

## شناسایی مناطق سیل‌زده با محاسبات آماری سری زمانی بر پایه تلفیق داده‌های راداری و اپتیکی

پریسا دودانگه<sup>۱</sup>، حمید عبادی<sup>۲</sup>، عباس کیانی<sup>۳\*</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد فتوگرامتری، دانشکده نقشه‌برداری، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

۲. استاد دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، عضو قطب علمی فناوری اطلاعات مکانی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳. استادیار دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

(تاریخ دریافت ۱۳۹۹/۱۲/۰۱؛ تاریخ تصویب ۱۴۰۰/۰۳/۲۶)

## چکیده

همواره مخاطرات طبیعی در زندگی انسان‌ها آثار مخربی داشته است که سیل یکی از انواع جدی آن است. بنابراین، ارائه روش‌های سریع شناسایی سیلاب برای مدیریت بحران ضرورت زیادی دارد. هدف از این تحقیق، ارائه روشی با دقت و سرعت مناسب در تهیه نقشه سیلاب است. در این تحقیق از دو سری زمانی داده‌های سنتینل ۱ و لندست ۸ برای تهیه نقشه شدت سیل با ترکیب روش محاسبات آماری و شاخص‌های استخراجی استفاده شد. الگوریتم پیشنهادی به این ترتیب است که ابتدا نقشه پهنه‌های آبی دائمی به صورت خودکار توسط تصاویر ماهواره‌ای اپتیکی طی ۵ سال تهیه می‌شود. سپس، برای تعیین شدت سیلاب در مناطق مختلف از محاسبات آماری روی باندهای سری زمانی تصاویر راداری بهره گرفته می‌شود و در نهایت، با استفاده از شاخص نرمال‌شده تفاوت سیل که قابلیت شناسایی سریع سیل را دارد، نقشه نهایی سیلاب به دست می‌آید. رویکرد پیشنهادی در پی رخداد سیل ۱۳۹۸ روی دو منطقه گلستان و خوزستان که دارای شرایط جغرافیایی متفاوت هستند، پیاده‌سازی شده است. ارزیابی‌ها به کمک نقشه‌های واقعیت زمینی و ماتریس ابهام صورت گرفته و علاوه بر آن، برای تحلیل‌های کامل‌تر از آزمون مک‌نمار نیز استفاده شده است. پیاده‌سازی الگوریتم در محیط ارث انجین نشان داد این روش در کنار داشتن دقت زیاد، امکان استفاده از صدها تصویر را بدون نیاز به سخت‌افزارهای خاص فراهم می‌آورد. دقت کلی به‌عنوان نمونه در یک دوره زمانی در استان گلستان و خوزستان به ترتیب ۹۱/۸۴ و ۹۷/۳۶ بوده که نشان‌دهنده قابلیت تعمیم‌پذیری زیاد الگوریتم در مناطق با وسعت‌های متفاوت است.

**کلیدواژگان:** پایش سیل، سری زمانی، شاخص نرمال‌شده تفاوت سیل، گوگل ارث انجین، محاسبات آماری.

## مقدمه

بنگلادش طی سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۱۸ بررسی کردند. آنها همچنین با ادغام نقشه سیل تولیدشده و نقشه مناطق کاشت برنج، اقدام به شناسایی شالیزارهای متأثر از سیلاب کردند. نتایج پژوهش آنها نشان می‌دهد که این موضوع سبب ارتقای درک مدیران از پویایی سالانه و در نتیجه، بهبود برنامه‌ریزی و نظارت خواهد شد [۵].

در زمینه توانایی به‌کارگیری داده‌های چندمنبعی به‌منظور افزایش ابعاد فضای ویژگی برای حل مسائل نیز تحقیقات مختلفی صورت پذیرفته است. برای مثال، Pham-Duc و همکارانش (۲۰۱۷) مطالعه‌ای با هدف پایش سطح آب در دلتای Mekong ویتنام با مشاهدات سنتینل ۱ انجام دادند. این روش مبتنی بر طبقه‌بندی با شبکه عصبی بود که آموزش آن روی داده‌های لندست ۸ صورت گرفت. در نهایت، نقشه پهنه آبی مرجع لندست ۸ با نقشه‌های سطح آب رادار پیش‌بینی‌شده، مقایسه شد که نشان‌دهنده ۹۰ درصد تشخیص صحیح آب بود. این مطالعه کاربرد داده‌های سنتینل ۱ را برای نظارت بر سطح آب به‌ویژه در مناطق گرمسیری که پوشش ابر می‌تواند در فصول بارانی بسیار زیاد باشد، برجسته می‌کند [۶]. پژوهشی در سال ۲۰۱۹ با عنوان «فیوژن تصویر Landsat-MODIS و تجزیه‌وتحلیل تصویر مبتنی بر روش شیء‌گرا برای مشاهده مناطق سیل‌زده در یک صحنه گیاهی ناهمگن» با هدف تهیه نقشه سیل و بررسی سیل‌های ناشی از توفان در منطقه‌ای با پوشش گیاهی ناهمگن صورت گرفت. چون سیل‌های ناشی از توفان نیازمند بررسی‌های پیوسته هستند و اخذ تصاویر مادیس به‌صورت روزانه انجام می‌گیرد، این داده‌ها برای پیاده‌سازی انتخاب شده‌اند. ولی به دلیل رزولوشن مکانی پایین تصاویر، در مقاله یادشده اقدام به انجام فیوژن با تصاویر لندست شد. به این ترتیب، با کمک تصاویر لندست، دقت مکانی و با کمک تصاویر مادیس، دقت زمانی تأمین شد. در پژوهش یادشده فیوژن بین تصاویر لندست و مادیس با مدل ESTARFM<sup>۵</sup> صورت گرفت و در نهایت، نقشه سیل توسط تصویر قطعه‌بندی‌شده با طبقه‌بندی‌کننده ماشین بردار پشتیبان<sup>۶</sup> تهیه شد. ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده نیز با نقشه سیل به‌عنوان داده واقعی زمینی صورت گرفته است. در نهایت، نتایج پژوهش یادشده بیانگر توانایی زیاد این الگوریتم تلفیق تصاویر بود [۷]. در ادامه، پژوهش‌های

افزایش جمعیت در دنیا، نیاز به توسعه مناطق دست‌ساز بشر را افزایش داده و موجب تخریب منابع طبیعی و وقوع فاجعه سیل شده است. بنابراین، با توجه به اهمیت این موضوع و آسیب‌های ناشی از آن، نیاز به توسعه روش‌های سریع و باثبات در شناسایی مکان‌های متأثر از سیلاب بیش از پیش احساس می‌شود. به‌کارگیری داده‌های ماهواره‌ای سبب سهولت و افزایش دقت برای مدیریت حادثه سیل خواهد شد. با پیشرفت تکنولوژی‌های اخذ داده سنجنش از دوری انواع مختلفی از تصاویر راداری و اپتیک موجود است که استفاده هم‌زمان از این منابع مختلف داده، سبب بهبود دقت خواهد شد. در این میان، پردازش و کار با مجموعه وسیع از داده‌های یادشده علاوه بر کاربردهای فراوان، همواره چالش‌برانگیز بوده است. به این منظور، استفاده از سیستم‌عامل محاسبات ابری<sup>۱</sup> راه‌حل کارآمدی برای حل این چالش خواهد بود. سیستم‌عامل‌های محاسبات ابری روشی مؤثر برای ذخیره، دسترسی و تجزیه‌وتحلیل مجموعه‌های داده، در سرورهای بسیار قدرتمند است که ابررایانه‌ها را برای کاربر مجازی می‌کند [۱ و ۲]. گوگل ارث انجین<sup>۲</sup> یکی از این سیستم‌عامل‌هاست که در سال ۲۰۱۰ توسط گوگل راه‌اندازی شد. GEE از زیرساخت‌های محاسباتی گوگل است و از مجموعه داده‌های سنجنش از دور رایگان استفاده می‌کند [۳]. دسترسی به مجموعه داده‌های بلندمدت و تقریباً آنی<sup>۳</sup> در GEE همراه با انجام محاسبات و پردازش‌ها با عملکرد زیاد در این سامانه قابلیت نظارت، پیش‌بینی و مطالعات در برابر بلایای طبیعی را ارتقا می‌دهد [۳]. به این دلیل، طی سال‌های اخیر، تحقیقات متعددی در زمینه پایش و آشکارسازی تغییرات سیل و پهنه‌های آبی در GEE انجام گرفته است. برای مثال، Inman و همکاران (۲۰۲۰) از سنسورهای ماهواره‌ای لندست برای ایجاد طولانی‌ترین سری زمانی نقشه‌های سیلاب برای دلتای Okavango در وضوح مکانی ۳۰ متر استفاده کردند. آنها یک سری زمانی از اوج آب‌گرفتگی در ۳۰ سال با استفاده از حد آستانه‌گذاری روی باند فروسرخ کوتاه (SWIR<sup>۴</sup>) ایجاد کردند تا حادثه سیل سال ۲۰۱۹ را بررسی و پایش کنند [۴]. Singha و همکاران با استفاده از تمام تصاویر موجود سنتینل ۱ و سامانه GEE، الگوی مکانی- زمانی سیل را برای کشور

5. Enhanced Spatial and Temporal Adaptive Reflectance Fusion Model  
6. Support Vector Machine

1. Cloud Computing Platform  
2. Google Earth Engine (GEE)  
3. Near Real Time  
4. Short-wave Infrared

تغییرات سیل، از شاخص‌های مرسوم آب استفاده می‌شود، ولی شاخص‌های پیشین قابلیت جداسازی پهنه‌های دائمی از مناطق سیلابی را ندارند و این امر فقط با استفاده از روش‌های شناسایی تغییرات امکان‌پذیر خواهد بود که این چالش به کمک شاخص NDFI رفع می‌شود و با سرعت و اتوماسیون زیادی امکان شناسایی پهنه‌های سیلابی را فراهم می‌آورد.

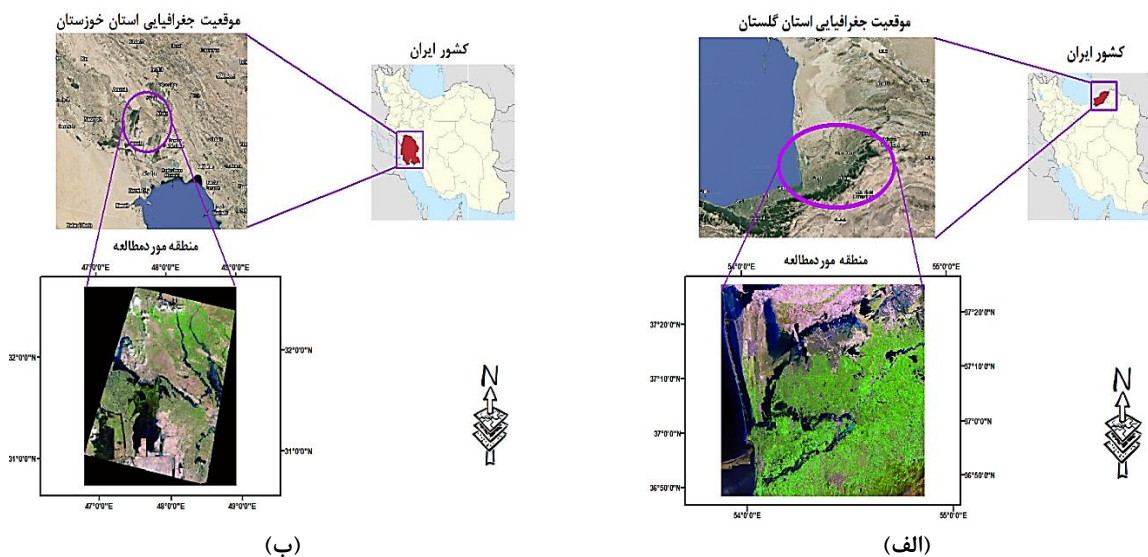
بررسی‌ها بیانگر آن است که در بیشتر تحقیقات پیشین در زمینه تهیه نقشه‌های سری زمانی سیل، استفاده بلندمدت از تصاویر ماهواره‌ای به‌خصوص در مقیاس‌های مکانی متوسط و بالا نیازمند سخت‌افزارهای قوی است که در بیشتر موارد سرعت اجرای پروژه‌ها را با چالش روبه‌رو می‌کند. همچنین، تحقیقات بیانگر کارایی تلفیق داده‌های اپتیک و رادار به دلیل غلبه بر مشکلات هر دو نوع تصاویر و بهره‌گیری از مزایای آنها به‌صورت ترکیبی است. برای مثال، استفاده از داده‌های رادار به دلیل عدم وابستگی به شرایط جوی و استفاده از داده‌های اپتیک به دلیل داشتن ویژگی‌های مختلف در باندهای طیفی به روند بهبود دقت طبقه‌بندی و تهیه نقشه سیل کمک شایانی می‌کند. درنهایت، با توجه به تحقیقات بررسی‌شده، تسریع در اقدامات ممکن پس از سیل در کاهش میزان تخریب تأثیر زیادی دارد. به این ترتیب، بر اساس لزوم بهبود روش‌های موجود در روند ارزیابی خسارت و مدیریت بحران سیل، در تحقیق حاضر اقدام به ارائه روشی برای شناسایی دقیق مناطق تحت تأثیر سیل با استفاده از سری زمانی بلندمدت از داده‌های راداری و اپتیک در گوگل ارث انجام شده است. این روش از Z\_score هایی که بر مبنای یک بازه زمانی غیرمتأثر از سیل تحت عنوان «مرجع» هستند، در ترکیب با ویژگی‌های راداری به‌منظور بهبود نتایج، تشکیل شده است. رویکرد پیشنهادی از جنبه‌های مختلفی می‌تواند پاسخ‌گوی نیاز مدیریت بحران سیل باشد؛ برای مثال با استفاده از تعیین حد آستانه‌های مختلف روی Z\_score های محاسبه‌شده و ادغام آنها با تصاویر بلندمدت ۸، امکان تعیین میزان شدت سیل رخ‌داده بدون نیاز به اجرای مدل‌های زمان‌بر و به‌صورت پایدار وجود خواهد داشت که بررسی شدت سیل در منطقه می‌تواند به‌نوعی نشان‌دهنده مکان‌های مستعد در آن ناحیه باشد و به برنامه‌ریزی‌های آینده مدیریت بحران کمک شایانی کند. در کنار این موضوع تأثیر Z\_score های باندهای مختلف VH و VV نیز در شناسایی سیل بررسی می‌شود. همچنین، ترکیب نتایج حاصل از محاسبات

متعددی نیز در ارتباط با شناسایی پهنه‌های آبی با شاخص‌های آب بیان و بررسی شده است.

در سال ۲۰۰۶، Xu طی پژوهشی، اقدام به بهبود شاخص NDWI<sup>۱</sup> برای شناسایی خودکار پهنه‌های آبی کرد که در برخی مناطق مانند نواحی ساخته‌شده و پوشش گیاهی دچار نویزهایی می‌شود. پژوهش یادشده با استفاده از باندهای فرورسرخ نزدیک و فرورسرخ میانی تصاویر ماهواره‌ای صورت گرفت و تا حد زیادی چالش‌های مربوط به شاخص NDWI را رفع کرد. از شاخص توسعه‌یافته تحت عنوان «MNDWI» یاد می‌شود [۸]. علاوه بر آن، Feyisa و همکارانش اقدام به توسعه شاخص اتوماتیک تحت عنوان «AWEI»<sup>۲</sup> کردند که دقت شناسایی مناطق آبی را در حضور سایه افزایش می‌داد. آنها با استفاده از داده‌های لندست ۵ اقدام به تهیه نقشه‌های سیل در چند منطقه متفاوت کردند و درنهایت، روش پیشنهادی خود را با سایر روش‌ها نظیر شاخص MNDWI و طبقه‌بندی‌کننده بیشترین شباهت مقایسه کردند. نتایج پژوهش آنها بیانگر پیشرفت این شاخص در دقت و کاهش خطا در شناسایی نسبت به رویکردهای قیاسی بود [۹]. Wan و همکارش (۲۰۱۸) برای ارزیابی خسارت پس از سیل، اقدام به توسعه یک شاخص کردند. این شاخص که از آن تحت عنوان «NDFI3»<sup>۳</sup> یاد می‌شود، عملکرد شاخص NDFI2 را در حضور سایه بهبود می‌دهد. در این شاخص از باندهای آبی و مادون قرمز کوتاه ۲ سنجنده لندست استفاده شده و ارزیابی‌ها بیانگر کارایی این شاخص در شناسایی سریع سیل است [۱۰]. شاخص NDFI در سال ۲۰۱۸ توسط Cian روی تصاویر راداری پیاده شد. این شاخص تعداد زیادی از تصاویر مرجع را با تصاویر زمان سیل مقایسه می‌کند و امکان طبقه‌بندی آسان مناطق سیل‌زده را فراهم می‌آورد. استفاده از این شاخص مزایای فراوانی دارد که عبارت‌اند از: (۱) وابستگی بسیار کم به کاربر؛ (۲) پایداری زیاد در شرایط مختلف جوی با استفاده از داده‌های راداری با قدرت تفکیک مکانی‌های متفاوت؛ (۳) استفاده از سری زمانی بلندمدت پیش از سیل و پس از آن، به دلیل جداسازی پهنه‌های آبی دائم از سیلاب؛ (۴) شناسایی آب کم‌عمق در پوشش‌های گیاهی کوتاه [۱۱]. اگرچه در بیشتر تحقیقات پیشین، به‌منظور شناسایی پهنه‌های آبی و همچنین، در برخی موارد تهیه نقشه‌های

1. Normalized Difference Water Index
2. Automated Extraction Water Index
3. Normalized Difference Flood Index (NDFI)

نظیر شهرهای آق‌قلا و گمیشان رخ داد. پس از گذشت مدت‌زمان کوتاهی، بار دیگر در هفته اول اردیبهشت، شهر آق‌قلا تحت تأثیر دوباره سیلاب قرار گرفت. همچنین، سیلاب در استان خوزستان، از اوایل فروردین شروع شد و تا اواسط آن روند صعودی داشت که در این بازه زمانی شهرهایی نظیر اهواز، حمیدیه و غیره را تحت تأثیر قرار داد. به این ترتیب در تحقیق حاضر، اقدام به بررسی سه دوره زمانی متفاوت از این سیلاب در هر استان به صورت مجزا شده که در هر یک الگوریتم پیشنهادی اجرا و ارزیابی شده است. در شکل ۱، نمای کلی از مناطق مطالعه شده قابل مشاهده است. درخور یادآوری است که ترکیب باندی کاذب استفاده شده برای هر دو منطقه در شکل ۱ به ترتیب باندهای b5، b6 و b4 سنجنده لندست ۸ با نام‌های SWIR1، NIR و Red هستند.



شکل ۱. نمای کلی مناطق مطالعه شده:

(الف) موقعیت جغرافیایی استان گلستان در کشور؛ (ب) موقعیت جغرافیایی استان خوزستان در کشور

حالت Ascending و Descending استفاده شده که تعداد کل آنها در منطقه گلستان شامل ۲۰۶ عدد تصویر در بازه زمانی مرجع (دوره‌ای که سیل در آن رخ نداده است) و دوره زمانی سیل و در منطقه خوزستان شامل ۴۷۹ است. این حالت‌ها به دلیل تعداد زیاد تصاویر، پاسخ‌گوی منطقه وسیع بررسی شده هستند. تاریخ تصاویر سنتینل استفاده شده در دو منطقه آزمایشی در جدول ۱ ارائه شده‌اند. بررسی‌ها روی ۴ دوره زمانی صورت گرفته است.

#### مشخصات داده‌های استفاده شده

داده‌های استفاده شده در این تحقیق شامل تصاویر راداری Sentinel1 با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر و تصاویر Landsat 8OLI و مدل رقومی ارتفاعی SRTM DEM با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر است. تصاویر ماهواره‌ای موجود در GEE اغلب به صورت پیش‌پردازش شده موجود هستند، بنابراین نیازی به تصحیحات اضافی ندارند. همچنین، در این سامانه تصاویر Sentinel-1 GRD در حالت‌های IW، EW، و SM موجود هستند. بنابراین، در این تحقیق از این داده ماهواره‌ای در دو

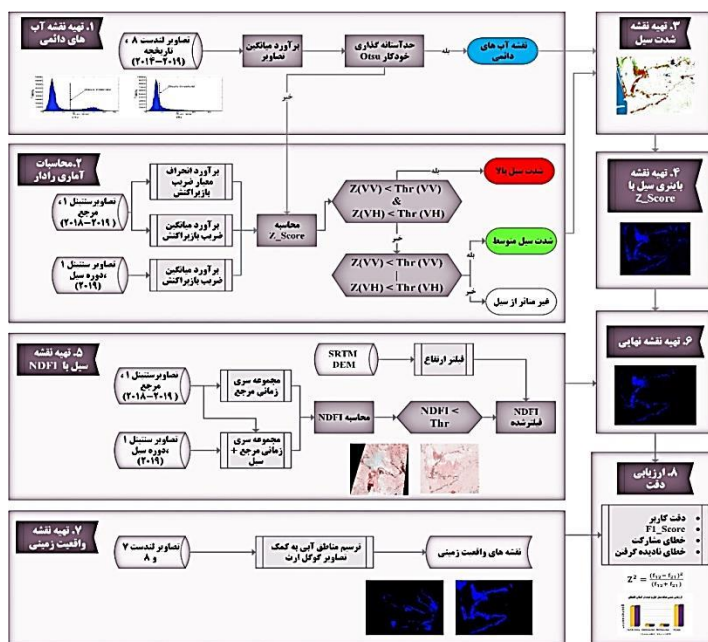
جدول ۱. تاریخ سری زمانی سنتینل ۱ در استان‌های گلستان و خوزستان.

| دوره زمانی   | استان گلستان                                      | استان خوزستان                                     |
|--------------|---|---|
| مرجع         | تاریخ آغاز: ۲۰۱۸/۰۳/۰۱<br>تاریخ پایان: ۲۰۱۹/۰۳/۰۱ | تاریخ آغاز: ۲۰۱۸/۰۳/۰۱<br>تاریخ پایان: ۲۰۱۹/۰۳/۰۱ |
| دوره اول سیل | تاریخ آغاز: ۲۰۱۹/۰۳/۲۴<br>تاریخ پایان: ۲۰۱۹/۰۴/۰۵ | تاریخ آغاز: ۲۰۱۹/۰۴/۰۲<br>تاریخ پایان: ۲۰۱۹/۰۴/۰۷ |
| دوره دوم سیل | تاریخ آغاز: ۲۰۱۹/۰۴/۱۰<br>تاریخ پایان: ۲۰۱۹/۰۴/۲۳ | تاریخ آغاز: ۲۰۱۹/۰۴/۱۱<br>تاریخ پایان: ۲۰۱۹/۰۴/۱۴ |
| دوره سوم سیل | تاریخ آغاز: ۲۰۱۹/۰۴/۲۷<br>تاریخ پایان: ۲۰۱۹/۰۵/۰۱ | تاریخ آغاز: ۲۰۱۹/۰۴/۱۹<br>تاریخ پایان: ۲۰۱۹/۰۴/۲۶ |

**روش تحقیق**

رویکرد پیشنهادی این پژوهش دارای ۸ مرحله کلی شامل (۱) تهیه نقشه پهنه‌های آبی دائمی منطقه؛ (۲) محاسبات آماری رادار به روش برآورد Z\_Score؛ (۳) تهیه نقشه شدت سیل از مراحل ۱ و ۲؛ (۴) باینری‌سازی نقشه شدت سیل به دو کلاس سیل و غیر سیل؛ (۵) تهیه نقشه سیل با NDFI؛ (۶) ترکیب دو نقشه سیل و تهیه نقشه نهایی؛ (۷) تهیه نقشه‌های واقعیت زمینی؛ (۸) ارزیابی دقت نتایج به‌دست‌آمده از رویکرد پیشنهادی و مقایسه با نقشه‌های مرحله ۳ است. روند کلی پیاده‌سازی در شکل ۲ ارائه شده که جزئیات آن در ادامه تشریح شده است.

علاوه بر آن، برای تهیه داده‌های تاریخی<sup>۱</sup> از تصاویر بازتابندگی سطحی لندست ۸ بهره گرفته شد. بازه سری زمانی این تصاویر از ابتدای سال ۲۰۱۴ آغاز و تا ابتدای سال ۲۰۱۹ برای هر دو منطقه ادامه می‌یابد و تعداد آن در گلستان، ۱۸۸ تصویر و در خوزستان ۵۶۶ تصویر است. درخور یادآوری است که با توجه به تأثیر شرایط جوی روی تصاویر اپتیکی از فیلتر ابر نیز در سامانه GEE استفاده شده و تصاویر با درصد پوشش ابری کمتر از ۱۰ درصد مطالعه شده‌اند. درخور یادآوری است که در این تحقیق از تصاویر سنتینل ۲ استفاده نشده است، زیرا تصاویر موجود از تاریخ ۲۰۱۸ شروع شده و بر اثر اعمال فیلتر ابر کمتر از ۱۰ درصد تعداد آنها بسیار کم خواهد بود و به این ترتیب، کارایی کمی در تهیه نقشه آب‌های دائمی دارد. در ادامه، از تصاویر SRTM DEM نیز به دلیل انجام فیلترهایی در این تحقیق بهره گرفته شده است که جزئیات تمامی داده‌های استفاده‌شده در بخش‌های بعد تشریح داده خواهد شد.



شکل ۱. روند نمای تحقیق

درخور یادآوری است که معیار یادشده برای تمامی تصاویر موجود در تاریخ‌های یادشده در دو باند VH و VV محاسبه می‌شود.

#### مرحله سوم: تهیه نقشه شدت سیل

طبق روند کلی که در شکل ۲ ارائه شد، این مرحله ترکیب دو مرحله اول و دوم است. ابتدا با استفاده از تصاویر لندست، پهنه‌های آبی دائم شناسایی شدند. اگرچه در مرحله قبل محاسبات آماری تصاویر راداری برای هر سری زمانی برآورد می‌شود و این موضوع اندازه‌گیری آنومالی‌های بازپراکنش مرتبط با یک دوره جدید سیل را ایجاد می‌کند، ولی تعیین اینکه آیا این پهنه‌ها بخشی از یک پهنه آبی منظم سالانه (برای مثال، تالاب‌های فصلی) یا رخداد یک فاجعه نظیر سیل هستند، مهم است [۱۴]. سپس، اقدام به تعیین حد آستانه‌هایی برای تصاویر Z\_score در دو باند VH و VV می‌شود که این حد آستانه‌ها بر اساس منطقه مطالعه شده متفاوت است و نیاز به آزمایش توسط فرد پژوهشگر دارد. پس از آن، در صورتی که در پیکسلی، Z\_score هر دو باند از حد آستانه‌های مشخص شده کمتر باشد، آن پیکسل دچار سیلاب شدید در تاریخ تعیین شده است. در ادامه، اگر فقط Z\_score یکی از دو باند VH و VV کمتر از حد آستانه‌های مورد نظر باشد، آن گاه شدت سیل در آن ناحیه متوسط بوده است. در غیر این صورت، منطقه تحت تأثیر سیل قرار نگرفته و متحمل خسارتی نبوده است. به این ترتیب، از ترکیب قوانین یادشده، یک نقشه ۴ کلاسه برای سه دوره زمانی مدنظر در تحقیق حاضر برای شناسایی شدت سیل به دست می‌آید. اگرچه معمولاً بازپراکنش VV به‌تنهایی برای تشخیص سیلاب استفاده می‌شود، اما به دلیل اطمینان بیشتر در صحت نتایج، از بازپراکنش باند VH نیز بهره گرفته شده است تا تأثیر Z\_score هر یک از این باندها در شناسایی سیلاب بررسی شود.

#### مرحله چهارم: باینری‌سازی نقشه شدت سیل

پس از آنکه شدت سیل در منطقه بررسی شد، برای تهیه نقشه سیل از منطقه، کلاس‌ها با یکدیگر ادغام و تشکیل یک نقشه ۲ کلاسه سیل و غیر سیل را می‌دهند.

#### مرحله پنجم: تهیه نقشه سیلاب توسط شاخص NDFI

در این تحقیق، علاوه بر تهیه نقشه سیل از روش یادشده،

#### مرحله اول: تهیه نقشه پهنه‌های آبی دائم

برای تولید نقشه پهنه‌های آبی مطابق توضیحات داده‌شده، مقادیر تمامی تصاویر لندست ۸ از ابتدای سال ۲۰۱۴ تا ابتدای ۲۰۱۹ با درصد پوشش ابری کمتر از ۱۰ درصد، میانگین‌گیری شده و سپس، برای آشکارسازی پهنه‌های آبی دائمی از حد آستانه‌گذاری خودکار Otsu [۱۲] در سامانه GEE استفاده شده است تا این مرحله تحقیق علاوه بر بهره‌مندی از اتوماسیون بالا، از سرعت زیاد اجرایی نیز برخوردار باشد. روش اتسو، یکی از روش‌های پرکاربرد حد آستانه‌گذاری است که تفکیک‌پذیری بین پیکسل‌های تغییرنیافته و پیکسل‌های تغییریافته را با توجه به واریانس کلاس‌های مربوطه بیشینه می‌کند. به طوری که حد آستانه بهینه زمانی انتخاب خواهد شد که مجموع واریانس داخل کلاس‌ها کمینه شود که درواقع، متناظر است به اینکه واریانس بین کلاس‌ها بیشینه شود [۱۳]. استفاده از سری زمانی متراکم این تصاویر در سال‌های متوالی امکان ایجاد اطلاعات بیشتر برای شناسایی آب‌های دائمی با درصد اطمینان بیشتر را فراهم می‌کند.

#### مرحله دوم: محاسبات آماری رادار

ابتدا اقدام به انجام محاسبات آماری مرتبط با معیار Z\_score می‌شود [۱۴]. Z\_score در آمار به این معناست که فاصله هر داده از مقدار متوسط اعداد یک مجموعه داده چقدر است و این فاصله برحسب انحراف معیار بیان می‌شود. بنابراین، ابتدا با تعیین زمان مرجع، اقدام به محاسبه میانگین و انحراف معیار ضریب بازپراکنش سری زمانی تصاویر آن می‌شود. زمان مرجع باید طوری انتخاب شود که هیچ‌گونه سیلی در آن زمان در منطقه رخ نداده باشد. پس از برآورد این دو پارامتر، باید برای هر سه بازه زمانی تعیین شده در جدول ۱، میانگین ضریب بازپراکنش یعنی  $\sigma_0(t)$  تعیین شود. سپس، از رابطه ۱،  $\Delta\sigma_0(t)$  که آنومالی بازپراکنش است، اختلاف میانگین ضریب بازپراکنش سری زمانی دوره‌های مختلف سیل با میانگین ضریب بازپراکنش سری زمانی دوره مرجع به دست می‌آید. علاوه بر آن،  $std(\sigma_0)$  انحراف معیار ضریب بازپراکنش سری زمانی دوره مرجع است و از این دو پارامتر یادشده توسط رابطه ۲ مقادیر Z\_score برای هر دوره سیل یادشده در جدول ۱ محاسبه می‌شود.

$$\Delta\sigma_0(t) = \sigma_0(t) - \bar{\sigma} \quad (1)$$

$$Z(t) = \frac{\Delta\sigma_0(t)}{std(\sigma_0)} \quad (2)$$

باینری سیل خواهد بود که در ترکیب با فیلتر ارتفاعی برای منطقه مورد نظر بهبود می‌یابد، بنابراین از داده مدل رقومی ارتفاعی به دلیل حذف برخی مناطق به اشتباه شناسایی شده، نیز بهره گرفته شده است. با توجه به مزایای یادشده، از این شاخص نیز برای بهبود نقشه‌های نهایی استفاده شده است.

#### مرحله ششم: تهیه نقشه نهایی سیلاب

در نهایت، با ترکیب دو نقشه سیلاب حاصل از مراحل چهارم و پنجم نقشه بهبود یافته نهایی به دست می‌آید. اضافه کردن نقشه سیلاب NDFI و ترکیب این دو نقشه به این معناست که بخش‌هایی از هر دو نقشه که به عنوان سیل شناسایی شده بودند، تشکیل نقشه سیلاب نهایی را می‌دهند و باعث حذف برخی مناطق اضافی و نادرست می‌شوند و این عمل به بهبود شناسایی می‌انجامد.

#### مراحل هفتم و هشتم: تهیه داده‌های واقعیت زمینی و اعتبارسنجی

به منظور ارزیابی نتایج، تصاویر تولیدشده با داده واقعیت زمینی مربوطه ارزیابی می‌شوند. نقشه واقعیت زمینی توسط فرد خبره به صورت تفسیر تصاویر و با کمک تصاویر گوگل ارث تهیه شده است. برای ارزیابی، ماتریس ابهام را می‌توان با استفاده از داده‌های واقعیت زمینی تشکیل داد. سپس، پارامترهای FI\_score، دقت کلی و خطاهای مشارکت و نادیده گرفتن محاسبه می‌شود.

#### پیاده‌سازی و ارزیابی نتایج

در این بخش، تمامی مراحل یادشده اجرا می‌شود.

#### تهیه نقشه پهنه‌های آبی دائمی

از آنجا که باند مادون قرمز نزدیک، باند حساس به آب است، حد آستانه Otsu روی آن اجرا شده است. هیستوگرام مربوط به این باند در شکل ۳ ارائه شده است. مطابق با شکل‌های هیستوگرام منطقه گلستان تقریباً bimodal یا دو قله‌ای و هیستوگرام منطقه خوزستان unimodal و یا تک‌قله‌ای است که در هریک شیوه تعیین حد آستانه متفاوت خواهد بود. در تعیین حد آستانه هیستوگرام‌های دو قله‌ای، مقدار حد آستانه بین دو قله در نظر گرفته می‌شود. حال آنکه در هیستوگرام‌های تک‌قله‌ای، خطی از قله تا کمترین مقدار در

اقدام به تهیه نقشه سیل با استفاده از الگوریتم NDFI شده است. NDFI مبتنی بر تجزیه و تحلیل چند زمانی مجموعه داده‌های سنتینل ۱ است. این شاخص توسط رابطه ۳ محاسبه می‌شود که در آن  $O_0(t)$  همان ضریب بازپراکنش است.

(۳)

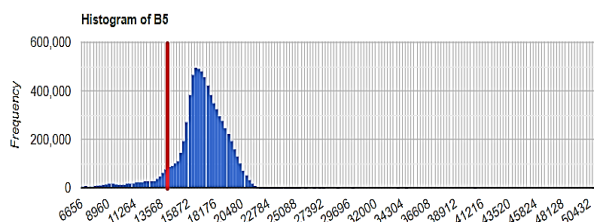
$$NDFI = \frac{\text{mean}\sigma_0(\text{refrence}) - \text{min}\sigma_0(\text{refrence+ flood})}{\text{mean}\sigma_0(\text{refrence}) + \text{min}\sigma_0(\text{refrence+ flood})}$$

روند کلی کار به این صورت انجام می‌گیرد که سری زمانی مرجع مطابق مرحله قبل تهیه و به عنوان refrence در رابطه ۳ قرار می‌گیرد. سپس، میانگین بازپراکنش این سری زمانی محاسبه می‌شود. پس از آن، این مجموعه داده به همراه سری زمانی مربوط به دوره‌های سیل، دسته جدیدی از تصاویر را فراهم می‌آورد که در آنها نیز کمترین مقدار بازپراکنش برآورد می‌شود و در نهایت، به کمک این دو پارامتر به دست آمده، شاخص NDFI برای هر سه تاریخ محاسبه می‌شود و نقشه سیل به دست می‌آید. NDFI مناطق سیل زده را با توجه به شرایط طبیعی سطح زمین و مناطق آبی که به طور موقت تحت پوشش قرار گرفته‌اند، برجسته می‌کند. میانگین مقدار بازپراکنش سری زمانی تصاویر مرجع نشان دهنده خصوصیات متوسط یا نرمال سطح زمین است که شامل مقادیر برگشت کم از سطوح صاف و مقادیر برگشت زیاد از سطوح ناهموار است. مقدار مینیمم در مجموعه ترکیبی مرجع و سیل مقادیر بسیار ضعیفی از بازپراکنش را بر اثر به وجود آمدن سیلاب ارائه می‌کند. اختلاف بین مقدار متوسط و مینیمم، مقادیر کم بازپراکنش یعنی مناطق سیل زده را برجسته می‌کند. NDFI مزایای متعددی دارد. برای مثال، می‌توان به ثبات زیاد و سادگی آن اشاره کرد. همچنین، NDFI به حداقل ورودی وابسته به کاربر نیاز دارد و در محیط‌های مختلف با داده‌های سنجنده‌های مختلف کار می‌کند [۵ و ۱۱]. از دیگر مزایای آن، می‌توان قابلیت استفاده در حجم وسیعی از داده‌ها همانند تحقیق حاضر را یادآور شد. پس از محاسبه شاخص تفسیرشده، برای شناسایی مناطق سیل زده از مناطق دیگر نیاز به حد آستانه‌گذاری است که همانند مرحله قبل به صورت تجربی توسط فرد پژوهشگر با آزمون و خطا به دست می‌آید. در تعیین این حد آستانه باید توجه داشت که مقادیر بازپراکنش مناطق غیر سیلابی نزدیک به صفر است و این موضوع انتخاب حد آستانه را برای کاربر آسان‌تر و سریع‌تر می‌کند. در نهایت، نقشه به دست آمده یک نقشه

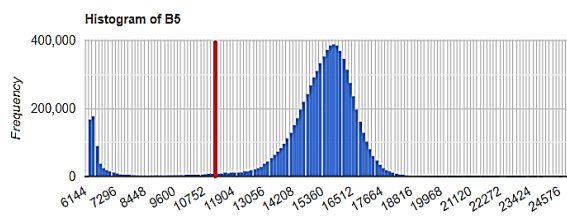


این ترتیب، خط قرمز در شکل ۳ نشان‌دهنده مقدار حد آستانه تعیین‌شده در هر منطقه است.

نظر گرفته می‌شود و وسط آن خط به‌عنوان حد آستانه به دست می‌آید؛ در واقع در این نوع هیستوگرام مقدار فرورفتگی یا گودی قله به‌عنوان حد آستانه در نظر گرفته می‌شود. به



(ب)



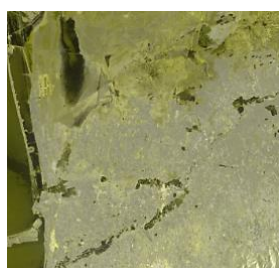
(الف)

شکل ۲. هیستوگرام باند مادون قرمز نزدیک: الف) گلستان؛ ب) خوزستان

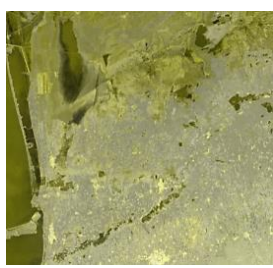
از تاریخ‌های سیل نیز به دست می‌آید. با استفاده از این سه تصاویر در نهایت مقادیر  $Z\_score$  طبق روابط به دست می‌آید. خروجی مربوط به میانگین مقادیر بازپراکنش دوره‌های مختلف سیل در شکل ۴ قابل مشاهده است.

### نتایج محاسبات آماری

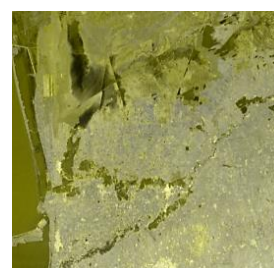
طبق توضیحات ارائه‌شده، در مرحله دوم اقدام به محاسبه مقادیر میانگین و انحراف معیار ضریب بازپراکنش تصاویر مرجع شده و در کنار آنها میانگین ضرایب بازپراکنش هر یک



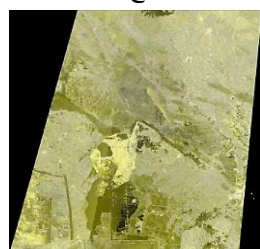
(ج)



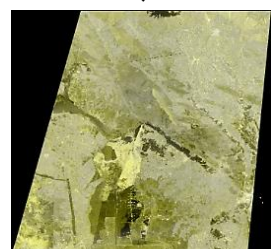
(ب)



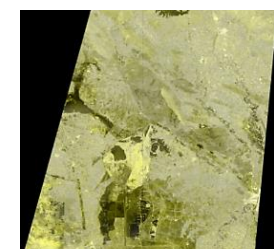
(الف)



(ه)



(ت)



(د)

شکل ۳. مقادیر میانگین بازپراکنش دو منطقه: الف) سیل اول گلستان؛ ب) بین سیل اول و دوم گلستان؛ ج) سیل دوم گلستان؛ د) دوره اول خوزستان؛ ت) دوره دوم خوزستان؛ ه) دوره سوم خوزستان

### نقشه‌های شدت سیل

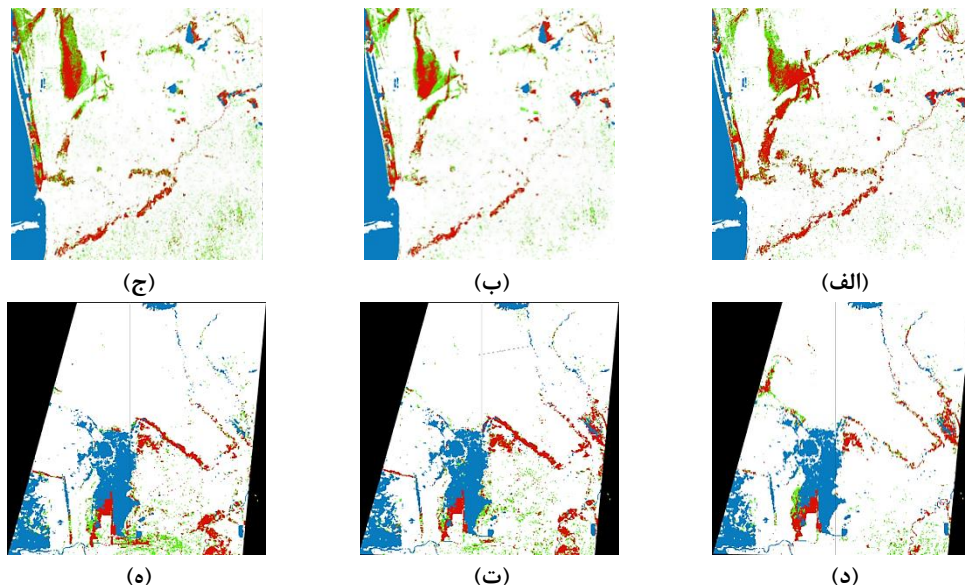
در این مرحله نقشه‌های شدت سیل از ترکیب قوانین مطرح‌شده در شکل ۲ به دست می‌آیند. این نقشه‌ها دارای ۴ کلاس پهنه‌های آبی دائمی به رنگ آبی، مناطق سیل‌زده با شدت زیاد به رنگ قرمز، مناطق سیل‌زده با شدت متوسط به رنگ سبز و در نهایت، مناطق غیرآبی به رنگ سفید هستند.

مطابق با شکل ۴، میانگین بازپراکنش در سه دوره زمانی سیل به‌صورت ترکیب باندی کاذب با ترتیب ۷۷، ۷۷ و ۷۷ ارائه شده است که با توجه به هموار بودن سطح پهنه‌های آبی، میزان بازپراکنش این سطوح کمتر از سایر مناطق هستند و تیره‌تر دیده می‌شوند.



باند و در منطقه خوزستان حد آستانه ۲/۵- برای باند ۷۷ و حد آستانه ۲- برای باند ۷H پاسخ‌گویی مناسبی دارند.

حد آستانه‌های مربوط به باندهای ۷۷ و ۷H در هر دو منطقه متفاوت است و به‌صورت تجربی تعیین شده است. برای مثال، در منطقه گلستان حد آستانه ۱/۵- برای هر دو

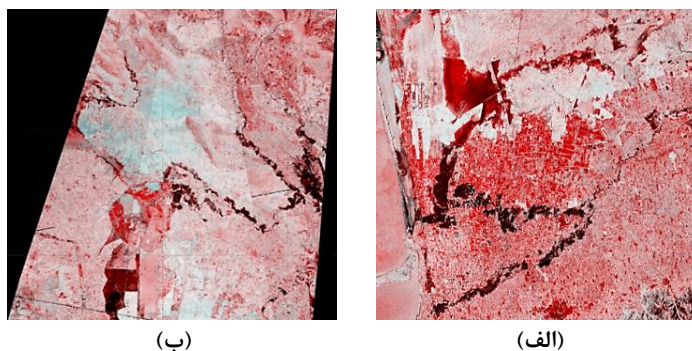


شکل ۴. نقشه‌های شدت سیل در دو منطقه: (الف) سیل اول گلستان؛ (ب) بین سیل اول و دوم گلستان؛ (ج) سیل دوم گلستان؛ (د) دوره اول سیل خوزستان؛ (ت) دوره دوم سیل خوزستان؛ (ه) دوره سوم سیل خوزستان؛ (ی) راهنمای نقشه

#### تهیه نقشه سیل با NDFI

این شاخص در عین سادگی و سرعت زیاد امکانات متعددی نیز دارد. برای مثال، حد آستانه‌گذاری روی این شاخص به دلیل نزدیک بودن مقادیر نواحی غیر سیل به صفر سهولت زیادی دارد. همچنین، این شاخص قابلیت شناسایی آب‌های کم‌عمق در پوشش‌های گیاهی کوتاه را دارد که از کمبودهای روش پیشین است. بنابراین، طبق رابطه توصیف‌شده، مقدار شاخص محاسبه و تصویر تهیه می‌شود و در آخر، با استفاده از حد آستانه نقشه سیل به دست می‌آید. مقدار حد آستانه فقط روی باند ۷۷ تصاویر پیاده شده و برای گلستان ۰/۳- و خوزستان ۰/۲۵- توسط فرد پژوهشگر در نظر گرفته شده است. در شکل ۶، نمونه‌ای از این تصاویر نمایش داده شده است. برای اطمینان و بهبود دقت بیشتر روی این تصاویر نیز از فیلتر ارتفاع استفاده شده است.

همان‌گونه که در تصاویر یادشده قابل مشاهده است، در نقشه‌های تولیدشده، در برخی موارد مناطق بیش‌ازحد شناسایی شده است. این در حالی است که اگر حد آستانه‌های مناطق کوچک‌تر شود، احتمال حذف مناطق اصلی سیلابی وجود خواهد داشت. برای مثال در شناسایی شهرها، توجه به این موضوع که سطوحی همچون خیابان‌ها و ساختمان‌ها در هر دو وضعیت سیلابی و غیر سیلابی بازپراکنش زیاد دارند، ضروری است. بنابراین، این نقشه‌ها به دلیل حذف مناطق اشتباه و حفظ دقت مناطق سیل‌زده نیاز به بهبود دارند. در نتیجه، برآورد Z\_score و تعیین حد آستانه روی باندهای ۷۷ و ۷H تصاویر سنتینل اگرچه کارایی و سرعت زیادی در تعیین مناطق سیل‌زده دارد، ولی در مواردی نیز دارای خطاهایی بوده که از چالش‌های این رویکرد است.



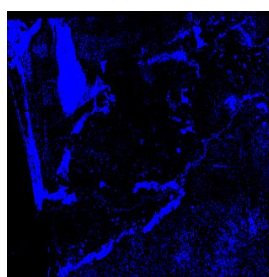
شکل ۵. نمونه ترکیب باندی کاذب NDFI در دو منطقه: الف) سیل اول گلستان؛ ب) دوره اول سیل خوزستان

سیلابی شناسایی شده‌اند که این موضوع لزوم استفاده از فیلتر ارتفاع را نمایان می‌سازد و در صورت تعیین یک حد آستانه مناسب، آن خطاها نیز رفع می‌شود.

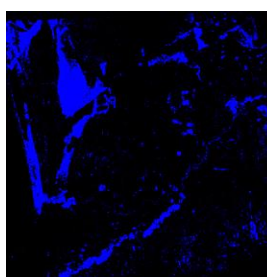
#### باینری‌سازی نقشه‌های شدت سیل

در نهایت، کلاس‌های سیل در نقشه شدت سیل، ادغام و سایر کلاس‌ها نیز با یکدیگر ترکیب می‌شوند و تشکیل یک نقشه باینری سیل را می‌دهند تا در گام بعد وارد چرخه بهبود شوند. بخش‌های آبی‌رنگ، مناطق سیل‌زده و بخش‌های مشکی، کلاس سایر است. خروجی‌های این مرحله در شکل ۷ قابل مشاهده است.

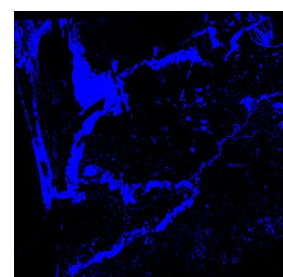
در شکل ۶ ترکیب باندی کاذب برای تفکیک بهتر مناطق سیلابی از سایر مناطق و با ترتیب VH، VV و VV ارائه شده است و همان‌طور که مشاهده می‌شود، قسمت‌های سیل‌زده رنگی تیره‌تر از سایر سطوح دارند؛ بنابراین طبق شکل‌های یادشده و از توجه در رابطه این شاخص می‌توان مشاهده کرد که هرچه شدت سیلاب در منطقه بیشتر بوده، شدت بازپراکنش در آن کمتر است که منجر به تیره‌تر شدن رنگ نمایش می‌شود. اگرچه این فیلتر به‌تنهایی عملکرد خوبی برای شناسایی مناطق سیل‌زده داشته، ولی در برخی نواحی نیز دچار مشکل و اشتباه شده است. برای مثال، در قسمت الف شکل ۶ که مربوط به منطقه گلستان است، برخی نواحی کوهستانی در گوشه سمت راست تصویر به‌اشتباه پهنه



(ج)

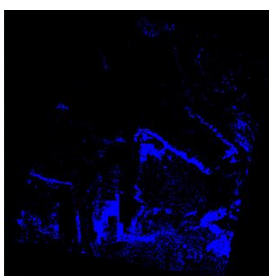


(ب)

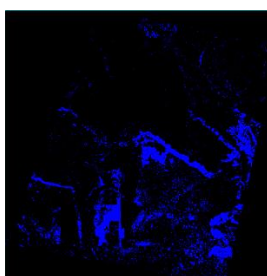


(الف)

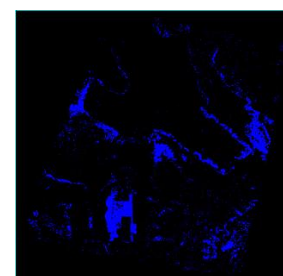
| رنگ کلاس | نام کلاس |
|----------|----------|
| آبی      | سیل      |
| مشکی     | سایر     |



(ه)



(ت)



(د)

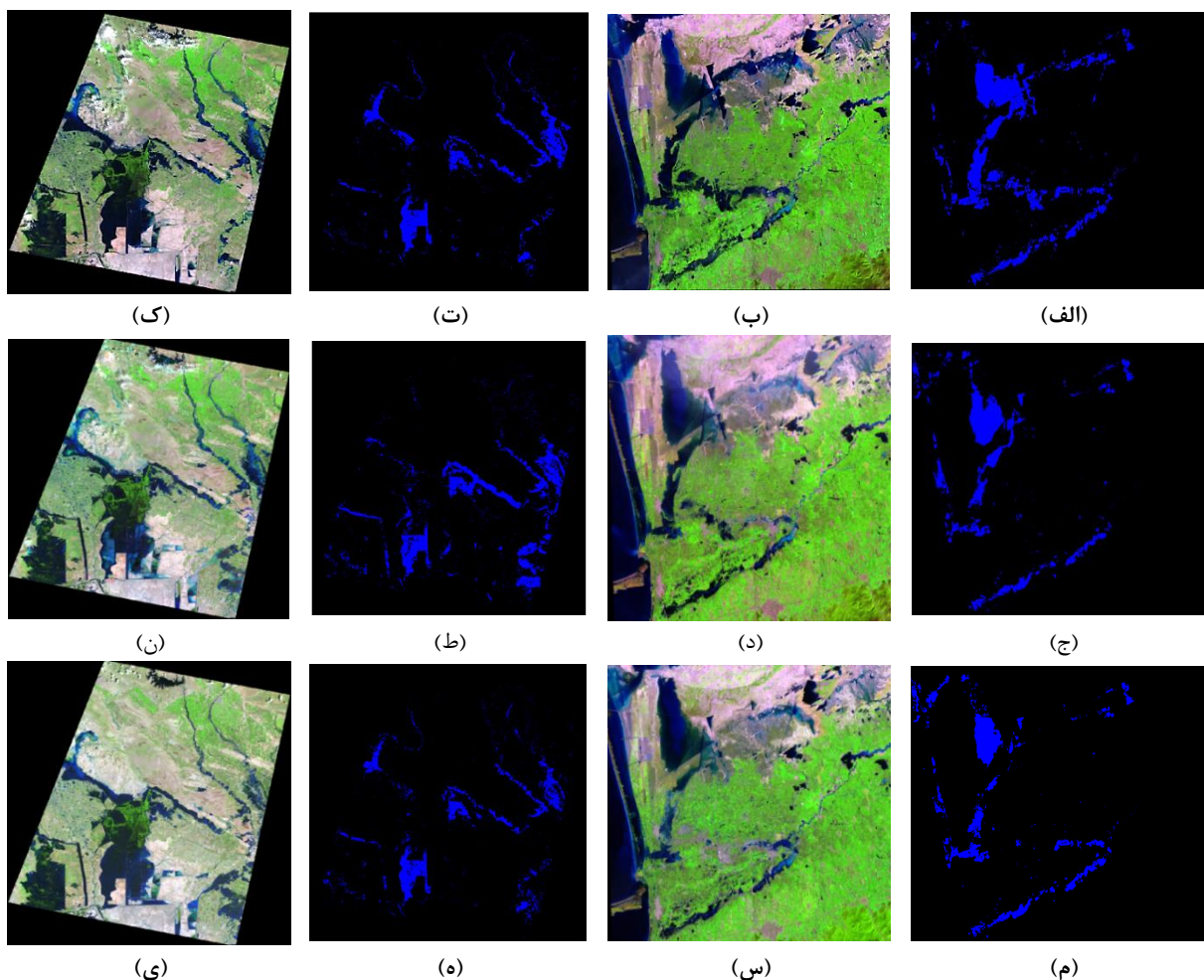
(ی)

شکل ۶. نقشه‌های باینری سیل در دو منطقه: الف) سیل اول گلستان؛ ب) بین سیل اول و دوم گلستان؛ ج) سیل دوم گلستان؛ د) دوره اول خوزستان؛ ت) دوره دوم خوزستان؛ ه) دوره سوم خوزستان؛ ی) راهنمای نقشه

تهیه نقشه سیل نهایی

در دوره‌های مختلف ارائه شده‌اند. همچنین، درخور یادآوری است که ترکیب باندهای کاذب استفاده‌شده برای تصاویر هر دو منطقه در شکل ۸ به ترتیب باندهای فرورسرخ کوتاه ۱، فرورسرخ نزدیک و قرمز هستند.

در نهایت، از مجموع دو نقشه سیل توسط  $Z\_score$  و  $NDFI$ ، نقشه نیمه‌خودکار و تقریباً آبی نهایی به دست می‌آید. به دلیل مقایسه بهتر و دقیق‌تر خروجی‌ها با تصاویر منطقه در هر زمان، نتایج رویکرد پیشنهادی به همراه تصاویر دو منطقه



شکل ۷. خروجی‌های نهایی رویکرد پیشنهادی در دو منطقه (کلاس سیل و سایر): الف) نقشه باینری دوره اول سیل در گلستان؛ ب) تصویر منطقه گلستان در دوره اول سیل؛ ج) نقشه باینری دوره دوم سیل در گلستان؛ د) تصویر منطقه گلستان در دوره دوم سیل؛ م) نقشه باینری دوره سوم سیل در گلستان؛ س) تصویر منطقه گلستان در دوره سوم سیل؛ ت) نقشه باینری دوره اول سیل در خوزستان؛ ک) تصویر منطقه خوزستان در دوره اول سیل؛ ط) نقشه باینری دوره دوم سیل در خوزستان؛ ن) تصویر منطقه خوزستان در دوره دوم سیل؛ ه) نقشه باینری دوره سوم سیل در خوزستان؛ ی) تصویر منطقه خوزستان در دوره سوم سیل

سنجده راداری سنتینل ۱ از توانایی مناسبی برای شناسایی مناطق سیل‌زده برخوردار است، اما برخی ضعفها در تفکیک نیز دارد که اعمال شاخص  $NDFI$  و ترکیب آن با نقشه حاصل از رویکرد محاسبات آماری رادار باعث بهتر شدن و بالا بردن سطح دقت و صحت مناطق مورد شناسایی شده است. همین مسئله در منطقه دیگری نظیر استان خوزستان که رطوبت کمتری دارد نیز صادق است. بنابراین، بررسی دو

همان‌طور که در شکل‌های ۷ و ۸ قابل مشاهده است، در نقشه‌های باینری حاصل از رویکرد  $Z\_score$ ، مناطق بسیار زیادی به‌اشتباه و اغراق‌آمیز شناسایی شده‌اند. این موضوع در برخی موارد ناشی از عدم قدرت رویکرد در تفکیک مناطق سیل‌زده از پوشش‌های گیاهی آبیاری شده است که تأثیر زیادی در منطقه گلستان به سبب بارش‌های دائمی و فراوان دارد؛ بنابراین اگرچه مقادیر  $Z\_score$  دو باند  $VH$  و  $VV$  در

کار، از تصاویر لندست در تاریخ‌های مختلف در هر دو منطقه استفاده شده و جزئیات آن در ادامه شرح داده شده است.

#### نقشه واقعیت زمینی استان گلستان

برای پیاده‌سازی این بخش، از سه تصویر Landsat 8OLI و Landsat 7ETM متناسب با تاریخ دوره‌های بررسی شده، استفاده شده است. علت انتخاب این سنجنده‌ها، دسترسی به تصاویر بدون پوشش ابر در تاریخ‌های یادشده در جدول ۲ است. همچنین، به دلیل نبود داده‌های سنتینل ۲ در وسعت مطالعه‌شده تحقیق حاضر بدون حضور پوشش ابری، از استفاده این منبع داده نیز صرف‌نظر شده است. این تصاویر ابتدا پیش‌پردازش شدند و سپس، از مقایسه آنها با تصویر قبل از سیل و تصاویر گوگل ارث، نقشه واقعیت زمینی تهیه شد. نقشه‌های واقعیت زمینی هر سه دوره بررسی شده، در شکل ۹ نمایش داده شده است.

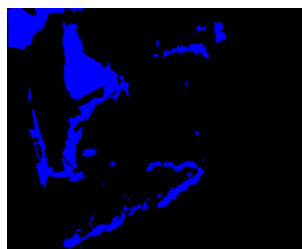
منطقه متفاوت نشان‌دهنده اثبات کارایی و ثبات زیاد رویکرد پیشنهادی در تهیه نقشه سیلاب به‌صورت سریع و با دقت زیاد بوده است. ارزیابی‌های کمی در بخش بعد، توضیحات داده‌شده در این بخش را کامل می‌کند. درخور یادآوری است که در منطقه خوزستان سیلاب از دوره اول تا دوره دوم روند صعودی داشته و سپس، در دوره سوم رو به کاهش بوده است. این موضوع از تصاویر باند کاذب منطقه نیز قابل تشخیص است. درخور یادآوری است که برای حذف برخی نویزها و بهبود بصری تصاویر خروجی، از عملیات مورفولوژی نیز استفاده شده است.

#### تهیه داده‌های واقعیت زمینی

همان‌گونه که توضیح داده شد، نقشه‌های واقعیت زمینی برای هر دو منطقه توسط پژوهشگر به‌صورت دستی و به کمک تصاویر گوگل ارث، ترسیم و تهیه شده است. برای انجام این

جدول ۲. داده‌های استفاده‌شده در تهیه نقشه واقعیت زمینی سیل گلستان

| سنجنده       | تاریخ اخذ تصویر | دوره زمانی        |
|--------------|-----------------|-------------------|
| Landsat 8OLI | ۲۰۱۹/۰۴/۰۳      | سیل اول           |
| Landsat 7ETM | ۲۰۱۹/۰۴/۱۱      | بین سیل اول و دوم |
| Landsat 7ETM | ۲۰۱۹/۰۴/۲۷      | سیل دوم           |



(ج)



(ب)



(الف)

شکل ۸. نقشه‌های واقعیت زمینی استان گلستان: (الف) سیل اول؛ (ب) بین سیل اول و دوم؛ (ج) سیل دوم

اپتیکی رایگان در تاریخ‌های مطالعه‌شده بوده است، بنابراین تنها راه‌حل این مسئله، استفاده از یک الگوریتم فیوژن و تهیه داده‌های مناسب است. به این دلیل، دو جفت تصویر لندست ۸ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متری و ترجیحاً با حداقل پوشش ابری در دو تاریخ نزدیک به سیل انتخاب شده و با دو جفت تصویر مادیس با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متری در همان تاریخ ادغام می‌شوند و مقادیر تصویر مادیس نهایی ارائه‌شده به الگوریتم به‌عنوان ورودی پنجم در تاریخ مشخص‌شده در جدول ۳ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر

#### نقشه واقعیت زمینی استان خوزستان

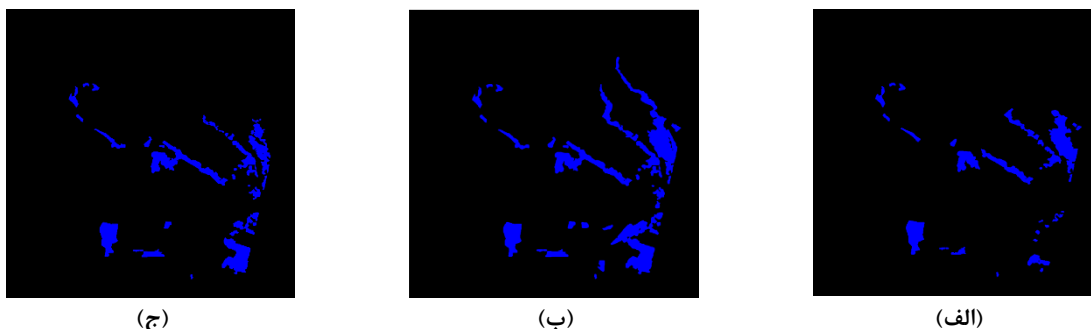
برای تهیه نقشه‌های این منطقه، روند قبل اجرا می‌شود. تنها تفاوت شیوه تهیه داده‌های واقعیت زمینی این منطقه با قبل در داده‌های اولیه و تاریخ‌های مربوط به آن است. برای استان خوزستان، دو تصویر فیوژن‌شده برای دوره اول و دوم سیل و یک تصویر Landsat 8OLI در دوره سوم سیل استفاده شدند. تصاویر فیوژن‌شده توسط ادغام تصاویر لندست ۸ و تصاویر MOD09GA مادیس با الگوریتم ESTARFM به دست می‌آیند [۱۵]. دلیل این کار، عدم دسترسی به داده‌های



محاسبه می‌شود و به دست می‌آید. بنابراین، ۵ تصویر به‌عنوان ورودی به الگوریتم داده شده و درنهایت، تصویر با قدرت تفکیک ۳۰ متری تهیه می‌شود. تاریخ نقشه‌های واقعیت زمینی نهایی در جدول ۳ قابل مشاهده است. نقشه‌های واقعیت زمینی این منطقه در هر سه دوره بررسی شده، در شکل ۱۰ نمایش داده شده است.

جدول ۳. داده‌های استفاده شده در تهیه نقشه واقعیت زمینی سیل خوزستان

| سنجده        | تاریخ اخذ تصویر | دوره زمانی |
|--------------|-----------------|------------|
| Fusion       | ۲۰۱۹/۰۴/۰۴      | دوره اول   |
| Fusion       | ۲۰۱۹/۰۴/۱۴      | دوره دوم   |
| Landsat 8OLI | ۲۰۱۹/۰۴/۲۴      | دوره سوم   |



شکل ۹. نقشه‌های واقعیت زمینی استان خوزستان: (الف) دوره اول سیل؛ (ب) دوره دوم سیل؛ (ج) دوره سوم سیل

است. به دلیل اطمینان از دقت زیاد روش پیشنهادی، علاوه بر ارزیابی مطلق، ارزیابی نسبی نیز بین نتایج رویکرد پیشنهادی و رویکرد Z\_Score انجام گرفته است.

**ارزیابی نقشه سیل رویکرد Z\_score**

ارزیابی روش ابتدایی تهیه نقشه سیل در این بخش انجام گرفته و نتایج حاصل از آن برای هر ۴ پارامتر نام برده در جدول ۴ ارائه شده است.

**ارزیابی و اعتبارسنجی**

مهم‌ترین مرحله پیاده‌سازی هر رویکردی در تحقیقات، ارزیابی و اعتبارسنجی نتایج به دست آمده به کمک داده‌های واقعیت زمینی است. برای ارزیابی می‌توان ماتریس ابهام کلی تصویر را تشکیل داد و سپس بر اساس آن، میزان دقت پارامترهای مختلف را به صورت درصد بیان کرد. درنهایت، با توجه به اطلاعات به دست آمده از جدول یاد شده خطاهای نادیده گرفتن، مشارکت، دقت کلی و F1\_score محاسبه شده

جدول ۴. ارزیابی نقشه سیل رویکرد Z\_score در استان گلستان و خوزستان

| خوزستان  |          |          | گلستان  |                   |         | دوره زمانی        | معیار |
|----------|----------|----------|---------|-------------------|---------|-------------------|-------|
| دوره سوم | دوره دوم | دوره اول | سیل دوم | بین سیل اول و دوم | سیل اول |                   |       |
| ۹۵/۸۷    | ۹۴/۷۲    | ۹۶/۷۹    | ۹۰/۱۸   | ۹۰/۵۴             | ۸۹/۸۱   | دقت کلی           |       |
| ۴/۱۲     | ۵/۲۷     | ۳/۲۰     | ۹/۸۱    | ۹/۴۵              | ۱۰/۱۸   | خطای مشارکت       |       |
| ۴/۸۵     | ۵/۲۶     | ۳/۶۰     | ۱۱/۰۵   | ۸/۷۶              | ۹/۷۰    | خطای نادیده گرفتن |       |
| ۹۷/۴۶    | ۹۷/۲۵    | ۹۸/۱۳    | ۹۳/۷۲   | ۹۵/۱۴             | ۹۴/۴۶   | F1_Score          |       |

خطای مشارکت<sup>۱</sup> و نادیده گرفتن<sup>۲</sup> در آنها به‌خصوص در منطقه

همان‌گونه که از جدول ۴ قابل مشاهده است، نتایج از دقت‌های مناسب و تقریباً قابل قبولی برخوردارند، ولی میزان

1. Commission Error  
2. Omission Error

گلستان زیاد بوده است. در ادامه، نتایج حاصل از الگوریتم پیشنهادی بررسی خواهد شد که به صورت چشمگیری این مشکل را بهبود می‌بخشد.

### ارزیابی نقشه سیل رویکرد پیشنهادی

ارزیابی رویکرد پیشنهادی تهیه نقشه سیل در این بخش انجام گرفته و نتایج حاصل از آن در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵. ارزیابی نقشه سیل رویکرد پیشنهادی در استان گلستان و خوزستان

| خوزستان  |          |          | گلستان  |                   |         | دوره زمانی<br>معیار |
|----------|----------|----------|---------|-------------------|---------|---------------------|
| دوره سوم | دوره دوم | دوره اول | سیل دوم | بین سیل اول و دوم | سیل اول |                     |
| ۹۵/۹۳    | ۹۵/۷۱    | ۹۷/۳۶    | ۹۲/۶۰   | ۹۲/۴۵             | ۹۱/۸۴   | دقت کلی             |
| ۴/۰۶     | ۴/۲۸     | ۲/۶۳     | ۷/۴۰    | ۷/۵۴              | ۸/۱۵    | خطای مشارکت         |
| ۳/۶۰     | ۳/۹۰     | ۲/۷۷     | ۷/۵۵    | ۷/۶۵              | ۷/۴۲    | خطای نادیده گرفتن   |
| ۹۸/۱۳    | ۹۷/۹۵    | ۹۸/۵۶    | ۹۵/۹۴   | ۹۵/۸۷             | ۹۵/۳۷   | FI_Score            |

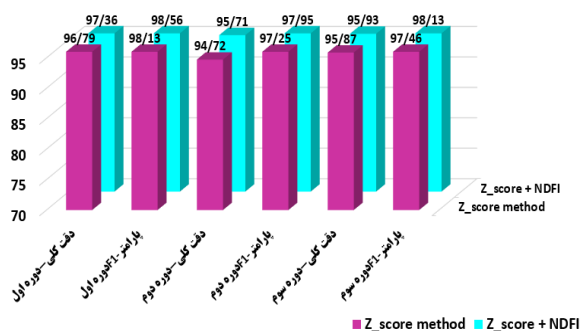
اول را در تمامی پارامترها به خصوص خطاهای نادیده گرفتن و مشارکت مشاهده کرد. بنابراین، ترکیب این دو روش در شناسایی دقیق تر مکان‌های سیل زده و حذف برخی مناطق به اشتباه شناسایی شده مؤثر واقع شده است. در شکل ۱۱، نمودارهایی برای مقایسه جامع تر رویکردها با یکدیگر ارائه شده است.

درخور یادآوری است که روش پیشنهادی تحقیق روی دو منطقه با جغرافیایی کاملاً متفاوت پیاده‌سازی شده تا تأثیرات عوامل محیطی نظیر رطوبت، وجود ارتفاعات و غیره روی داده‌های راداری نیز بررسی شود. در نهایت، اجرا و ارزیابی رویکرد پیشنهادی روی دو منطقه با جغرافیای متفاوت و اخذ نتایج با دقت زیاد، اثباتی بر قابل تعمیم بودن این روش بر مناطق مختلف با وسعت‌های متفاوت است. از نمودارهای ارائه شده می‌توان دریافت که خطاهای مشارکت و نادیده گرفتن رویکرد پیشنهادی در مقایسه با روش محاسبات آماری بهبود چشمگیری داشته است. این موضوع به دلیل آن است که زمانی که دو نقشه با ثبات و دقت زیاد با یکدیگر ترکیب می‌شوند، قسمت‌های به اشتباه شناسایی شده در هر یک از روش‌ها، حذف می‌شوند و فقط مناطق صحیح باقی می‌مانند. به این ترتیب، دقت افزایش و خطا کاهش پیدا می‌کند.

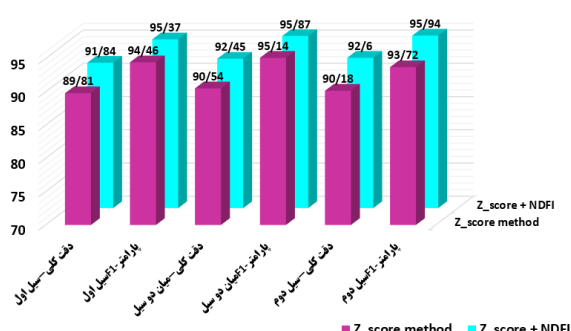
بر اساس نتایج رویکرد پیشنهادی، این الگوریتم علاوه بر بهره‌مندی از دقت مناسب، نیاز به زمان بسیار کمی برای اخذ خروجی‌های لازم دارد؛ بنابراین با توجه به اینکه داده‌های اخذ شده توسط این سنسورها، شامل مناطق وسیع و حاوی سطح بالایی از جزئیات هستند و تفسیر معنایی دستی بسیار وقت‌گیر و پرهزینه است و علاوه بر این، در صورت بروز شرایط بحرانی و حوادث طبیعی نظیر سیل، نقشه‌برداری سریع و آنی مورد نیاز است، ضرورت توسعه و ارائه روش‌هایی با اتوماسیون زیاد احساس می‌شود. بنابراین، همان‌گونه که مشاهده می‌شود، زمان مورد نیاز برای اجرا روی تمامی تصاویر (شامل صدها تصویر) و پیاده‌سازی کامل الگوریتم پیشنهادی در هر منطقه بسیار مناسب بوده و در هر منطقه کمتر از سه دقیقه بوده است؛ بنابراین نتایج بیانگر سطح اتوماسیون، دقت و سرعت بسیار زیاد در تهیه نقشه‌های خروجی است.

### بحث و بررسی

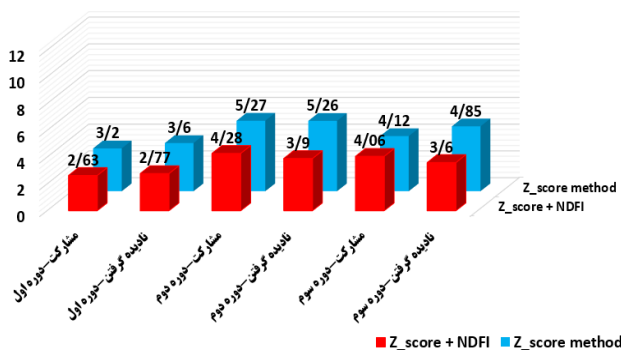
بر اساس نتایج رویکرد پیشنهادی علاوه بر بهره‌مندی از سرعت مناسب و نیمه‌خودکار بودن، دقت‌های بسیار زیاد و خطای کم دارند. همچنین، از مقایسه جدول‌های ۴ و ۵ می‌توان تأثیر اضافه کردن نقشه شاخص NDFI به رویکرد



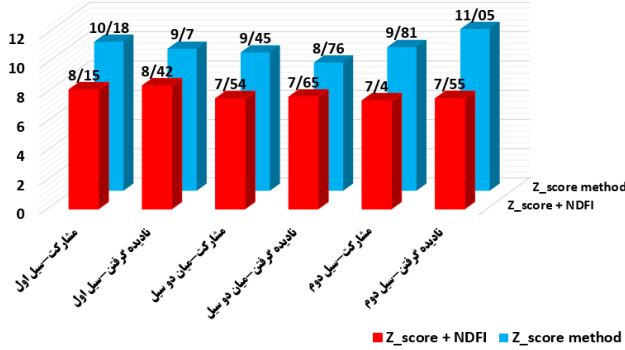
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۱۰. ارزیابی نسبی نتایج در مناطق آزمایشی مختلف: الف) دقت کلی گلستان؛ ب) دقت کلی خوزستان؛ ج) ضریب کاپای گلستان؛ د) ضریب کاپای خوزستان

جدول ۶. نتایج آزمون مک نمار در استان گلستان و خوزستان

| Z_score | مقدار  | دوره بررسی شده |
|---------|--------|----------------|
| خوزستان | گلستان | دوره بررسی شده |
| ۲۲۹/۸۱  | ۳۶۳/۱۶ | دوره اول       |
| ۷۸/۸۷   | ۱۲۱/۵۳ | دوره دوم       |
| ۳۰۲/۱۱  | ۲۸۰/۷۶ | دوره سوم       |

### نتیجه‌گیری

هدف از انجام این تحقیق، پیاده‌سازی رویکردی نیمه خودکار برای شناسایی مناطق سیل‌زده و شدت آن، با سرعت و دقت زیاد بوده است. همچنین، از دیگر مزایای رویکرد ارائه شده می‌توان به استفاده ترکیبی داده‌های اپتیک و رادار به صورت بلندمدت، نیاز محدود به دانش کاربر و سطح اتوماسیون مناسب در عین حفظ سرعت و دقت الگوریتم و قابلیت اخذ نتایج مناسب در مناطق با وسعت زیاد و شرایط متفاوت اشاره کرد. برای ارزیابی عادلانه روش، علاوه بر روش پیشنهادی یک رویکرد مرتبط دیگر نیز پیاده‌سازی و نتایج هر یک با یکدیگر مقایسه شدند. همچنین، برای اثبات پایداری روش

از آنجا که در برخی موارد نتایج بسیار به هم نزدیک‌اند و تفاوت‌ها از نظر معناداری باید بررسی شوند، اجرای آزمون مک‌نمار می‌تواند نوعی روش آزمون مناسب بین دو رویکرد متفاوت باشد. این آزمون برای بررسی اهمیت تفاوت نتایج بین دو روش استفاده می‌شود [۱۶]. در این آزمون روش قیاس شده با روش پیشنهادی و البته، در حضور داده واقعیت زمینی، در سطح معناداری ۹۵ درصد بررسی می‌شود و اگر نتایج بررسی که در جدول ۶ آورده شده است، بزرگ‌تر از ۱/۹۶ باشد، وابستگی آماری بین نتایج وجود ندارد و اختلاف عددی نزدیک میان روش‌ها می‌تواند نشان برتری باشد و معتبر خواهد بود. در حقیقت، اگر خروجی آزمون مک‌نمار دارای مقادیر بزرگ‌تر از ۱/۹۶ باشد، آن‌گاه اختلاف معناداری میان دو روش وجود دارد [۱۷].

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، نتایج بیانگر عدم وابستگی نتایج به یکدیگر است. بنابراین، رویکرد پیشنهادی از هر نظر دارای برتری بوده و امکان استفاده از آن در مدیریت سریع و دقیق بحران سیل وجود دارد.



## منابع

- پیشنهادی، پیاده‌سازی‌ها روی دو منطقه متفاوت از نظر شرایط محیطی و جغرافیایی صورت گرفته است. این مناطق شامل بخش بسیار وسیعی از استان‌های گلستان و خوزستان در پی رخداد سیل ۱۳۹۸ در ایران هستند که دچار خسارت‌های شدیدی شدند. ابتدا با توجه به لزوم شناسایی پهنه‌های آبی دائم در منطقه از داده‌های لندست ۸ در یک سری زمانی متراکم استفاده شده که روی باند مادون قرمز آن، حد آستانه‌گذاری خودکار اتسو به دلیل تهیه نقشه پهنه‌های دائمی اجرا شده است. تعداد وسیع این تصاویر امکان شناسایی نزدیک به واقعیت را به ما می‌دهد. سپس، در روش اول از محاسبات آماری رادار نظیر  $Z\_score$  استفاده شده و با تعریف حد آستانه‌هایی روی باندهای VH و VV، نقشه مناطق سیل‌زده و همچنین، شدت آن به دست آمده است. این روش اگرچه دقت زیادی داشته است، ولی طبق خطاهای مشارکت و نادیده گرفتن، در مواردی، نواحی را به اشتباه شناسایی می‌کند. بنابراین، به دلیل بهبود دقت این رویکرد، نقشه تولیدشده توسط محاسبات آماری رادار با نقشه سیل حاصل از شاخص نوین NDFI ترکیب می‌شود و نتایج بهتری را از نظر دقت ارائه می‌کند. این موضوع از توجه به نتایج ارزیابی کمی نیز دریافت می‌شود. برای مثال، در منطقه گلستان و خوزستان نقشه به‌دست‌آمده از سیل اول توسط محاسبات آماری رادار به ترتیب دارای دقت کلی ۸۹/۸۱ و ۹۶/۷۹ و خطای مشارکت ۱۰/۱۸ و ۳/۲۰ بوده و نقشه به‌دست‌آمده از ترکیب روش محاسبات آماری و شاخص NDFI نیز به ترتیب مناطق دارای دقت کلی ۹۱/۸۴ و ۹۷/۳۶ و خطای مشارکت ۸/۱۵ و ۲/۶۳ بوده است. این نتایج در سایر تاریخ‌های بررسی‌شده و معیارهای ارائه‌شده قابل مشاهده است. روند الگوریتم و همچنین، پلتفرم پیاده‌سازی تحقیق حاضر شد تا علاوه بر تأمین دقت در تهیه نقشه‌های سیلاب به دلیل مدیریت بحران و همچنین، محدود ساختن دخالت کاربر در روند اجرای آن، از سرعت زیاد و همچنین، استفاده از حجم وسیعی از تصاویر ماهواره‌ای بدون نیاز به صرف وقت زیاد نیز برخوردار باشد. از برنامه‌های آتی نویسندگان برای بهبود این تحقیق، استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی برای برآورد خسارت‌های واردشده به انواع کاربری‌های موجود مانند زمین‌های کشاورزی، مناطق شهری و غیره توسط ادغام نقشه‌های سیل تهیه‌شده با رویکرد پیشنهادی با این نقشه‌ها و همچنین، پیاده‌سازی آن در وسعت کشوری خواهد بود.
- [1]. Chi, M., et al., *Big data for remote sensing: Challenges and opportunities*. Proceedings of the IEEE, 2016. **104**(11): p. 2207-2219.
  - [2]. Ma, Y. et al. *Remote sensing big data computing: Challenges and opportunities*. Future Generation Computer Systems, 2015, p. 47-60.
  - [3]. Amani, M. et al. *Google earth engine cloud computing platform for remote sensing big data applications: A comprehensive review*. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2020.
  - [4]. Inman, V.L. and M.B. Lyons, *Automated inundation mapping over large areas using Landsat data and Google Earth Engine*. Remote Sensing, 2020. **12**(8): p. 1348.
  - [5]. Singha, M. et al. *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, 2020. **166**: p. 278-293.
  - [6]. Pham-Duc, B. C. Prigent, and F. Aires, *Surface water monitoring within Cambodia and the Vietnamese Mekong Delta over a year, with Sentinel-1 SAR observations*. Water, 2017. **9**(6): p. 366.
  - [7]. Dao, P.D. N.T. Mong, and H.P. Chan, *Landsat-MODIS image fusion and object-based image analysis for observing flood inundation in a heterogeneous vegetated scene*. GIScience & Remote Sensing, 2019. **56**(8): p. 1148-1169.
  - [8]. Xu, H. *Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery*. International journal of remote sensing, 2006. **27**(14): p. 3025-3033.
  - [9]. Feyisa, G.L. et al. *Automated Water Extraction Index: A new technique for surface water mapping using Landsat imagery*. Remote Sensing of Environment, 2014. **140**: p. 23-35.
  - [10]. Wan, K.M. and L. Billa, *Post-flood land use damage estimation using improved Normalized Difference Flood Index (NDFI 3) on Landsat 8 datasets: December 2014 floods, Kelantan, Malaysia*. Arabian Journal of Geosciences, 2018. **11**(15): p. 434.
  - [11]. Cian, F. M. Marconcini, and P. Ceccato, *Normalized Difference Flood Index for rapid flood mapping: Taking advantage of EO big data*. Remote Sensing of Environment, 2018. **209**: p. 712-730.
  - [12]. Otsu, N. *A threshold selection method from gray-level histograms*. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, 1979. **9**(1): p. 62-66.
  - [13]. F. Saeed zadeh, et al. *Change Detection of Multitemporal Sattelite Images by Comparison*

- [16]. Kiani, A. H. Ebadi, and F. Farnood Ahmadi, *Development of an object-based interpretive system based on weighted scoring method in a multi-scale manner*. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2019. **8**(9): p. 398.
- [17]. Mushore, T.D. et al. *Assessing the potential of integrated Landsat 8 thermal bands, with the traditional reflective bands and derived vegetation indices in classifying urban landscapes*. Geocarto international, 2017. **32**(8): p. 886-899.
- of Binary Mask and Most Classification Comparison Methods*. Journal of Geomatics Science and Technology, 2016. **5**(3): p. 111-128.
- [14]. DeVries, B. et al. *Rapid and robust monitoring of flood events using Sentinel-1 and Landsat data on the Google Earth Engine*. Remote Sensing of Environment, 2020. **240**: p. 111664.
- [15]. Zhu, X. et al. *An enhanced spatial and temporal adaptive reflectance fusion model for complex heterogeneous regions*. Remote Sensing of Environment, 2010. **114** :p. 2610-2623.