اما در کاهش نویز به خوبی عمل کرده است. انجام ادغام موزجک بر روی دو تصویر حاصل از روش تفاضل و لگاریتم نسبت‌ها می‌تواند منطقی باشد اگر قصد داشته باشیم اطلاعات هر دو تصویر را با هم تلفیق کنیم تا نویز را کاهش دهیم [۳۵]. طبق نتایج نیز تلفیق موزجک به ادغام جزئیات به‌دست‌آمده در تصاویر و بهبود کیفیت کلی تصویر تلفیق شده کمک کرده است. ارائه یک تصویر ادغام شده کارآمد لزوماً می‌تواند عملکرد هر الگوریتمی را در قطعه‌بندی بهبود دهد و منجر به نتایج دقیق‌تر و قابل‌اعتمادتر نسبت به روش‌های ذکر شده دیگر شود. به‌طوریکه برای روش‌های PCA-GMM و PCA-K-means متداول به ترتیب نرخ دقت ۵۰ و ۶۶ درصد بوده‌است اما روش پیشنهادی به نرخ دقت ۷۳ درصد رسیده است. میزان F1-Score بالاتر نشان می‌دهد که این روش تعادل بهتری بین دقت و بازخوانی (precision و recall) در

^۱ Gaussian mixture model

تشخیص مناطق سیل زده ایجاد کرده است. علاوه بر موارد گفته شده، طبق ۵، جدول تعادل بین مقادیر FN و FP در روش پیشنهادی بیشتر از سایر روش ها می باشد.



شکل ۹- ارزیابی دقت تولید نقشه سیل با روش های مختلف در اهواز



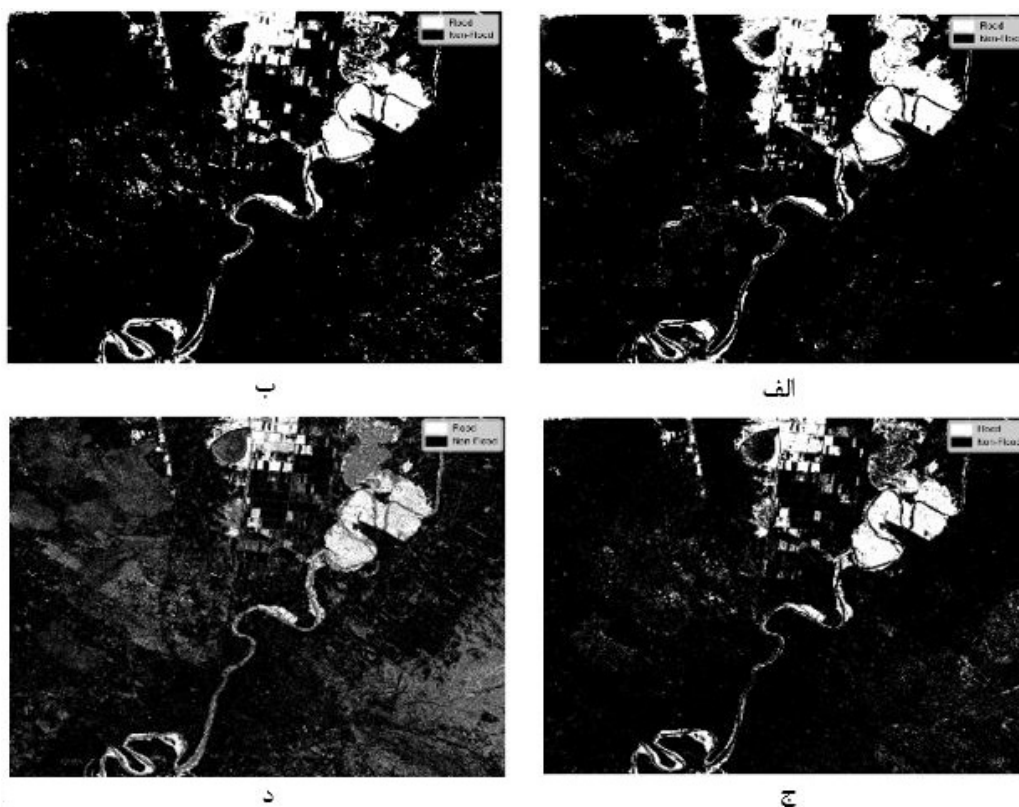
شکل ۱۰- ارزیابی دقت تولید نقشه سیل با روش های مختلف در شاکریه

۵-۲- نتایج مجموعه داده های شاکریه

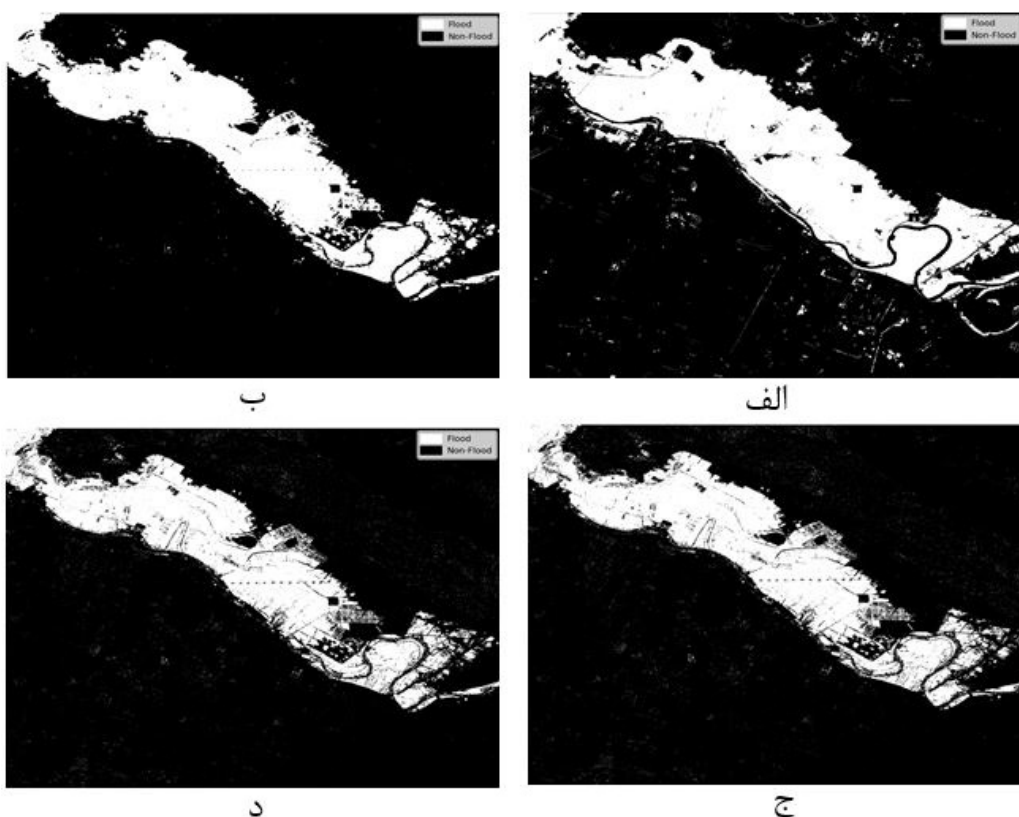
در ارزیابی دوم، کارایی روش پیشنهادی در شاکریه بررسی شد که مزارع و پوشش های گیاهی فراوانی را در منطقه داراست. همان طور که در جدول ۶ و شکل ۱۰ نشان داده شد، نتایج آشکارسازی سیل با روش پیشنهادی همانند مجموعه داده های اول، با نتایج حاصل از PCA-K-means متداول و PCA-GMM مقایسه شدند. شکل ۱۲ خوشه بندی تغییرات توسط سه الگوریتم مورد بحث برای مجموعه داده ی دوم را نشان می دهد، بطوریکه عملکرد دو الگوریتم PCA-K-means متداول و PCA-GMM از نظر کمی بسیار مشابه و از نظر بصری تفاوت انچنانی ندارند. از تجزیه و تحلیل جدول ۶ می توان دریافت که نتایج آشکارسازی تغییرات روش پیشنهادی، تأکیدی بر توانایی آن در تمایز

دقیق تر میان مناطق سیل زده و غیرسیل زده است. در واقع تحلیل نتایج در شکل ۱۳ نشان می دهد که روش پیشنهادی عملکرد بهتری از نظر صحت کلی و F-score دارد. به ویژه، این روش توانسته است با کاهش قابل توجه تعداد خطاهای مثبت کاذب و منفی کاذب، نقشه ای دقیق تر از وضعیت سیل ارائه دهد که منجر به افزایش دقت در شناسایی پیکسل های سیل زده شده است که به خوبی در مقادیر بالاتر F1-Score منعکس شده است. با توجه به شکل ۱۳ تفاوت عملکرد روش پیشنهادی و روش PCA-K-means متداول در حذف نویزهایی است که به اشتباه در روش متداول سیل دانسته شده بود، که میتواند ناشی از باقی ماندن نویز اسپیکل، پوشش گیاهی مستغرق و یا برکه ها و سطوح آبی بسیار کوچک در سطح منطقه باشد که این نقص با بکارگیری تصویر لگاریتم نسبت ها تا حدودی جبران شد. از طرفی استفاده از هر دو باند VV و VH جهت معرفی به الگوریتم نهایی شناسایی سیل باعث بهبود دقت شده است. باند VV نسبت به امواج کوچک ایجاد شده توسط باد روی سطح آب حساس تر است [۴۵ و ۱۶].

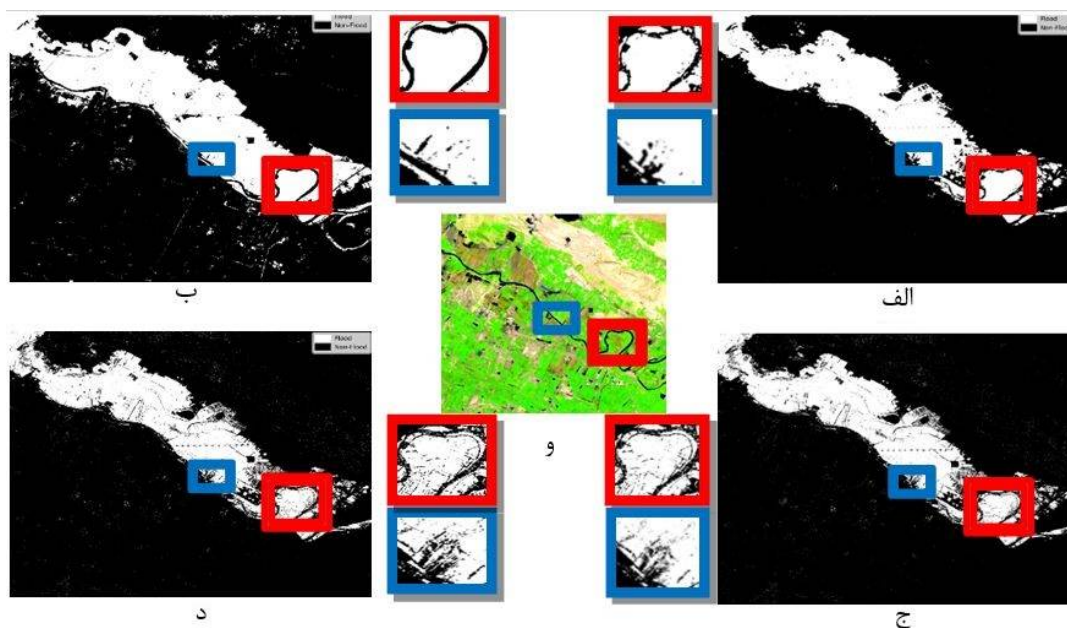
استفاده از هر از دو باند VV و VH برای غنی سازی اطلاعات تصویر روشی کارآمد برای شناسایی سیل است و ترکیب هر دو برای تشخیص پوشش گیاهی غرقابی توصیه می شود [۴۵ و ۴۶ و ۴۹]. بر همین اساس استفاده از هر دو باند VV و VH توانسته است این مشکلات را تا حدودی جبران کند (شکل ۱۳). این جبران به خوبی در مجموعه داده دوم دیده می شود به طوری که F-score در روش پیشنهادی، در مقایسه با روش متداول ۶ درصد بهبود یافته است. بهبود عملکرد PCA-K-means باعث می شود که برجستگی اطلاعات تغییر مبتنی بر پیکسل اولیه ضبط و مجموعه داده های بسیار نامتعادل کنترل شوند. این موارد نیز به نوعی توانسته است که بازنگری در روابط روش پیشنهادی را در مقایسه با نسخه اصلی آن نشان دهند. بر همین اساس با مقایسه این روش با برخی از روش های شناخته شده نشان می دهد که روش پیشنهادی در شناسایی سیل پتانسیل بالاتری دارد. در واقع این روش با استفاده از تصاویر راداری و تلفیق آن ها، می تواند اطلاعات دقیق تری از وضعیت سیل در منطقه ارائه و به تصمیم گیران کمک کند تا اقدامات لازم را انجام دهند.



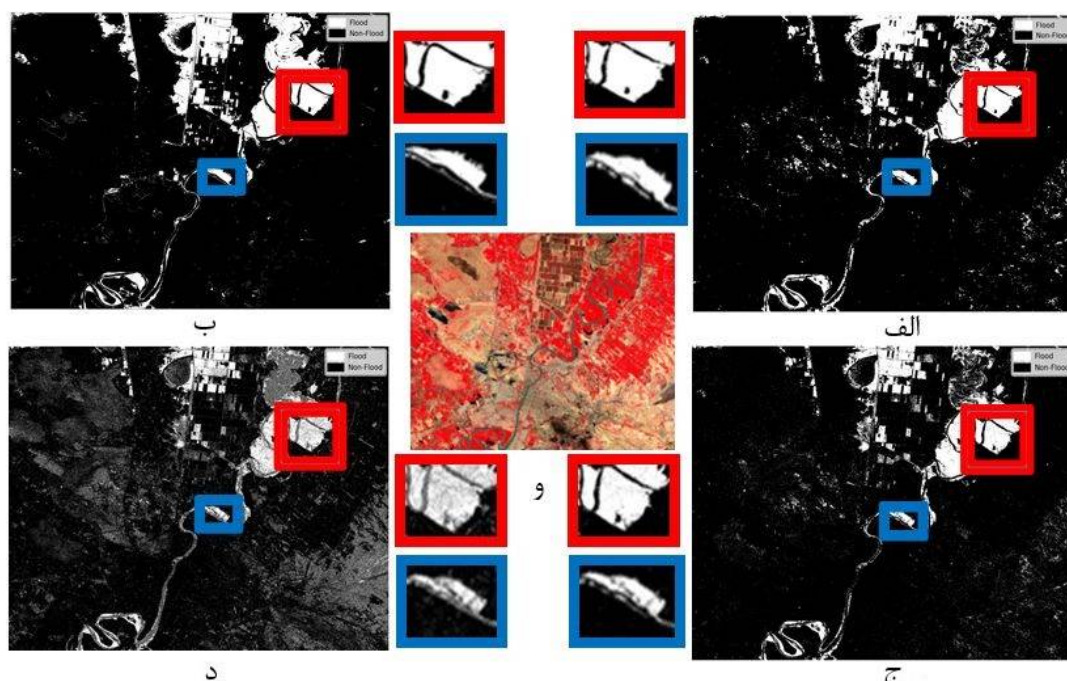
شکل ۱۱: نتایج مربوط به شناسایی نظارت نشده تغییرات سیل برای مجموعه داده اول. نقشه باینری تولید شده: الف) نقشه مرجع، ب) روش پیشنهادی، ج) روش PCA-Kmeans متداول، د) روش PCA-GMM



شکل ۱۲: نتایج مربوط به شناسایی نظارت نشده تغییرات سیل برای مجموعه داده دوم. نقشه باینری تولید شده: الف) نقشه مرجع، ب) روش پیشنهادی، ج) روش PCA-Kmeans متداول، د) روش PCA-GMM



شکل ۱۳: نتایج مرتبط با شناسایی تغییرات سیل برای مجموعه داده دوم همراه با نمایش زوم شده دو ناحیه خاص در سطح منطقه: (الف) روش پیشنهادی، (ب) نقشه مرجع، (ج) روش PCA-Kmeans متداول، (د) روش PCA-GMM، (و) ترکیب رنگی کاذب ۴-۸-۱۱ از منطقه شاکریه



شکل ۱۴: نتایج مرتبط با شناسایی تغییرات سیل برای مجموعه داده اول همراه با نمایش زوم شده دو ناحیه خاص در سطح منطقه: (الف) روش پیشنهادی، (ب) نقشه مرجع، (ج) روش PCA-Kmeans متداول، (د) روش PCA-GMM، (و) ترکیب رنگی کاذب ۴-۸-۱۱ از منطقه اهواز

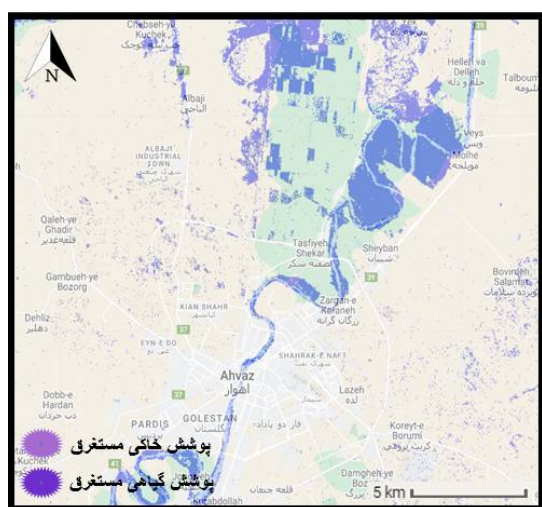
۶- نتیجه گیری

در این تحقیق، عملکرد شناسایی نظارت نشده سیل با استفاده از ادغام تصاویر تفاضل و نسبت لگاریتمی حاصل از قطبش‌های راداری متفاوت بررسی شد. استفاده از رویکردی

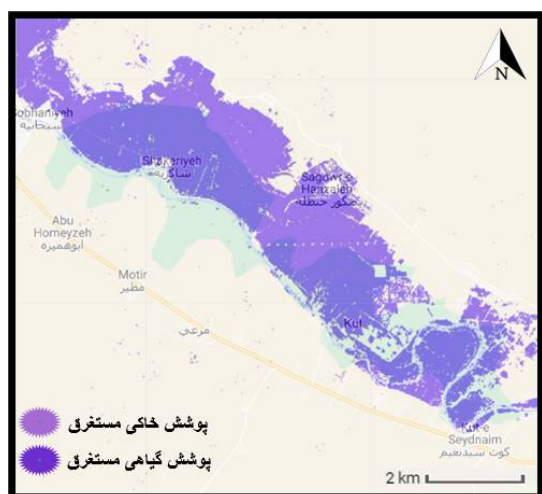
در نهایت، با کاهش وابستگی به انتخاب پارامترهای حساس و افزایش دقت تشخیص، این روش می‌تواند به‌عنوان ابزاری قدرتمند در دسترس کاربران برای مقابله با چالش‌های ناشی از سیلاب‌ها باشد.

که بر اساس دو روش تفاضل و لگاریتم نسبت‌ها در تصاویر SAR نقشه تغییر را استخراج می‌کنند، علاوه بر کاهش نویز در روش‌های مبتنی بر صرفاً روش تفاضل و یا تنها با یک قطبش راداری، امکان اجرای آنها در مناطق بزرگ را فراهم می‌کند. براساس یک جفت تصویر و با استفاده از اطلاعات هر دو باند VV و VH، تصویر تفاضل و لگاریتم نسبت‌ها تولید و سپس با کمک تلفیق موجک اطلاعات هر دو تصویر برای هر باند، جداگانه ادغام می‌شوند. در نهایت ناحیه مورد نظر به M بلوک بدون اشتراک تقسیم و با استفاده از الگوریتم k-means خوشه‌بندی می‌شوند. نتیجه نهایی بهبود عملکرد این الگوریتم در شناسایی تغییرات است زیرا همانطور که گفته شد ارائه یک تصویر ادغام شده کارآمد، لزوماً می‌تواند عملکرد هر الگوریتمی را در قطعه‌بندی بهبود دهد. در حالی که اغلب روش‌ها از تصویر تفاضل و یا تنها یک قطبش راداری جهت شناسایی سیل استفاده می‌کنند، ادغام دو روش تفاضل و لگاریتم نسبت‌ها با قطبش‌های متفاوت می‌تواند در فراهم کردن اطلاعات مهم مفید باشد. لذا با معرفی تصویر ادغام شده به PCA-K-means متداول می‌توان شناسایی سیلاب را بهبود داد. مقایسه نتایج نشان داد که استفاده از روش پیشنهادی موجب بهبود در F-score شده است و در شناسایی پوشش گیاهی که به دلیل انعکاس سیگنال راداری ممکن است به اشتباه به عنوان سیل شناسایی شوند، پیشنهاد می‌شود. با این حال، پدیده سیل تحت‌تأثیر منابع خطای نگاشت سیل مانند اختلالات اتمسفری، تشدید براگ و بازتاب مضاعف ناشی از پوشش گیاهی یا ساختمان‌ها قرار دارد که به سبب آنها سنجنده، بازپراکنش مشابه سطح آب را نشان می‌دهد و بخشی از سیل را ماسک می‌کند. لذا بکارگیری تلفیق تصاویر حاصل از عملگر تفاضل و لگاریتم نسبت‌ها با روش تبدیل موجک گسسته، موجب بهبود چشمگیر در زمینه خوشه‌بندی تغییرات، حفظ اطلاعات بازپراکنش و شدت سطح زمین می‌شود تا با شرایطی مانند حضور گیاهان در منطقه سیل‌زده و نویز اسپکل مقابله شده تا در نهایت تشخیص سیل امکان‌پذیر شود. در این رویکرد، ترکیب باندهای VV و VH نقش کلیدی در شناسایی دقیق‌تر مناطق سیل‌زده ایفا کردند. این دو باند با حساسیت‌های مختلف به تغییرات

سطح زمین، امکان تفکیک بهتر مناطق سیلابی را فراهم کردند. همچنین، تصویر لگاریتم نسبت‌ها به‌عنوان یکی دیگر از مؤلفه‌های کلیدی، به تقویت تفاوت‌های کوچک و تغییرات ظریف در بازتاب سیگنال‌های راداری کمک کرد و دقت شناسایی مناطق سیل‌زده را افزایش داد. در حالی که روش پیشنهادی دقت بالایی در شناسایی سیل ارائه داد، اما همچنان جای پیشرفت بیشتری دارد. به‌ویژه، بررسی دقیق‌تر و بهبود فرآیند تولید تصویر تفاضل می‌تواند به کاهش منابع خطا و افزایش کارایی روش کمک کند. از این‌رو، انجام تحقیقات آینده در این زمینه و توسعه رویکردهای تکمیلی توصیه می‌شود.



شکل ۱۵: نقشه نهایی سیل در منطقه اهواز



شکل ۱۶: نقشه نهایی سیل در منطقه شاکره

- [1] Tabari, H. Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. 2020 Sci. Rep, 10, and 13768
- [2] European Court of Auditors-ECA. Floods Directive: Progress in Assessing Risks, While Planning and Implementation Need to Improve; Special Report No 25, 2018; ECA :Luxembourg, 2019
- [3] Sofia, G.; Nikolopoulos, E.I. Floods and rivers: A circular causality perspective. Sci .Rep. 2020, 10, 5175.
- [4] Dong, Z.; Wang, G.; Amankwah, S.O.Y.; Wei, X.; Hu, Y.; Feng, A. Monitoring the summer flooding in the Poyang Lake area of China in 2020 based on Sentinel-1 data and multiple convolutional neural networks. 2021, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 102. 102400.
- [5] Hoque, M.A.-A., Phinn, S., Roelfsema, Childs, I., 2018. Assessing tropical cyclone risks using geospatial techniques Appl . Geogr. 98, 22–33.
- [6] Sharifi, A., Amini, J. & Pourshakouri, F. (2016) Development of an allometric model to estimate aboveground biomass of forests using MLPNN algorithm, case study: Hyrcanian forests of Iran. Caspian Journal of Environmental
- [7] Sharifi, A. (2020) remotely sensed vegetation indices for crop nutrition mapping. Journal of the Science of Food and Agriculture
- [8] Sharifi, A. & Hosseingholizadeh, M. (2020) Application of sentinel-1 data to estimate height and biomass of rice crop in Astaneh-ye Ashrafiyeh, Iran. Journal of the Indian Society of Remote Sensing
- [9] Wania, A.; Joubert-Boitat, I.; Dottori, F.; Kalas, M.; Salamon, P. Increasing Timeliness of Satellite-Based Flood Mapping Using Early Warning Systems in the Copernicus Emergency Management Service. Remote Sens. 2021, 13, 2114.
- [10] Kotera, Akihiko . “Assessing the degree of flood damage to rice crops in the Chao Phraya delta, Thailand, using MODIS satellite imaging. ” Paddy and Water Environment 14 (2015): 271 - 280.
- [11] Munasinghe , D .; Cohen, S .; Huang, Y; Tsang.; Zhang, J. ; Fang , Z. Intercomparison of Satellite Remote Sensing Based Flood Inundation Mapping Techniques. J. Am .Water Resour. Assoc. 2018, 54, 834–846
- [12] Ticehurst, C.; Zhou, Z.S.; Lehmann, E.; Yuan, F.; Thankappan, M.; Rosenqvist, A.; Lewis, B.; Paget, M. Building a SAR-Enabled Data Cube Capability in Australia Using SAR Analysis Ready Data. Data 2019, 4, 100.
- [13] Misev, D.; Baumann, P.; Bellos, D.; Wiehle, S. BigDataCube: A Scalable, Federated Service Platform for Copernicus. In Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Big Data (Big Data), Los Angeles, CA, USA, 9–12 December 2019; pp. 4103–4112.
- [14] Wagner, W.; Bauer-Marschallinger, B.; Navacchi, C.; Reuß, F.; Cao, S.; Reimer, C.; Schramm, M.; Briese, C. A Sentinel-1 Backscatter Datacube for Global Land Monitoring Applications. Remote Sens. 2021, 13, 4622.
- [15] Gorelick, N.; Hancher, M.; Dixon, M.; Ilyushchenko, S.; Thau, D.; Moore, R. Google Earth Engine: Planetary scale geospatial analysis for everyone. Remote Sens. Environ. 2017, 202, 18–27.
- [16] DeVries, B.; Huang, C.; Armston, J.; Huang, W.; Jones, J.W.; Lang, M.W. Rapid and robust monitoring of flood events using Sentinel-1 and Landsat data on the Google Earth Engine. Remote Sens. Environ. 2020, 240, 111664.
- [17] Markert, K.N.; Markert, A.M.; Mayer, T.; Nauman, C.; et al. Comparing Sentinel-1 Surface Water Mapping Algorithms and Radiometric Terrain Correction Processing in Southeast Asia Utilizing Google Earth Engine. Remote Sens. 2020, 12, 2469.
- [18] Basconcillo, J.; Lucero, A.; Solis, A.; Robert Sandoval, J.; Bautista, E.; Koizumi, T.; Kanamaru, H. Statistically Downscaled Projected Changes in Seasonal Mean Temperature and Rainfall in Cagayan Valley, Philippines. J. Meteorol. Soc. Jpn. Ser. 2016, 94, 151–164
- [19] Tolentino, P.L.M.; Poortinga, A.; Kanamaru, H.; Keesstra, S.; Maroulis, J.; David, C.P.C.; Ritsema, C.J. Projected Impact of Climate Change on Hydrological Regimes in the Philippines. PLoS ONE 2016, 11, e0163941.

- [20] Ulloa, N. ; Chiang, S.H. ; Yun, S.H. Flood proxy mapping with normalized difference Sigma - Naught Index and Shannon's entropy. *Remote Sens.* 2020, 12, 1384.
- [21] Landuyt Lisa , Verhoest NEC , Van Coillie FMB . Flood Mapping in Vegetated Areas Using an Unsupervised Clustering Approach on Sentinel-1 and -2 Imagery. *Remote Sensing.* 2020; 12(21):3611.
- [22] harifipour, M.; Amani, M.; Moghimi, A. Flood Damage Assessment Using Satellite Observations within the Google Earth EngineCloud Platform. *J. Ocean Technol.* 2022,27, 64–75.
- [23] Peng, B.; Huang, Q.; Vongkusolkit, J.; Gao, S.; Wright, D.B.; Fang, Z.N.; Qiang, Y. Urban Flood Mapping With Bitemporal Multispectral Imagery Via a Self-Supervised Learning Framework. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* 2021,
- [24] Zhao , G . ; Gao, H . Estimating Reservoir Evaporation Losses for the United States : Fusing Remote Sensing and Modeling Approaches. *Remote Sens. Environ.*
- [25] Vanama, Venkata Sai Krishna et al. "Change detection based flood mapping using multi-temporal Earth Observation satellite images: 2018 flood event of Kerala, India." *European Journal of Remote Sensing* 54 (2021): 42 - 58.
- [26] Tupas ME, Roth F, Bauer-Marschallinger, Wagner. An Intercomparison of Sentinel-1 Based Change Detection Algorithms for Flood Mapping. *Remote Sensing.* 2023; 15(5):1200.
- [27] D. Amitrano, G. Di Martino, A. Iodice, D. Riccio and G. Ruello, "Unsupervised Rapid Flood Mapping Using Sentinel-1 GRD SAR Images," in *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 56, no. 6, pp. 3290-3299, June 2018
- [28] Khatun M, Garai S, Sharma J, Singh R, Tiwari S, Rahaman. Flood mapping and damage assessment due to the super cyclone Yaas using Google Earth Engine in Purba Medinipur, West Bengal, India. *Environ Monit Assess.* 2022 Oct 12;194(12):869.
- [29] Mrinal Singha, Jinwei Dong, Sangeeta Sarmah, Nanshan You, Yan Zhou, Geli Zhang, Russell Doughty, Identifying floods and flood-affected paddy rice fields in Bangladesh based on Sentinel-1 imagery and Google Earth Engine, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 166, 2020, Pages 278-293, ISSN 0924-2716
- [30] Dodangeh, P. and ShahHosseini, R. EXTRACTION OF FLOOD AFFECTED AGRICULTURAL LANDS IN THE GOOGLE EARTH ENGINE; CASE STUDY OF KHUZESTAN, IRAN, *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, X-4/W1-2022, 123–128
- [31] Foroughnia F, Alfieri SM, Menenti, Lindenberg. Evaluation of SAR and Optical Data for Flood Delineation Using Supervised and Unsupervised Classification. *Remote Sensing.* 2022; 14(15):3718.
- [32] Zhang M, Liu D, Wang S, Xiang H, Zhang W. Multisource Remote Sensing Data-Based Flood Monitoring and Crop Damage Assessment: A Case Study on the July 2021 Extraordinary Rainfall Event in Henan, China. *Remote Sens.* 2022; 14(22):5771.
- [33] E. J. M. Rignot and J. J. van Zyl, "Change detection techniques for ERS-1 SAR data," in *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 31, no. 4, pp. 896-906, July 1993, doi: 10.1109/36.239913.
- [34] A.S. Yommy, R. Liu and A. S. Wu, "SAR Image Despeckling Using Refined Lee Filter," 2015 7th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics, Hangzhou, China, 2015, pp. 260-265.
- [35] Gong, Maoguo, Zhiqiang Zhou and Jingjing Ma "Change Detection in Synthetic Aperture Radar Images based on Image Fusion and Fuzzy Clustering." *IEEE Transactions on Image Processing* 21 (2012): 2141-2151.
- [36] T. Celik , "Unsupervised Change Detection in Satellite Images Using Principal Component Analysis and k-Means Clustering" in *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 6, no. 4, pp. 772-776, Oct. 2009.
- [37] M.S. Madanian , A. Sofianian, "A review of some of the methods for detecting changes Using remote sensing data in Scientific - Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR), vol. 21, no. 82, pp. 44-49, 2012.
- [38] Nhangumbe, Manuel & Nascetti, Andrea & Georganos, Stefanos & Ban, Yifang. (2023). Supervised and unsupervised machine learning approaches using Sentinel data for flood mapping and damage assessment in Mozambique. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 32.

- [39] Vongkusolkiet, Jirapa, Bo Peng, Meiliu Wu, Qunying Huang, Christian G. Andresen. 2023. "Near RealTime Flood Mapping with Weakly Supervised Machine Learning" Remote Sensing 15, no. 13: 3263
- [40] Lim, Joongbin, and Kyoo - seock Lee. " Flood mapping using multi-source remotely sensed data and logistic regression in the heterogeneous mountainous regions in North Korea." Remote Sensing 10, no. 7 (2018): 1036.
- [41] Guan, Haixiang, Huang, Jianxi, Li, Xuecao, Li, Miao, Shuangxi, Su, Wei, Ma, Yu, Quandi, Niu & Huang, Hai. (2023). Improved Improved Gaussian mixture model to map the flooded crops of VV and VH polarization data. Remote Sensing of Environment.
- [42] Abbas, Arbab & Minallh, N. & Ahmad, Nasir & Abdur Rehman Abid, Sahibzada & Khan, Muhammad. (2016). K - Means and ISODATA Clustering Algorithms for Landcover Classification Using Remote Sensing. 48. 315-318.
- [43] Ritu Yadav, Andrea Nascetti, Hossein Azizpour, Yifang Ban, Unsupervised flood detection on SAR time series using variational autoencoder, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Volume 126, 2024, 103635
- [44] Reksten, Jarle Hamar. "FLOOD DETECTION IN NORWAY BASED ON SENTINEL-1 SAR IMAGERY." The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (2019)
- [45] Dasgupta A, Grimaldi S, Ramsankaran RAAJ, Pauwels VRN, Walker JP, Chini M. Flood Mapping Using Synthetic Aperture Radar Sensors from Local to Global Scales. In J-P. Schumann G, D. Bates P, Apel H, T. Aronica G, Global Flood Hazard: Applications in Modeling, Mapping, and Forecasting.
- [46] Huang M, Jin S. Rapid Flood Mapping and Evaluation with a Supervised Classifier and Change Detection in Shouguang Using Sentinel-1 SAR and Sentinel-2 Optical Data. Remote Sensing. 2020; 12(13):2073.
- [47] de Melo, A.C.O., de Moraes, R.M., dos Santos Machado, L. (2003). Gaussian Mixture Models for Supervise Classification of Remote Sensing Multispectral Images. In: Sanfeliu, A, Ruiz - Shulcloper, J. (Eds) Progress in Pattern Recognition, Speech and Image Analysis. CIARP 2003. Lecture Notes in Computer Science, vol 2905. Springer, Berlin
- [48] moghimi A, Khazai S, ebadi H. Unsupervised Change Detection in Multitemporal SAR Images Based on Integration of Clustering and Active Contour Model. jgit 2017; 5 (1) :21-37
- [49] Mojaradi B, Maddah S. Flood damage monitoring on land use using radar and optical satellite image processing. Iranian Dam and Hydroelectric Powerplant 2023; 10 (\$1) :1-11