



پهنه‌بندی سیلاب شهری با استفاده از محاسبات ابری موتور گوگل ارث و تصاویر سنتینل ۱، مطالعه موردی: شهر پل دختر

مقاله پژوهشی

علی مهرابی^{*۱}

دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۴ / پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۶ / دسترسی اینترنتی: ۱۴۰۴/۰۷/۱۹

چکیده

در هنگام بلایای طبیعی مانند سیل، اطلاع دقیق از وسعت آن برای واکنش اضطراری بسیار مهم است. با وجود تلاش‌های متعدد، هنوز چالش‌های زیادی در پردازش خودکار تصاویر سنتینل ۱ برای تولید نقشه‌های سیلاب قابل اعتماد، وجود دارد. در حال حاضر، شکاف دانشی در استفاده از ترکیب‌های مختلف پلاریزاسیون تصاویر راداری برای تحقیقات سیل وجود دارد. به منظور بررسی بیشتر این موضوع، سیل ۵ فروردین سال ۱۳۹۸ شهر پل دختر استان لرستان به عنوان نمونه انتخاب شد. در ابتدا، ۱۰ ترکیب مختلف از دو قطبش اصلی عمودی و افقی طراحی شد. برای بررسی ترکیب‌های مختلف قطبی ساخته شده در نقشه برداری سیل، روش نقشه برداری حد آستانه، مورد استفاده قرار گرفت. به منظور غلبه بر برآورد بیش از حد مناطق سیل زده از الگوریتم تخمین عمق سیل موتور جستجوی گوگل استفاده شد. نتایج نشان داد که در بین ترکیب‌های پلاریزاسیون مختلف، ترکیب

علی مهرابی^۱ (✉)

۱. دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه

شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

<https://doi.org/10.82447/girs.2025.1121573>

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: Mehrabi@uk.ac.ir

ضرب مربعات بهترین عملکرد را جهت نقشه برداری وسعت سیل به دست می‌دهد، سپس به ترتیب ترکیب‌های تقسیم مربعات، مجموع مربعات، پلاریزاسیون پایه عمودی-عمودی عملکرد مناسب تری در این زمینه دارند. تمامی تحلیل‌ها بر روی پلتفرم گوگل ارث انجام شده است و این استراتژی می‌تواند برای نقشه برداری سیل در هر محیط شهری دیگری مورد استفاده قرار گیرد. یافته‌های این مطالعه می‌تواند، ارزیابی سریع و تصمیم‌گیری دقیق مسئولان مربوطه در ارتباط با سیلاب‌های شهری را افزایش دهد.

طرح مسئله: موتور گوگل ارث به عنوان یک پلتفرم پردازش مکانی، محاسبات سریع را برای کار با مقادیر عظیمی از مجموعه داده‌های پیوسته در مقیاس جهانی امکان پذیر کرده است. این پلتفرم همراه با ارائه قدرت پردازشی رایگان به دانشمندان و محققان برای تجزیه و تحلیل سطح زمین، به کاربران این امکان را داده است که به طیف گسترده‌ای از تصاویر سری زمانی از ماهواره‌های مختلف دسترسی داشته باشند. ویژگی‌های پس پراکنش اشیاء زمینی در تصاویر راداری، می‌تواند برای تمایز بین اشیاء مختلف و برجسته کردن تغییرات و وضعیت زمین مورد استفاده قرار گیرد. به عنوان مثال، پس پراکنش در مناطق آبی عمیق، بسیار کم است، اما بر روی مناطق پوشش گیاهی بالا می‌رود، و در ساختمان‌های شهری به دلیل اثر پرش مضاعف، مقادیر بالاتر می‌رود که در تصاویر راداری قابل مشاهده است. برخی از تکنیک‌های مورد استفاده برای مطالعه

رویدادهای سیل با استفاده از تصاویر راداری بر اساس اطلاعات پس پراکنش، عبارتند از: (الف) روش آستانه هیستوگرام، (ب) ترکیب *RGB*، (ج) روش تشخیص تغییرات، (د) ترکیب داده ها با استفاده از راداری و تصاویر نوری، و (ه) استفاده از تکنیک های طبقه بندی، علاوه بر تکنیک های یادگیری ماشین. با وجود تلاش های متعدد برای نقشه برداری مناطق سیل زده با استفاده از تصاویر راداری، استفاده از پتانسیل این تصاویر برای بهبود نقشه برداری سیل به ویژه برای مناطق شهری نادیده گرفته شده است. اگرچه تصاویر راداری برای بسیاری از مطالعات برای ترسیم وسعت سیلاب استفاده شده است، اما مطالعات اندکی ترکیبات قطبش را بررسی کرده است.

هدف: هدف این تحقیق توسعه یک رویکرد مناسب برای نقشه برداری وسعت سیل شهری با استفاده از ترکیب های مختلف قطبش تصاویر سنتینل ۱ است.

روش تحقیق: شهر پل دختر به عنوان منطقه مورد مطالعه واقع در غرب استان لرستان در ۳۳ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۴۳ دقیقه طول شرقی و در مساحتی به وسعت ۴۰۰ هکتار است. رودخانه کشکان از بین شهر می گذرد، این رودخانه از کوه های زاگرس شروع شده و از آن به غرب استان می ریزد و از پل دختر می گذرد و به رودخانه کرخه در استان خوزستان می ریزد. دبی آن از ۵ متر مکعب بر ثانیه تا ۱۹۰ متر مکعب بر ثانیه با میانگین ۳۰ متر مکعب بر ثانیه متغیر است. در این پژوهش از شهر پل دختر به عنوان منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. مرحله دوم، فیلتر کردن تصاویر از مجموعه سنتینل ۱ است. به طوری که ابتدا تمام مجموعه تصاویر سنتینل ۱ در موتور گوگل ارث بارگیری شده سپس نوع *IW* آن ها جدا می شوند. پس از آن، فیلتر دیگری بر اساس گزینه های گذر مداری صعودی و نزولی بر روی تصاویر اعمال می شود و به دلیل پوشش تصویر نزدیک به تاریخ سیل، گزینه های صعودی در اینجا استفاده شد. در نهایت، دو تصویر فیلتر شده برای منطقه مورد مطالعه ایجاد شد، یک تصویر قبل از حادثه، و دیگری همزمان با آن. برای تصویر قبل از رویداد سیل، تصویر تاریخ ۲۸ اسفند ۱۳۹۷ انتخاب شد که با همه معیارهای ما مطابقت داشت. و برای تصویر زمان رویداد، تصویر تاریخ ۵ فروردین ۱۳۹۸ فیلتر و انتخاب شد که به لحاظ زمانی دقیقاً با تاریخ اوج سیل همزمان بود.

نتایج و بحث: توزیع هیستوگرام به دست آمده، مقادیر پس پراکنندگی پلاریزاسیون های پایه، مجموع و تفریق به دست آمده از محاسبات

موتور گوگل، را نشان می دهد. در نمودارها، محور *X* مقادیر ضریب پس پراکنندگی را نشان می دهد، در حالی که محور *Y* نشان دهنده فراوانی مقادیر پس پراکنش است. حد آستانه یافت شده برای هر ترکیب در زیر نمودار آن ذکر شده است و این مقدار برای طبقه بندی تصویر به عنوان مناطق سیلابی و غیر سیلابی استفاده شده است. مقدار آستانه در هر ترکیب در محدوده ای قرار می گیرد که دو گروه با توزیع دونمایی از هم جدا می شوند. اگر ناحیه زیرمجموعه به طور مناسب انتخاب شود، هیستوگرام باید دارای یک توزیع دونمایی باشد، به طوری که یک پیک نشان دهنده پیکسل های سیل زده با مقدار پس پراکنندگی پایین و قله دیگر نشان دهنده پیکسل های غیرسیلابی دارای مقادیر ضریب پس پراکنندگی بالاتر است. در این تحقیق، آستانه بهینه برای شهر پل دختر با استفاده از پلاریزاسیون *VH* برابر با ۱۹/۰۴- دسی بل برآورد شد در حالی که برای قطبش *VV* این مقدار ۱۱/۳۴- دسی بل است. این مقدار برای ترکیب های مجموع و تفریق به ترتیب برابر با ۲۸/۵۸- و ۱۲/۵۵- است. همچنین عملیات حذف پیکسل های با عمق صفر بر روی نقشه ها، اعمال شده است. مقایسه بصری نقشه های به دست آمده با عکس هوایی سیلاب نشان می دهد که ترکیب ضرب مربعات بهترین عملکرد را دارد و بعد از آن ترکیب تقسیم مربعات، مجموع مربعات، تفریق مربعات به ترتیب توانسته اند وسعت مناطق سیل زده را خیلی بهتر ترسیم کنند. در نقشه مربوط به ترکیب ضرب مربعات پلاریزاسیون ها، حواشی و مرز رودخانه عبوری از وسط شهر به خوبی از حاشیه سیل زده روز حادثه تبعیت می کند، همچنین آبگرفتگی خیابان اصلی کشیده شده در امتداد رودخانه را به نمایش می گذارد.

نتیجه گیری: الگوریتم های ترکیب پلاریزاسیون داده های راداری پتانسیل قابل توجهی را برای بهبود نقشه برداری وسعت سیل شهری فراهم می کند. نتایج تحقیق نشان می دهد که از بین ترکیب های مختلف پلاریزاسیون، ترکیب ضرب مربعات، تقسیم مربعات مجموع مربعات و پلاریزاسیون پایه (*VV*) بهتر از سایر ترکیبات پلاریزاسیون عمل کرده اند. همچنین حذف پیکسل های با عمق سیلابی صفر، می تواند دقت کار را بهبود ببخشد. در هر چهار ترکیب فوق الذکر دقت کلی بالای ۷۰ درصد است. البته از آنجایی که، ناهمگونی فضایی و تنوع کاربری زمین ممکن است تا حد زیادی بر دقت گستره سیل در مناطق شهری تأثیر بگذارد، نمی توان نتایج این تحقیق را عیناً برای هر شهری مورد استفاده قرار داد. بلکه بایستی برای مناطق شهری مختلف، ترکیب های قطبی سازی مختلفی مورد

محاسبات عمق سیل و سپس مقایسه یافته‌های به‌دست‌آمده با استفاده از روش‌های مختلف و کاربردهای آنها در مناطق مختلف مطالعاتی متمرکز شود. یافته‌های این مطالعه می‌تواند برای تصمیمات اضطراری در بلایای سیل مفید باشد.

واژگان کلیدی: نقشه سیلاب، پلاریزاسیون، تصاویر راداری، شهر پلدختر

امتحان قرار گرفته تا بهترین ترکیب مشخص شود. همچنین در این راستا، استفاده از محاسبات ابری موتور گوگل ارث نشان داد که به چه میزان این تکنولوژی می‌تواند باعث افزایش سرعت پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌های سنگین و با حجم بالای راداری بشود. در کل، یافته‌های تحقیق، کارایی استفاده از ترکیب‌های مختلف پلاریزاسیون تصاویر راداری را برای ارائه دقت بالاتر در مناطق سیل‌زده نسبت به قطبش‌های پایه که معمولاً برای نقشه‌برداری سیل شهری استفاده می‌شوند، نشان داد. تحقیقات آینده می‌تواند بر بهبود

مقدمه

سیل یکی از رایج ترین بلایای طبیعی در جهان است و تأثیر زیادی بر زندگی انسان، تولید محصول و زیر ساخت ها داشته است. در سال های اخیر، به دلیل تغییرات آب و هوایی، حادثه سیلاب به صورت روز افزون در حال افزایش بوده است. این مسئله در آینده باعث افزایش هزینه ها و افراد آسیب دیده از این رخداد طبیعی خواهد شد. سیل های شهری، علیرغم تأثیر عمده آن در زندگی و جوامع بشری، غالباً نادیده گرفته شده است، که یکی از عوامل عمده آن می تواند به دلیل نبود روش های کارآمد و علمی در نحوه به کارگیری داده های مختلف در این امر باشد. در عوض سیلاب های رودخانه ای و ساحلی به دلیل پیچیدگی آن ها نسبت به سیل های شهری توجه بیشتری را به خود جلب کرده است. ولیکن بررسی و شناخت مکانیسم سیل های شهری به لحاظ وسعت ویرانی ها و هزینه هایی که بر روی سیستم های زیربنایی و مناطق مسکونی می گذارد، بسیار مهم تر و حیاتی تر از انواع دیگر سیلاب ها است. و همین امر ضرورت کار و پژوهش بر روی این موضوع را دو چندان می نماید (۱۷). در محیط های شهری به دلیل وجود مکانیسم های متنوع و پیچیده جریان آب، نقشه برداری سیلاب، چالش برانگیز است و اطلاعات قابل اعتماد کمتری را ارائه می دهد (۱۹). بنابراین، شناسایی دقیق مناطق شهری آسیب دیده از سیلاب و به حداقل رساندن تلفات ناشی از آن امری حیاتی است. همچنین نقشه برداری وسعت سیلاب های رخ داده قبلی، می تواند به دانشمندان جهت مدل سازی و تجزیه و تحلیل پیش بینی سیل کمک کند و باعث تسهیل در امر تصمیم گیری آگاهانه و دقیق سیاست گذاران شهری شود (۳۰).

در کشور ایران، قرار گرفتن شهرها و روستاها در مناطق کوه پایه ای، از میان رفتن پوشش گیاهی، رعایت نکردن حریم امنیتی

رودخانه هایی که غالباً از میان و یا کنار شهرها می گذرند، ساخت و سازهای بی رویه در مسیر رودخانه ها، زیر کشت بردن اراضی کنار رودخانه ها از دلایل اصلی وقوع سیلاب های شهری می باشند. همچنین عوامل تولید سیل با گسترش کلان شهرها ابعاد تازه تری به خود می گیرند. و عواملی چون ناکارآمدی مسیل ها، تراکم مناطق مسکونی، افزایش زمین های غیر قابل نفوذ، گسترش شبکه اتوبان های شهری به عنوان دلایل مهم در سیلاب شهری مطرح می شوند (۱۴). حوضه های شهری، مناطقی با تمرکز بالای فعالیت های انسانی بوده که از ویژگی های آن سطح نفوذ ناپذیر گسترده و وجود آبراهه های ساخت دست بشر است. شهر سازی عموماً همراه با افزایش سطوح نفوذ ناپذیر مثل جاده ها و پشت بام ها، ساخت سیستم های هیدرولیکی زهکشی رواناب های ناشی از رگبارها، کوبیدگی خاک و تغییر کاربری همراه است که این تغییرات منجر به افزایش دبی سیلاب می شود. سیل گرفتگی در مناطق شهری در پی ناکارآمدی سیستم های زهکشی شهری، موجب وارد شدن خسارات زیاد به ساختمان ها و دیگر زیرساخت های عمومی و خصوصی می شود. گستردگی و پیچیدگی عوامل دخیل در فرآیندهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی حوضه های شهری، مطالعه سیلاب های شهری را دشوار کرده است (۱۱).

محققان به منظور کسب اطلاعات قابل اعتماد واقعی، نزدیک به زمان واقعی و دقیق از سیلاب، به پایش مداوم و مستمر سیلاب می پردازند. داده های ماهواره ای دید جامع و تکراری از مناطق سیل زده را امکان پذیر می کند؛ که به طور فزاینده ای در سیستم های پایش بلایا استفاده می شود. (۲۲ و ۲۳). برای نقشه برداری و وسعت سیل، محققان در درجه اول از اطلاعات طیفی از حسگرهای نوری مانند لندست یا اطلاعات باز پراکنش شده از تصاویر رادار دیافراگم مصنوعی مانند سستینل ۱ استفاده

می‌کنند. به دلیل همبستگی بالای اطلاعات طیفی در داده‌های نوری با آب و همچنین در دسترس بودن داده‌های بلندمدت، داده‌های نوری در نقشه‌برداری منطقه آب در شرایط بدون ابر ترجیح داده می‌شوند. با این حال، یکی از چالش‌های اصلی در نقشه‌برداری سیلاب با استفاده از تصاویر نوری، پوشش ابر در تصویر به ویژه در هنگام بلایای طبیعی است (۲۰ و ۱۲). در نتیجه نقشه‌برداری از مناطق سیل زده در طول بلایا با شرایط بد آب و هوایی با استفاده از تصاویر نوری کاملاً غیرممکن است. تصاویر راداری مانند سنتینل ۱ قادر به غلبه بر این مشکلات هستند زیرا می‌توانند تصاویر با کیفیتی را بدون توجه به شرایط آب و هوایی در روز و شب ارائه دهند (۳). یکی از محدودیت‌های استفاده از تصاویر راداری مانند سنتینل ۱ برای نقشه‌برداری سیل، دشواری تمایز بین سطوح آب و آب مانند است؛ به ویژه در مناطق شهری که سطح صاف غیرقابل نفوذ دارای ماهیت پس پراکندگی مشابه است (۱۶ و ۱۳). همچنین از مزایای داده‌های راداری این است که رادار می‌تواند سیگنال‌ها را در قطبش یا جهات (Polarization) مختلف در مسیر انتقال و دریافت سیگنال جمع‌آوری کند. قطبش سیگنال به جهت صفحه‌ای اشاره دارد که در آن موج الکترومغناطیسی انتقالی نوسان می‌کند. در حالی که قطبش می‌تواند در هر زاویه‌ای رخ دهد، حس گرهای راداری معمولاً قطبش خطی را انتقال می‌دهند. قطبش یا جهت افقی با حرف H و قطبش یا جهت عمودی با V نمایان است. مزیت حس گرهای رادار این است که قطبش سیگنال را می‌توان به طور دقیق در انتقال و هم در دریافت کنترل کرد. سیگنال‌های انتشاری در حالت عمودی (VH) و سیگنال‌های دریافتی در حالت افقی (HH) توسط یک VH نمایان هستند. همچنین، سیگنالی که در حالت افقی

(HH) منتشر شده و در حالت افقی (HH) دریافت می‌شود، توسط HH نمایان است. بررسی قدرت سیگنال از این قطبش‌های مختلف، حامل اطلاعاتی در مورد ساختار سطح تصویر بر اساس انواع پراکندگی نظیر: سطح ناهموار، حجم، و بازتاب دوگانه است. از معایب تصاویر راداری این است که چون در محدوده حساس به چشم انسان تصویر برداری نمی‌کند، تحلیل آن‌ها خیلی دشوار است. حساسیت بالا به توپوگرافی و رطوبت داشته و اکثر تصاویر راداری تجاری و برای دانه‌لود و خرید آن نیاز به هزینه زیاد است (۱۰).

بهره‌گیری از روش‌های مبتنی بر سنجش از دور در علوم مختلف مرتبط با منابع آب و به ویژه در سامانه‌های پایش مخاطرات طبیعی به طور فزاینده‌ای در مناطق سیل‌زده در حال ارتقا هست (۴). با تحولی که از نظر فن‌آوری در دسترسی به داده‌های استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای رخ داد، کاربران به آرشیو داده‌ها به طور کامل دسترسی پیدا کرده و بدون نیاز به دانه‌لود و ذخیره حجم زیادی از داده‌ها می‌توانند آنالیزهای تخصصی مورد نظر را اعمال نمایند. استفاده از این تصاویر ماهواره‌ای پردازش شده، محصولات آماده و همچنین افزایش سرعت محاسبات به‌خصوص برای پایش مخاطرات طبیعی مانند سیل به دلیل لزوم دسترسی سریع و به هنگام اطلاعات از ویژگی‌های منحصر به فرد این محیط است (۶).

در همین راستا، موتور گوگل ارث^۱ به عنوان یک پلت‌فرم پردازش مکانی، محاسبات سریع را برای کار با مقادیر عظیمی از مجموعه داده‌های پیوسته در مقیاس جهانی امکان‌پذیر کرده است (۱۵). این پلت‌فرم همراه با ارائه قدرت پردازشی رایگان به دانشمندان و محققان برای تجزیه و تحلیل سطح زمین، به کاربران این امکان را داده است که به طیف گسترده‌ای از

¹ - Google Earth Engine (GEE)

تصاویر سری زمانی از ماهواره‌های مختلف دسترسی داشته باشند. ویژگی‌های پس‌پراکنش اشیاء زمینی در تصاویر راداری می‌تواند برای تمایز بین اشیاء مختلف و برجسته کردن تغییرات و وضعیت زمین مورد استفاده قرار گیرد (۷، ۱ و ۹). به عنوان مثال، پس‌پراکنش در مناطق آبی عمیق بسیار کم است؛ اما بر روی مناطق پوشش گیاهی بالا می‌رود و در ساختمان‌های شهری به دلیل اثر پرش مضاعف، مقادیر بالاتر می‌رود که در تصاویر راداری قابل مشاهده است. علاوه بر تکنیک‌های یادگیری ماشین (۲۹، ۳۳، ۸ و ۱۲)، برخی از تکنیک‌های مورد استفاده برای مطالعه رویدادهای سیل با استفاده از تصاویر راداری بر اساس اطلاعات پس‌پراکنش، عبارت‌اند از: (الف) روش آستانه هیستوگرام، (ب) ترکیب RGB، (ج) روش تشخیص تغییرات، (د) ترکیب داده‌ها با استفاده از راداری و تصاویر نوری و (ه) استفاده از تکنیک‌های طبقه‌بندی. با وجود تلاش‌های متعدد برای نقشه برداری مناطق سیل‌زده با استفاده از تصاویر راداری، هنوز از پتانسیل این تصاویر برای بهبود نقشه برداری سیل به ویژه در مناطق شهری به خوبی استفاده نشده است و مطالعات کمی ترکیب‌های قطبش را بررسی کرده‌اند (۵).

در ارتباط با پهنه بندی سیل پل دختر در سال ۱۳۹۸ مطالعاتی انجام گرفته است (۲۸ و ۲۱)؛ که همه این پژوهش‌ها بر روی پهنه بندی سیلاب در امتداد رودخانه کشکان پرداخته‌اند و بر گسترش سیلاب در محدوده شهر مطالعه‌ای انجام نگرفته است؛ علاوه بر آن در این پژوهش‌ها صرفاً از روش آستانه‌گذاری طیفی در امر پهنه بندی استفاده شده و بر روی تأثیر قطبش‌های مختلف تصاویر سنتینل بر روی شناسایی مناطق سیل زده، کاری انجام نگرفته است. در حالی که هدف ما در این مقاله، توسعه یک رویکرد مناسب برای نقشه برداری و سعت سیل

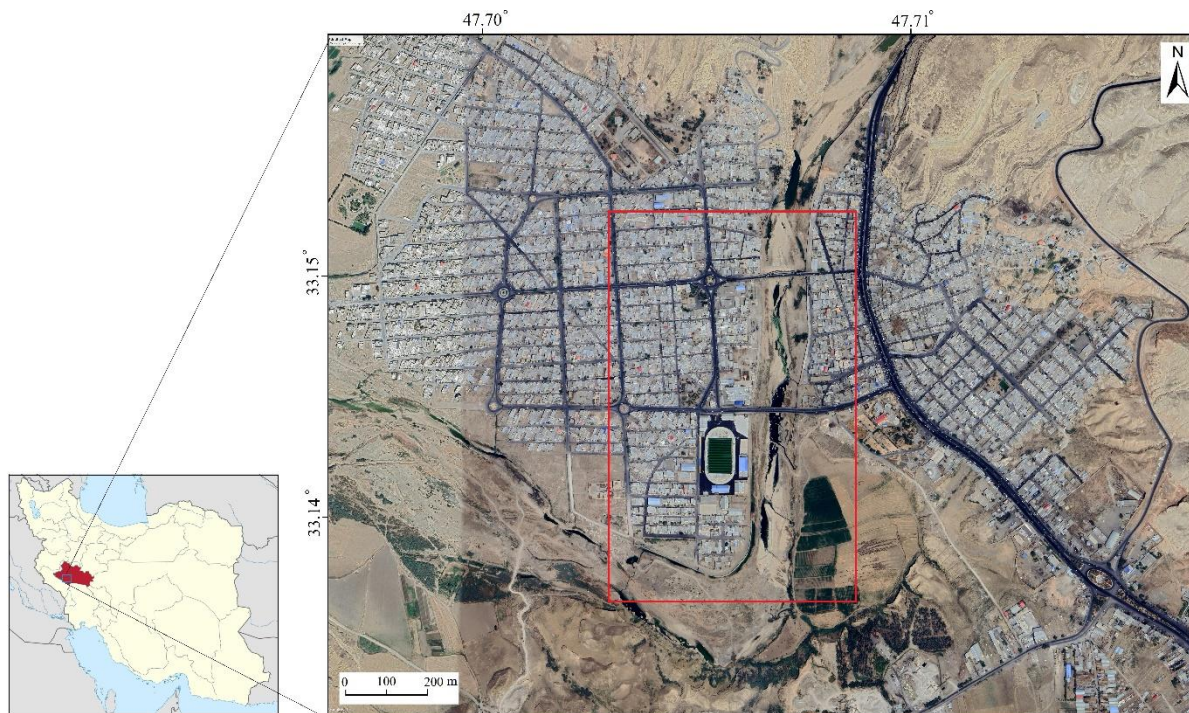
شهری با استفاده از ترکیب‌های مختلف قطبش تصاویر سنتینل ۱ است. از روش حد آستانه برای نقشه برداری گستره‌های سیلابی استفاده شده است. همچنین از روش تخمین عمق سیل (۲ و ۲۷)، برای شناسایی و تصحیح مناطقی که بیش از حد تخمین زده شده است، استفاده شد. مزیت کلیدی این تحقیق ارائه روشی جدید به کاربران برای ترسیم وسعت سیل با استفاده از ترکیب‌های مختلف تصاویر سنتینل ۱ و پرداختن به مسئله تخمین بیش از حد وسعت سیل در مناطق شهری است. تجزیه و تحلیل‌ها در موتور جستجوی گوگل انجام شده است؛ بنابراین این رویکرد نقشه برداری سیل را می‌توان برای هر منطقه‌ای با استفاده از قابلیت‌های محاسبات ابری گوگل به کار برد. یافته‌های این مطالعه به طور قابل توجهی برای تصمیم گیرندگان برای پاسخگویی و مدیریت اضطراری سیل مفید خواهد بود.

روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

شهر پل دختر به عنوان منطقه مورد مطالعه واقع در غرب استان لرستان در عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۱۷ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۴۳ دقیقه شرقی و در مساحتی به وسعت ۴۰۰ هکتار است. (شکل ۱). رودخانه کشکان از وسط شهر پل دختر گذشته است. این رودخانه از کوه‌های زاگرس سرچشمه گرفته و به رودخانه کرخه در استان خوزستان می‌ریزد. دبی آن از ۵ متر مکعب بر ثانیه تا ۱۹۰ متر مکعب بر ثانیه با میانگین ۳۰ متر مکعب بر ثانیه متغیر است (۳۱). بررسی داده‌های بلند مدت هواشناسی به دست آمده از ایستگاه‌های هواشناسی بابازید و پاعلم پل دختر نشان می‌دهد که میانگین بارندگی سالانه در نواحی کوهستانی منطقه مورد مطالعه ۴۷۰

میلی‌متر است و دمای حداقل و حداکثر از ۳- تا ۲۱ درجه سانتی‌گراد متغیر است.



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه بر روی تصویر گوگل ارث.

Fig. 1. Study area on Google Earth image.

داده‌های مورد استفاده

اکثر داده‌های مورد استفاده در این تحقیق از کاتالوگ داده موتور گوگل ارث به دست آمده است. انواع مختلفی از داده‌ها مانند تصاویر سنتینل ۱، داده‌های توپوگرافی و غیره در این مطالعه استفاده شد. تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۱، مجموعه داده‌های راداری است که دسترسی آن برای عموم آزاد بوده و دارای میزان وضوح (۱۰ متر) بالایی است. این داده‌ها امکان تجزیه و تحلیل جغرافیایی در مقیاس بزرگ را فراهم می‌کند. از این مجموعه داده‌ها برای نقشه برداری مناطق سیل زده استفاده شد. داده‌های مذکور در دو کانال قطبی VH و VV قرار دارند. از مدل ارتفاع رقومی^۲ با وضوح ۱۲ متر، سازگار با تصویر سنتینل ۱ ارائه شده توسط USGS در کاتالوگ داده موتور

گوگل ارث، استفاده شد. مدل ارتفاع رقومی ۱۲ متر از تصاویر راداری ALOS Palsar استخراج شده است، این مدل دقیق‌ترین داده‌های ارتفاعی است که تقریباً سراسر سطح زمین را پوشش می‌دهد. از داده‌های ارتفاعی برای نقشه برداری عمق و به منظور شناسایی مکان‌هایی به کار رفت که به اشتباه به عنوان مناطق سیل زده انتخاب شده‌اند. همچنین برای ارزیابی و تعیین دقت روش کار، از عکس هوایی تهیه شده در روز حادثه استفاده شد. به منظور محاسبه وسعت سیلاب، قطبش‌های اصلی VH و VV مورد بررسی قرار گرفته و ترکیب‌های مختلف آن‌ها در موتور گوگل ارث محاسبه شد. برای ترسیم وسعت سیل، از روش نقشه برداری حد آستانه استفاده شد. که علاوه بر دو قطبش اصلی، هشت ترکیب قطبی ایجاد شده، به

² - DEM

عنوان داده‌های ورودی به کار رفت. قبل از اعمال و کاربرد روش مذکور جهت نقشه برداری مناطق سیل‌زده، چند مرحله پیش پردازش مورد نیاز است.

گوگل ارث انجین پلتفرم محاسباتی است که توسط گوگل معرفی شده و در این زمینه کارآمد است. این ابزار محیطی فراهم نموده که در آن غالب اطلاعات جهانی از قبیل بارندگی، دما، تبخیر- تعرق، جمعیت، کاربری زمین، داده‌های رقومی ارتفاعی زمین به صورت پردازش شده و در مطالعات مختلف آماده استفاده عموم است (۷)، در همه راستا به دلیل سهولت دسترسی به پایگاه‌های اطلاعاتی جهانی و امکان پردازش سریع و آسان تصاویر ماهواره‌ای، استفاده از محیط گوگل ارث انجین طی سنوات اخیر رشد قابل توجهی در بین محققین داشته است. ماژول‌های مناسبی در حوزه علوم منابع طبیعی توسعه یافته است (۳۲).

مراحل پیش پردازش

اگرچه در حال حاضر بیشتر پیش پردازش‌های مورد نیاز برای تجزیه و تحلیل تصاویر سنتینل ۱ در کاتالوگ داده‌های موتور گوگل ارث انجام می‌گیرد. ولی هنوز پیش پردازش‌های استاندارد نظیر فیلتر شناسایی منطقه مورد مطالعه، فیلتر انتخاب تصاویر مربوط به تاریخ سیلاب و فیلتر لکه مورد نیاز است. این مراحل برای تمام داده‌ها انجام شد. اولین قدم، شناسایی منطقه‌ای است که برای نقشه برداری سیل انتخاب می‌شود. مرز منطقه را می‌توان با استفاده از گزینه هندسه در موتور گوگل ارث ایجاد کرد. پس از اینکه مرز منطقه مورد مطالعه بارگذاری شد، از آن برای انتخاب تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۱ استفاده شد. در این پژوهش از شهر پلدختر به عنوان منطقه مورد مطالعه استفاده شد. مرحله دوم، فیلترکردن تصاویر از مجموعه سنتینل ۱ است. به طوری که ابتدا تمام مجموعه تصاویر سنتینل ۱ در موتور گوگل ارث بارگیری شده سپس نوع IW آن‌ها جدا شدند. پس از آن، فیلتر دیگری بر اساس گزینه‌های گذر مداری صعودی و نزولی بر روی تصاویر اعمال

شد و به دلیل پوشش تصویر نزدیک به تاریخ سیل، گزینه‌های صعودی در اینجا استفاده شد. در نهایت، دو تصویر فیلتر شده برای منطقه مورد مطالعه ایجاد شد، یک تصویر قبل از حادثه، و دیگری همزمان با آن. برای تصویر قبل از رویداد سیل، تصویر تاریخ ۲۸ اسفند ۱۳۹۷ انتخاب شد که با همه معیارهای ما نظیر IW بودن نوع تصویر و پوشش کامل منطقه مورد مطالعه، مطابقت داشت. و برای تصویر زمان رویداد، تصویر تاریخ ۵ فروردین ۱۳۹۸ فیلتر و انتخاب شد که به لحاظ زمانی دقیقاً با تاریخ اوج سیل همزمان بود. در نهایت از یک فیلتر لکه‌ای برای از بین بردن پیکسل‌های نویز استفاده شد. اثر لکه‌ای در نتیجه خاصیت دانه بندی تصاویر رادار است که باید برطرف شود زیرا می‌تواند در مرحله تحلیل نهایی بر روی نتایج تاثیر بگذارد (۱۸)

ایجاد ترکیب‌های پلاریزاسیون مختلف

از آنجایی که بیشتر پیکسل‌های سنتینل ۱ دارای مقادیر پس پراکنش کمی هستند؛ به منظور افزایش این اثر، مقادیر از مقیاس خطی به مقیاس لگاریتمی با واحد دسی‌بل (dB) تبدیل شدند. معادله اعمال شده برای تبدیل رادیومتری فوق الذکر در زیر آمده است (۲۶).

$$\sigma_0(\text{dB}) = 10 \cdot \log_{10} \sigma_0. \quad (1)$$

σ_0 با واحد دسی‌بل، مقادیر پس پراکنش ثبت شده بر روی تصویر است.

مقدار سیگنال پس پراکنش که توسط پدیده‌های زمینی به سنسور باز می‌گردد به ساختار شی و پدیده بستگی دارد. این میزان بر اساس نوع پلاریزاسیون متفاوت است، برای مثال پلاریزاسیون VH (انتقال عمودی و بازگشت افقی) بازده بالاتری در ناحیه پراکندگی حجمی دارد در حالی که کانال VV (فرستنده عمودی و بازگشت عمودی) بازده بالاتری در ناحیه پراکندگی اسپکولار دارد. به عنوان مثال، در مناطق پوشش گیاهی با پراکنش حجمی، سیگنال‌ها درون شاخه‌های متعدد

برخورد داشته و در تصاویر، خاکستری به نظر می‌رسند؛ و یا در مناطق مسکونی به دلیل بازتاب مضاعف سطوح صاف ساختمان‌ها، پراکنش بالاتری رخ داده و روشن به نظر می‌رسند. از قطبش‌های تکی می‌توان برای تجزیه و تحلیل نقاط روشن در تصاویر که شامل ساختمان‌های شهری است و نقاط تاریک که نشان دهنده آب یا بزرگراه‌ها هستند استفاده کرد. سطوح صاف همانند آب، پراکندگی کمتری خواهد داشت زیرا بیشتر تشعشعات ورودی در جهتی خاص و دور از رادار منعکس می‌شوند.

به منظور نقشه‌برداری سیل شهری علاوه بر قطبش‌های تکی (VH و VV)، می‌توان از ترکیب‌های مختلف این قطبش‌ها نیز استفاده کرد. ترکیب کانال‌ها در تصاویر نوری به ترکیب باند معروف هست که در امر تفسیر داده‌های نوری کاملاً رایج است، اما در این مطالعه برای اولین بار است که از ترکیب‌های قطبش تصاویر راداری برای تحلیل سیل استفاده شد. در این

مطالعه، ۱۰ ترکیب مختلف از این دو قطبش (VH و VV) مورد بررسی قرار گرفت؛ (جدول ۱) تا مشخص شود چگونه می‌توان از اطلاعات منحصر به فرد ترکیب‌های قطبی‌سازی، برای شناسایی مناطق سیل زده در محیط‌های شهری استفاده کرد. ساخت ترکیب‌های مختلف قطبش در محیط نرم‌افزار موتور گوگل ارث انجام می‌شود، این امر با استفاده از اجرای کدهای دستوری مجموع، تفریق، ضرب و تقسیم، انجام گرفته و نتایج به دست آمده جهت ادامه روند پژوهش به منظور استخراج مناطق سیل زده مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین، از این ترکیب‌ها، به عنوان مجموعه داده ورودی برای نقشه برداری مناطق سیل زده با استفاده از روش حد آستانه استفاده شد. قطبش‌های پایه و ترکیب‌های مختلف این قطبش‌ها در جدول ۱ خلاصه شده است.

جدول ۱. ترکیب‌های مختلف از قطبش‌های تصاویر سنتینل ۱.

Table 1. Different combinations of polarizations of sentinel images.

۱	تک	VH	۶	تقسیم	(VV/VH)
۲	تک	VV	۷	مجموع مربعات	(VH ² +VV ²)
۳	مجموع	(VH+VV)	۸	تفریق مربعات	(VH ² -VV ²)
۴	تفریق	(VH-VV)	۹	ضرب مربعات	(VH ² *VV ²)
۵	ضرب	(VH*VV)	۱۰	تقسیم مربعات	(VH ² /VV ²)

روش حد آستانه

پس از انجام پیش پردازش‌های لازم، به منظور شناسایی مناطق سیل زده، تمام ترکیب‌های قطبش ارائه شده در جدول شماره ۱ تهیه شد. در پردازش تصاویر رقومی، یکی از روش‌های متداول برای تشخیص دو پدیده با ویژگی‌های طیفی متفاوت، روش حد آستانه هیستوگرام است (۲۵). هدف از این روش، شناسایی یک مقدار، برای تشخیص دو پدیده و استفاده از آن مقدار آستانه، برای طبقه‌بندی تصویر به دو دسته است. از آنجا

که در قطبش‌های VV و VH مناطق سیلابی دارای مقادیر پس پراکندگی پایینی در بین پدیده‌های مختلف زمین هستند، بنابراین پیکسل‌های زیر حد آستانه شناسایی شده، برای طبقه‌بندی مناطق سیل زده اعمال شدند. بهترین وضعیت برای تعیین حد آستانه زمانی است که هیستوگرام دارای توزیع دونمایی با دو قله است که توسط یک دره از هم جدا شده‌اند. یک نمای آن مربوط به پیکسل‌ها مناطق سیل زده است که به دلیل نوع انعکاس مخصوص آب، دارای مقادیر پس پراکندگی

مدل ارتفاعی موجود در کاتالوگ موتور گوگل ارث استفاده شد. پس از اعمال این دو اصلاح، لایه سیل نهایی برای هر ترکیب ایجاد شده و به عنوان لایه سیل اولیه معرفی شد.

محاسبه عمق سیل و حذف مناطق بیش از حد تخمین زده شده

در مناطق شهری، سطوح صاف مانند جاده‌ها، پارکینگ‌ها را می‌توان به دلیل ماهیت پراکنش اسپکولار آنها به عنوان مناطق سیل زده طبقه بندی کرد. ایده اصلی برای حذف این مناطق از محدوده‌های سیلابی واقعی، محاسبه عمق در مناطق سیل زده است؛ زیرا مناطقی که کاذب هستند عمق صفر خواهند داشت. هنگامی که این پیکسل‌های مثبت کاذب با عمق صفر شناسایی شدند، می‌توان آنها را حذف کرد تا طبقه بندی‌های اشتباه اصلاح شود. الگوریتم محاسبه عمق آب در موتور گوگل ارث توسط پیترو همکاران (۲۷) توسعه داده شد. هسته اصلی الگوریتم تخمین عمق آب، شناسایی ارتفاع سیلاب محلی است. روش محاسبه عمق آب توسط این ابزار در سامانه GEE به این ترتیب است که: (۱) ایجاد یک لایه رستری از لایه پولیگونی که دارای اندازه و تعداد سلول رستری برابر با DEM ورودی است، (۲) استخراج مقدار DEM (ارتفاع) برای این سلول‌های شبکه (که به عنوان سلول‌های شبکه مرزی نامیده می‌شوند)، (۳) تخصیص ارتفاع سیلاب محلی برای هر سلول شبکه در محدوده غرقابی از نزدیکترین سلول شبکه مرزی خود، و (۴) محاسبه عمق آب سیلاب با کم کردن ارتفاع آب سیل محلی (مرحله ۴) از ارتفاع توپوگرافی (DEM) در هر سلول شبکه در محدوده غرقابی (۲۷). در نهایت هنگامی که عمق سیل محاسبه شد، سلول‌های لایه عمق خروجی با مقادیر عمق صفر حذف شده و تنها سلول‌هایی با مقادیر بیشتر از عمق صفر باقی می‌مانند. سلول‌های غرقابی با عمق بیشتر از صفر به عنوان مناطق سیلابی تصفیه شده نهایی در نظر گرفته شده و پس از حذف عمق صفر به عنوان نقشه سیل نامیده می‌شود.

پایینی هستند و نمای دیگر مربوط به پیکسل‌هایی با پس پراکندگی بالاتر در مناطق غیر سیل زده است. در اینجا، از یک ناحیه کوچک از کل منطقه مورد مطالعه برای شناسایی مقدار آستانه استفاده شد. یکی از ملاحظات اصلی انتخاب این ناحیه این است که منطقه باید نمایش خوبی از هر دو گروه پیکسل‌های سیل زده و غیر سیل زده داشته باشد. سپس بر اساس هیستوگرام و تغییرات مقادیر پیکسل در آن ناحیه، مقدار آستانه برای هر ترکیب قطبش محاسبه شد؛ و در نتیجه کل تصویر منطقه مورد مطالعه با استفاده از مقدار آستانه، طبقه بندی شد. این عمل در موتور گوگل ارث و با استفاده از روش آستانه اوتسو انجام گرفت.

برای آشکار سازی پهنه‌های آبی دائمی از حد آستانه گذاری خودکار اتسو در سامانه GEE استفاده شده است تا این مرحله تحقیق علاوه بر بهره مندی از اتوماسیون بالا، از سرعت زیاد اجرایی نیز برخوردار باشد. روش اتسو، یکی از روش‌های پرکاربرد حد آستانه گذاری است که تفکیک پذیری بین پیکسل‌های تغییر نیافته و پیکسل‌های تغییر یافته 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 (۲۴). پس از طبقه بندی مناطق سیل زده و غیر سیل زده با استفاده از آستانه هیستوگرام، از دو فیلتر (حذف آب دائمی و آب‌های نیمه دائم، حذف پیکسل‌های با شیب زیاد) برای حذف هر ناحیه ای که به اشتباه طبقه بندی شده توصیه می‌شود (۲۴). اولاً هر منطقه‌ای که بیش از ۱۰ ماه دارای آب باشد به عنوان مناطق آبی دائمی و نیمه دائمی در نظر گرفته شده است که به عنوان مناطق سیل زده مثبت کاذب حذف شدند. در مرحله بعد، تمام مناطقی که بیش از ۵ درصد شیب دارند، حذف شدند. با توجه به اینکه پیکسل‌های بالاتر از این شیب آب را در خود نگه نمی‌دارند و به مناطق با ارتفاع کمتر تخلیه می‌شوند؛ برای این اصلاح از

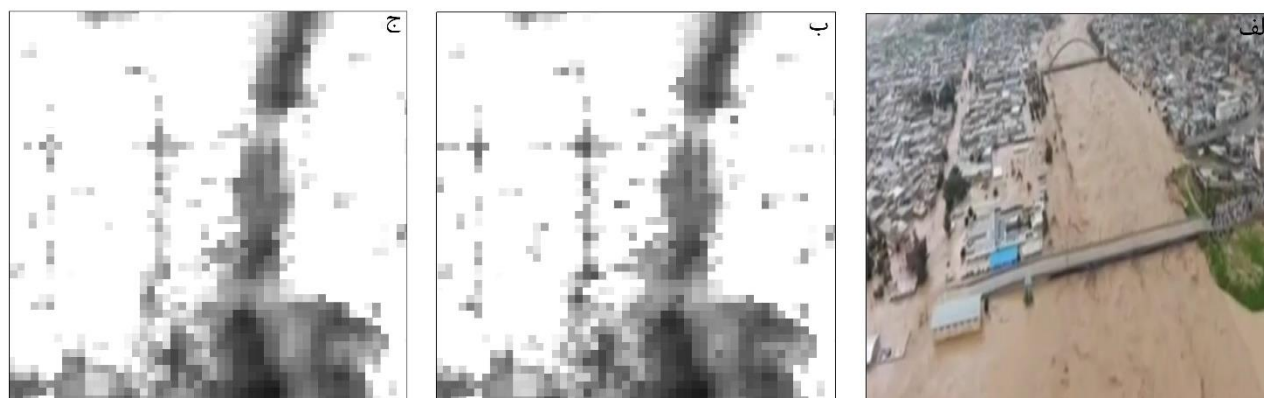
ارزیابی دقت

به منظور اطمینان از نتایج به دست آمده از طبقه بندی اقدام به ارزیابی صحت شد. بدین منظور از عکس هوایی مربوط به روز رخداد سیلاب استفاده شد (شکل ۲). به طوری که تعداد ۵۰ نقطه از روی عکس هوایی مشخص شده (پراکندگی نقاط چک به صورت یکنواخت در کل سطح عکس می‌باشد) و این نقاط با نقاط نظیر آن در تصاویر پهنه بندی شده به روش ترکیب‌های مختلف پلاریزاسیون‌ها، مورد مقایسه قرار گرفته و در نتیجه ماتریس خطا آن محاسبه شد. دقت کلی به دست آمده مربوط به هر یک از ترکیب‌های پلاریزاسیون مختلف در شکل ۶ آمده است.

نتایج

با اعمال روش حد آستانه بر روی تصویر سنتینل ۱ مربوط به تاریخ رخداد سیلاب پلدختر، مناطق درگیر با سیلاب مشخص شد. محدوده مورد مطالعه بر روی شکل شماره ۱ به صورت کادر قرمز رنگ مشخص است. محدوده مورد مطالعه قسمتی از محدوده شهر پلدختر است که در نتیجه حادثه سیلاب روز ۵

فروردین سال ۱۳۹۸ دچار آبگرفتگی و سیل زدگی شده است. نتیجه اعمال این روش در شکل شماره ۲ مشاهده می‌شود، شکل شماره ۲ دقیقاً محدوده مورد مطالعه مشخص شده با کادر قرمز رنگ (شکل ۱) را نشان می‌دهد که عکس هوایی مربوط به روز حادثه از آن محدوده موجود بوده است (شکل ۲ الف) بر همین اساس، در راستای تحلیل و صحت سنجی نتایج حاصل از روش تحقیق، تحلیل‌های راداری انجام گرفته نیز در همین محدوده ارائه شده است (شکل ۲ ب، ج). شکل شماره ۲ (ب، ج) مقادیر پس پراکندگی دو پلاریزاسیون پایه VH و VV را در مقیاس خاکستری نشان می‌دهد که در آن لکه‌های تیره مکان‌هایی را نشان می‌دهند که دارای پس پراکندگی کم هستند؛ مانند آب و جاده‌ها، و سطوح روشن نشان دهنده مناطقی با پراکندگی بیشتر، مانند ساختمان‌ها یا مناطقی با پوشش گیاهی هستند. در هر دو پلاریزاسیون نشان داده شده در شکل شماره ۲، مناطق سیل زده به وضوح با رنگ تیره قابل مشاهده هستند، در عین حال جاده‌ها نیز تاریک به نظر می‌رسند. تصویر سوم، عکس هوایی مربوط به محدوده مورد مطالعه بوده که در روز رخداد واقعه برداشت شده و در این پژوهش به عنوان تصویر مرجع برای اعتبار سنجی نقشه سیل، مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۲. تصویر پلاریزاسیون VV (ب)، VH (ج) عکس هوایی از روز حادثه (الف) از منطقه مورد مطالعه.

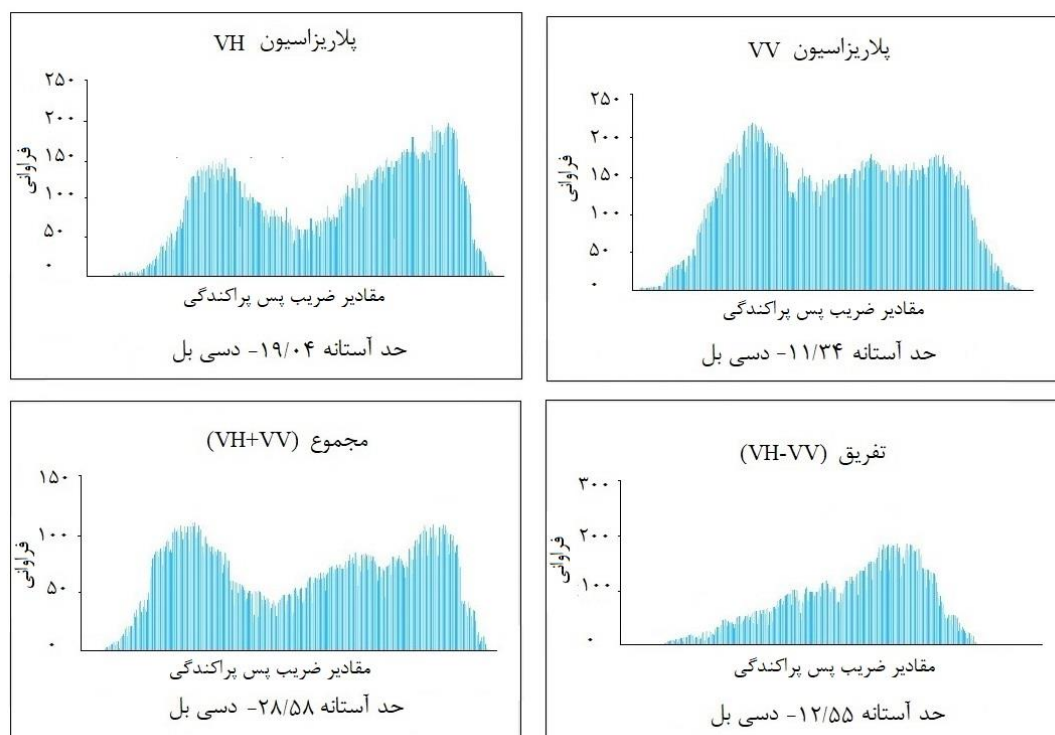
Fig. 2. VV and VH polarization image and aerial photograph of the studied flood.

شکل شماره ۳ توزیع هیستوگرام مقادیر پس پراکندگی پلاریزاسیون‌های پایه، مجموع و تفریق به دست آمده از

به منظور بررسی ترکیب‌های مختلف قطبش‌های پایه (جدول ۱)، از محاسبات ابری موتور گوگل ارث استفاده شد.

پلاریزاسیون VH برابر با ۱۹/۰۴- دسی بل برآورد شد؛ در حالی که برای قطبش VV این مقدار ۱۱/۳۴- دسی بل است. این مقدار برای ترکیب‌های مجموع و تفریق به ترتیب برابر با ۲۸/۵۸- و ۱۲/۵۵- است. پیکسل‌های سمت راست این آستانه دارای مقدار ضریب پس پراکندگی بالاتری هستند؛ در حالی که پیکسل‌های سمت چپ مقادیر پایینی دارند. هنگامی که مقدار آستانه برای هر مورد تعیین می‌شود؛ سپس این مقدار برای طبقه بندی تصویر کامل به عنوان مناطق سیل زده و مناطق غیر سیلابی اعمال می‌شود. برای ترکیب‌های ضرب، تقسیم، مجموع مربعات، تفریق مربعات، ضرب مربعات و تقسیم مربعات نیز به مانند ۴ مورد ذکر شده عمل شده و مقادیر حد آستانه آنها تعیین می‌شود.

محاسبات موتور گوگل، را نشان می‌دهد. در نمودارها، محور X مقادیر ضریب پس پراکندگی را نشان می‌دهد، در حالی که محور Y نشان دهنده فراوانی مقادیر پس پراکنش است. حد آستانه یافت شده برای هر ترکیب در زیر نمودار آن ذکر شده است و این مقدار برای طبقه بندی تصویر به عنوان مناطق سیلابی و غیر سیلابی استفاده شد. مقدار آستانه در هر ترکیب در محدوده‌ای قرار می‌گیرد که دو گروه با توزیع دو نمایی از هم جدا می‌شوند. اگر ناحیه زیرمجموعه به طور مناسب انتخاب شود، هیستوگرام باید دارای یک توزیع دو نمایی باشد؛ به طوری که یک پیک نشان دهنده پیکسل‌های سیل زده با مقدار پس پراکندگی پایین و قله دیگر نشان دهنده پیکسل‌های غیر سیلابی دارای مقادیر ضریب پس پراکندگی بالاتر است. در این تحقیق، آستانه بهینه برای شهر پل دختر با استفاده از



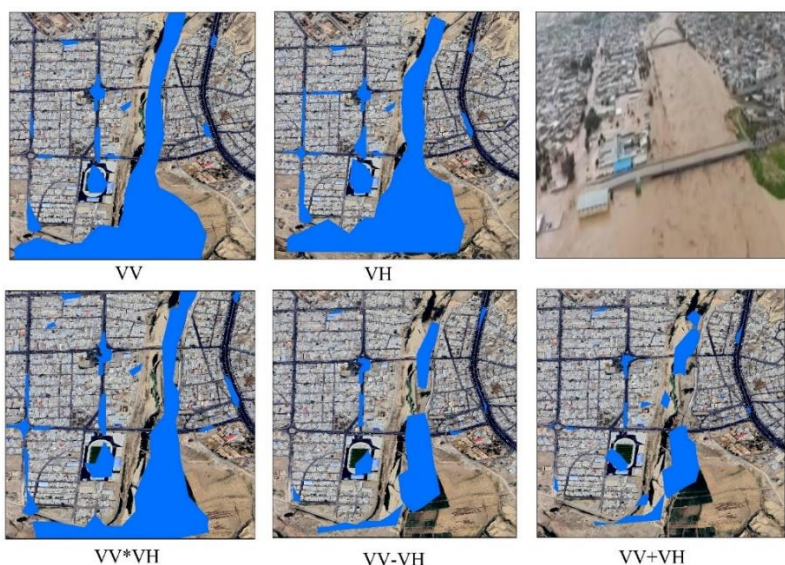
شکل ۳. توزیع هیستوگرام چهار ترکیب پلاریزاسیون مختلف از منطقه مورد مطالعه.

Fig. 3. Histogram distribution of four different polarization combinations from the studied area.

و سعت مناطق سیل‌زده را خیلی بهتر ترسیم کنند. همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود در نقشه مربوط به ترکیب ضرب مربعات پلاریزاسیون‌ها، حواشی و مرز رودخانه عبوری از وسط شهر به خوبی از حاشیه سیل‌زده روز حادثه تبعیت می‌کند. همچنین آبرفتگی خیابان اصلی کشیده شده در امتداد رودخانه را به نمایش می‌گذارد. البته در تمامی ترکیب‌ها، پل‌های موجود بر روی رودخانه نیز جزء مناطق سیلابی در نظر گرفته شده است که می‌تواند به دلیل بالا بودن سطح سیلاب و آبرفتگی آنها باشد. اکثر منطقه سیل به درستی شناسایی شده است ولیکن اگر برخی از مناطق سیل زده در قسمت‌های میانی شهر گم شده‌اند، به احتمال زیاد ناشی از مخلوط

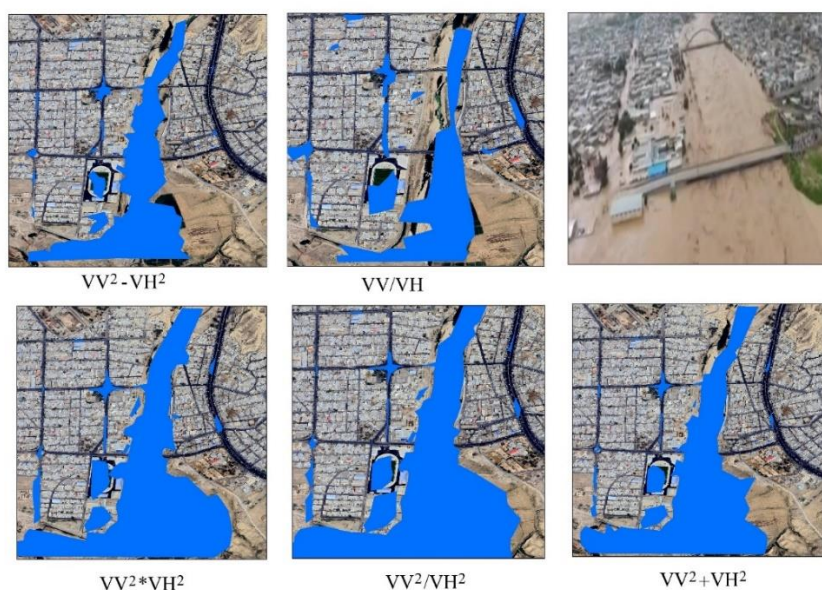
شدن پیکسل‌ها به دلیل همپوشانی جاده‌ها و ساختمان‌های دیگر است. و همچنین از آنجایی که مکانیزم تشخیص سیلاب بر میزان پس پراکنش سیگنال‌ها استوار است و این کمیت نیز تحت تاثیر نوع پدیده قرار دارد، مصالح ساختمانی به کار رفته در ساختمان‌های مختلف می‌تواند در مخلوط شدن پیکسل‌ها و عدم شناسایی بعضی نقاط موثر باشد. برای بهینه کردن نتیجه می‌توان بر روی این مناطق خاص مطالعه ویژه‌تری انجام داد.

شکل ۴، نقشه سیل در نتیجه پنج حالت VV ، VH ، ترکیب‌های مجموع، تفریق و ضرب پلاریزاسیون‌ها را نشان می‌دهد. عملیات حذف پیکسل‌های با عمق صفر بر روی نقشه‌ها، اعمال شده است. عدم استفاده از الگوریتم تخمین عمق صفر می‌تواند باعث خطای تخمین بیش از حد سلول‌های سیلابی در نتیجه تغییر در پس‌پراکنش پیکسل‌ها به دلیل برخی تاثیرات خارجی مانند رطوبت و یا باران بشود، که این مشکل با اعمال این الگوریتم برطرف می‌شود. مقایسه بصری نقشه‌های به دست آمده با عکس‌هوایی سیلاب نشان می‌دهد که قطبش‌های پایه نسبت به ترکیب‌های مجموع، تفریق و ضرب پلاریزاسیون‌ها، عملکرد بهتری داشته‌اند و توانسته‌اند و سعت مناطق سیل‌زده را خیلی بهتر ترسیم کنند. شکل شماره ۵، نقشه سیل در نتیجه تقسیم، تقسیم مربعات، ضرب مربعات، تفریق مربعات و مجموع مربعات پلاریزاسیون‌ها را نشان می‌دهد. همچنین عملیات حذف پیکسل‌های با عمق صفر بر روی نقشه‌ها، اعمال شده است. مقایسه بصری نقشه‌های به دست آمده با عکس‌هوایی سیلاب نشان می‌دهد که ترکیب ضرب مربعات بهترین عملکرد را دارد و بعد از آن ترکیب تقسیم مربعات، مجموع مربعات، تفریق مربعات به ترتیب توانسته‌اند



شکل ۴. نقشه سیل به دست آمده از پلاریزاسیون‌های پایه، مجموع، تفریق و ضرب پلاریزاسیون‌ها.

Fig. 4. Flood map obtained from basic polarizations, sum, subtraction and multiplication of polarizations.

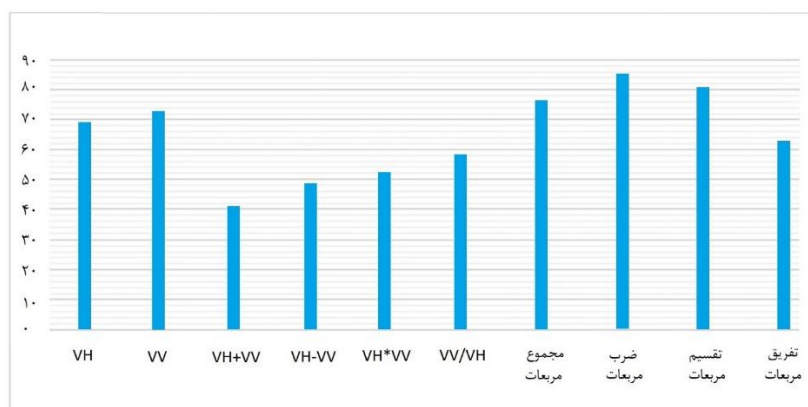


شکل ۵. نقشه سیل به دست آمده از مجموع، تفریق و ضرب و تقسیم مربعات پلاریزاسیون‌ها.

Fig. 5. Flood map obtained from the sum, subtraction, multiplication and division of the squares of the polarizations.

قابل مشاهده است که دقت کلی نقشه برداری سیلاب برای ترکیب ضرب مربعات ۸۵ درصد، تقسیم مربعات ۸۱ درصد، مجموع مربعات ۷۶ درصد، پلاریزاسیون VV ۷۳ درصد، پلاریزاسیون VH ۶۹ درصد، تفریق مربعات ۶۳ درصد، تقسیم ۵۸ درصد، ضرب ۵۲ درصد، تفریق ۴۸ درصد و مجموع ۴۱ درصد می‌باشد. همچنین ماتریس خطای به دست آمده از این ۵۰ نمونه تصادفی در جدول ۲ ارائه شده است.

به منظور اعتبارسنجی و نشان دادن کمی عملکرد ترکیب‌های مختلف پلاریزاسیون‌ها در راستای نقشه‌برداری سیل، ارزیابی دقت انجام شد. در این راستا از عکس هوایی روز حادثه استفاده شد. در محدوده مورد مطالعه، ۵۰ نمونه تصادفی به عنوان نقاط مرجع برای ارزیابی دقت لایه‌های گسترده سیل در ترکیب‌های مختلف استفاده شده است. دقت کلی هر ترکیب در روش حد آستانه در شکل ۶ نشان داده شده است، با بررسی تمام ترکیب‌ها در نمودار، به وضوح



شکل ۶. مقایسه دقت نقشه‌های سیل به دست آمده از مجموع، تفریق و ضرب و تقسیم مربعات پلاریزاسیون‌ها.

Fig. 6. Comparison of the accuracy of flood maps obtained from the sum, subtraction, multiplication and division of the squares of the polarizations.

جدول ۲. جدول ماتریس خطا

Table 2. Error matrix table

ترکیب‌های مختلف	واقعیت زمینی		دقت کلی (%)
	سیلابی	غیر سیلابی	
VH	سیلابی	۲۵	۶۹
	غیر سیلابی	۶	
VV	سیلابی	۲۳	۷۳
	غیر سیلابی	۶	
(VH+VV)	سیلابی	۱۷	۴۱
	غیر سیلابی	۱۴	
(VH-VV)	سیلابی	۱۵	۴۸
	غیر سیلابی	۹	
(VH*VV)	سیلابی	۱۵	۵۲
	غیر سیلابی	۱۰	
(VV/VH)	سیلابی	۲۰	۵۸
	غیر سیلابی	۷	
(VH ² +VV ²)	سیلابی	۳۰	۷۶
	غیر سیلابی	۵	
(VH ² -VV ²)	سیلابی	۲۴	۶۳
	غیر سیلابی	۹	
(VH ² *VV ²)	سیلابی	۳۲	۸۶
	غیر سیلابی	۴	
(VH ² /VV ²)	سیلابی	۳۰	۸۱
	غیر سیلابی	۴	

بحث و نتیجه‌گیری

الگوریتم‌های ترکیب پلاریزاسیون داده‌های راداری پتانسیل قابل توجهی را برای بهبود نقشه برداری و سعت سیل شهری فراهم می‌کند. نتایج تحقیق نشان داد که از بین ترکیب‌های مختلف پلاریزاسیون، ترکیب ضرب مربعات (VH^2*VV^2) ،

تقسیم مربعات (VH^2 / VV^2) ، مجموع مربعات $(VH^2 + VV^2)$ ، و پلاریزاسیون پایه (VV) بهتر از سایر ترکیب‌های پلاریزاسیون عمل کرده‌اند. همچنین حذف پیکسل‌های با عمق سیلابی صفر، می‌تواند دقت کار را بهبود ببخشد. در هر چهار ترکیب فوق‌الذکر دقت کلی بالای ۷۰ درصد است. البته از آنجایی که، ناهمگونی فضایی و تنوع کاربری زمین ممکن

محدودیت‌های تحقیق به حساب می‌آید، که می‌تواند نتایج پژوهش را تحت تاثیر قرار دهد. به منظور بهبود این محدودیت‌ها بایستی بر روی بخش‌های مختلف شهر به صورت جزئی تر کار کرد و تاثیر این تغییرات در انتخاب ترکیب‌های مختلف قطبی بهینه را در نظر گرفت.

همچنین در این راستا، استفاده از محاسبات ابری موتور گوگل ارث نشان داد که به چه میزان این فناوری می‌تواند باعث افزایش سرعت پردازش و تجزیه و تحلیل داده‌های سنگین و با حجم بالای راداری بشود. در کل، یافته‌های تحقیق، کارایی استفاده از ترکیب‌های مختلف پلاریزاسیون تصاویر راداری را برای ارائه دقت بالاتر در مناطق سیل‌زده نسبت به قطبش‌های پایه که معمولاً برای نقشه‌برداری سیل شهری استفاده می‌شوند، نشان داد. تحقیقات آینده می‌تواند بر بهبود محاسبات عمق سیل و سپس مقایسه یافته‌های به دست آمده با استفاده از روش‌های مختلف و کاربردهای آن‌ها در مناطق مختلف مطالعاتی متمرکز شود. یافته‌های این مطالعه می‌تواند برای تصمیمات اضطراری در بلایای سیل مفید باشد.

است تا حد زیادی بر دقت گستره سیل در مناطق شهری تاثیر بگذارد، نمی‌توان نتایج این تحقیق را عیناً برای هر شهری مورد استفاده قرار داد. بلکه بایستی برای مناطق شهری مختلف، ترکیب‌های قطبی سازی مختلفی مورد امتحان قرار گرفته تا بهترین ترکیب مشخص شود. البته با دست یافتن به بهترین ترکیب‌های قطبی برای یک شهر، دیگر می‌توان از آن در بررسی سیل‌های احتمالی آینده آن شهر استفاده کرد. همچنین از آنجایی که یکی از عوامل مؤثر و دخیل در میزان مقادیر پس پراکندگی ثبت شده در پلاریزاسیون‌های پایه، شدت‌های مختلف سیلاب است؛ در نتیجه ترکیب‌های قطبی بهینه به دست آمده برای یک شهر برای همه سیلاب‌های رخ داده در آن شهر با شدت‌های کم و زیاد، کارایی داشته و قابل استفاده است. در مجموع با توجه به نتایج حاصله، به دست آوردن یک شاخص مناسب جهت تعیین گستره سیلابی احتمالی رخ داده در محیط‌های شهری را می‌توان از جمله نقاط قوت استفاده از ترکیب‌های قطبی به حساب آورد و از طرفی حساس بودن و پیچیدگی رسیدن به یک ترکیب قطبی بهینه از نقاط ضعف این روش محسوب می‌شود. علاوه بر آن، تاثیر ناهمگونی فضایی و تنوع کاربری زمین بر روی نتایج کار، از جمله نقاط ضعف و

منابع مورد استفاده

1. Amitrano, D., Di Martino, G., Iodice, A., Riccio, D., Ruello, G. (2018). Unsupervised rapid flood mapping using Sentinel-1 GRD SAR images. *IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens.*, 56 (6), pp 3290–3299.
2. Cohen, S., Raney, A., Munasinghe, D., Loftis, J.D., Molthan, A., Bell, J., Rogers, L., Galantowicz, J., Brakenridge, G.R., Kettner, A.J., Huang, Y.F. (2019). The Floodwater Depth Estimation Tool (FwDET V2. 0) for improved remote sensing analysis of coastal flooding. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 19 (9), pp 2053–2065.
3. DeVries, B., Huang, C., Armston, J., Huang, W., Jones, J.W., Lang, M.W. (2020). Rapid and robust

- monitoring of flood events using Sentinel-1 and Landsat data on the Google Earth Engine. *Remote Sens. Environ.*, 240, pp 111664.
4. Fazeli Farsani, A., Ghazavi, R., Farzaneh, M. R. (2015). Investigation of land use classification algorithms using images fusion techniques (Case study: Beheshtabad Sub-basin). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 6(1), 91-106.
5. Froking, S., Milliman, T., Mahtta, R., Paget, A., Long, D.G., Seto, K.C. (2022). a global urban microwave backscatter time series data set for 1993–2020 using ERS, QuikSCAT, and ASCAT data. *Sci Data.*, 9(1), pp 1–12.

6. Ghaffarian, S., Rezaie Farhadabad, A., Kerle, N. (2020). Post-disaster recovery monitoring with google earth engine. *Applied Sciences*, 10(13), pp 4574.
7. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sens. Environ.*, 202, pp 18–27.
8. Hossain, M.K., Meng, Q. (2020). A fine-scale spatial analytics of the assessment and mapping of buildings and population at different risk levels of urban flood. *Land use Policy*, 99, pp 104829.
9. Jiang, X., Liang, S., He, X., Ziegler, A.D., Lin, P., Pan, M., Wang, D., Zou, J., Hao, D., Mao, G., Zeng, Y. (2021). Rapid and large-scale mapping of flood inundation via integrating spaceborne synthetic aperture radar imagery with unsupervised deep learning. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, 178, pp 36–50.
10. Joshi, N., Baumann, M., Ehammer, A., Fensholt, R., Grogan, K., Hostert, P., Jepsen, M.R., Kuemmerle, T., Meyfroidt, P., Mitchard, E.T.A. (2016). A Review of the Application of Optical and Radar Remote Sensing Data Fusion to Land Use Mapping and Monitoring. *Remote Sens.*, 8(1), 70–89.
11. Karimi, V., Rashidpour, M. (2019). Evaluation of detention tanks for reducing urban flooding. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 51(2), 197–204.
12. Konapala, G., Kumar, S.V., Ahmad, S.K. (2021). Exploring Sentinel-1 and Sentinel-2 diversity for flood inundation mapping using deep learning. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, 180, pp 163–173.
13. Li, C., Dash, J., Asamoah, M., Sheffield, J., Dzodzomenyo, M., Gebrechorkos, S.H., Anghileri, D., Wright, J. (2022). Increased flooded area and exposure in the White Volta river basin in Western Africa, identified from multi-source remote sensing data. *Sci Rep.*, 12(1), pp 1–13.
14. Liu, D. (2020). Annual large-scale urban land mapping based on Landsat time series in Google Earth Engine and OpenStreetMap data: A case study in the middle Yangtze River basin. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, 12(13), pp 156–172.
15. Liu, J., Freudenberger, D., Lim, S. (2022). Mapping burned areas and land-uses in Kangaroo Island using an object-based image classification framework and Landsat 8 Imagery from Google Earth Engine. *Geomat Nat Hazards Risk*, 13(1), pp 1867–1897.
16. Mason, D.C., Dance, S.L., Cloke, H.L. (2021). Floodwater detection in urban areas using Sentinel-1 and WorldDEM data. *J Appl Remote Sens.*, 15(3), pp 32003.
17. Masoudian, M., Fenfereski, N., Gheregouzlu, M. (2015). Urban Flood Damage Reduction using Non-Structural Management (Case Study: the Nekarood River flood, 1999). *J Watershed Manage Res.*, 5(10), 1–14.
18. Mhaweji, M., Faour, G. (2020). Opensource Google Earth Engine 30-m evapotranspiration rates retrieval: The SEBALIGEE system. *Environmental Modelling & Software*, 133, pp 104845.
19. Mignot, E., Li, X., Dewals, B. (2019). Experimental modelling of urban flooding: A review. *J. Hydrol.*, 568, pp 334–342.
20. Mir Mosavi, S. H., Esmacili, H. (2021). Zoning of Flood-prone Areas Using Geographic Information System (GIS) and Remote Sensing (RS), (Case Study: Darab City). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 10(27), pp 21–46. [In Persian]
21. Mohamad Nejhad, V. (2021). Flood extent area mapping using sentinel 1 SAR image (a case study: the flood of Poledokhtar, march 1398). *Geographical Planning of Space*, 11(41), 69–80. [In Persian]
22. Mosavi, A., Ozturk, P., Chau, K.W. (2018). Flood prediction using machine learning models: Literature review. *Water*, 10 (11), pp 1536.

23. Munawar, H.S., Hammad, A.W.A., Waller, S.T. (2022). Remote sensing methods for flood prediction: a review. *Sensors*, 22(3), pp 960.
24. Munoz, D.F., Munoz, P., Moftakhari, H., Moradkhani, H. (2021). From local to regional compound flood mapping with deep learning and data fusion techniques. *Sci. Total Environ.*, 782, pp 146927.
25. Otsu, N. (1979). A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Trans. Syst., Man, Cybernet.*, 9 (1), pp 62–66.
26. Pelich, R., Chini, M., Hostache, R., Matgen, P., Pulvirenti, L., Pierdicca, N. (2022). Mapping floods in urban areas from dual-polarization InSAR coherence data. *IEEE Geosci Remote Sens Lett.*, 19, pp 1–5.
27. Peter, B.G., Cohen, S., Lucey, R., Munasinghe, D., Raney, A., Brakenridge, G.R. (2020). Google Earth Engine Implementation of the Floodwater Depth Estimation Tool (FwDET-GEE) for rapid and large scale flood analysis. *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, 21, pp 27-39.
28. Rahmati, M., Mir Ramzani, M. (2018). Capability of Sentinel-1 sensor images in flood zoning (case study: April 2018 flood in Poldakhtar city). *The 5th International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Planning with Sustainable Development Approach*, Shiraz, pp 1-13. [In Persian]
29. Roshun, H., Roshan, M., Shahedi, K., Chormański, J. (2022). Preparation of curve number map and estimation of runoff height using geographic information system and remote sensing in North Karun Basin. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 13(3), 22-37. [In Persian]
30. Shahedi, M., Nabi Bidhendi, G. (2023). The Role of Spatial Distribution of Basin Hydrological Units on Flood Peak Flow Changes Using HEC-HMS Hydrological Model (Case Study: Safaarood Basin). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 14(4), 17-20. [In Persian]
31. Shahriarinia, E., Asadollahfardi, G., Heidarzadeh, N. (2016). Study of the environmental flow of rivers, a case study, Kashkan River, Iran. *Journal of Water Supply: Research and Technology*, 65(2), pp181-194.
32. Tamiminia, H., Salehi, B., Mahdianpari, M., Quackenbush, Q., Adeli, S., Brisco, B. (2020). Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 164, pp 152-170.
33. Zarei, M., Zandi, R., Naemitabar, M. (2022). Assessment of Flood Occurrence Potential using Data Mining Models of Support Vector Machine, Chaid and Random Forest (Case study: Frizi watershed). *Jwmr*, 13 (25), pp 133-144. [In Persian]



Urban Flood Mapping Using Google Earth Engine Cloud Computing and Sentinel 1 Images: Case Study of Pul-e-Dokhtar Flood

Ali Mehrabi ^{1*}

Received: 2024-06-03 / Accepted: 2025-01-05 / Published: 2025-10-11

Abstract

During natural hazards such as floods, accurate knowledge of its extent is very important for emergency response. Despite numerous efforts, there are still many challenges in automatically processing Sentinel 1 images to produce reliable inundation maps. Currently, there is a knowledge gap in using different polarization combinations of SAR images for flood research. To further investigate this issue, the flood of April 5, 2018, in Pul-e-dokhtar city of Lorestan province was selected as a sample. At first, 10 different combinations of two main polarizations VH and VV are designed. The threshold mapping method was used to check different polar combinations made in flood mapping. To overcome the overestimation of flooded areas, the flood depth estimation algorithm of the Google search engine is used. The results show that among different polarization combinations, the combination of multiplication of squares gives the best performance for flood extent mapping, and then the combinations of division of squares, sum of squares, and VV basic polarization perform better in this field. All the analyses were done on the Google Earth platform and this strategy can be used for flood mapping in any other urban environment. The findings of this study can increase the quick assessment and accurate decision-making of relevant authorities concerning urban floods.

Ali Mehrabi ¹ (✉)

^{1*}. Associate Professor, Department of Geography, Faculty of Lit. & Humanities, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran
DOI: 10.82447/girs.2025.1121573

e-mail: Mehrabi@uk.ac.ir

Extended Abstract

Statement of the Problem: As a spatial processing platform, Google Earth Engine has enabled fast computations to work with huge amounts of continuous datasets on a global scale. Along with providing free processing power to scientists and researchers to analyze the earth's surface, this platform has allowed users to access a wide range of time series images from different satellites. The backscatter characteristics of ground objects in radar images can be used to distinguish between different objects and highlight the changes and state of the ground. For example, backscatter in deep water areas is very low, but increases over vegetated areas, and increases in urban buildings due to the double bounce effect, which can be seen in radar images. Some of the techniques used to study flood events using radar images based on backscatter information are: (a) histogram threshold method, (b) RGB combination, (c) change detection method, (d) data combination with using radar and optical imagery, and (e) using classification techniques, in addition to machine learning techniques. Despite numerous attempts to map flood-affected areas using radar images, using the potential of these images to improve flood mapping, especially for urban areas, has been neglected. Although radar imagery has been used for many studies to map flood extent, few studies have examined polarization compositions.

Purpose: The aim of this research is to develop a suitable approach for urban flood extent mapping using different polarization combinations of Sentinel 1 images.

Methodology: Pol-e-Dokhtar city as the study area, is located in the west of Lorestan province at 33°05' to 33°17' north latitude and 47°32' to 47°43' east longitude and in an area of 400 hectares. The Kashkan river passes through the city, this river starts from the Zagros mountains and flows from it to the west of the province and passes through Pol-e-Dokhtar and flows into the Karkhe river in Khuzestan province. Its flow varies from 5 to 190 cubic meters per second, with an average of 30 cubic meters per second. The second step is to filter the images from the Sentinel 1 collection. First, all the Sentinel 1 images are loaded in the Google Earth Engine, then their IW type is separated. After that, another filter is applied on the images based on ascending and descending orbit options, and because of the coverage of the image close to the date of the flood, the ascending options were used here. Finally, two filtered images were created for the study area, one before the incident, and one at the same time. For the image before the flood event, the image dated March 28, 2017 was selected, which met all our criteria. And for the image of the time of the event, the image of April 5, 2018 was filtered and selected, which coincided exactly with the peak date of the flood.

Results and Discussion: the histogram distribution of backscatter values of basic polarizations, sum and subtraction obtained from Google Earth Engine calculations. In the graphs, the x-axis shows the values of the backscattering coefficient, while the y-axis shows the frequency of these values. The threshold limit found for each combination is listed below its graph and this value was used to classify the image into flooded and non-flooded areas. The threshold value in each combination is placed in a range where two groups are separated by bi-exponential distribution. If the subset area is chosen appropriately, the histogram should have a binomial distribution, such that one peak represents flooded pixels with low backscatter values and the other peak represents non-flooded pixels with high backscatter values. is higher In this research, the optimal threshold for Pol-e-Dokhtar city using VH

polarization was estimated as -19.04 dB, while for VV polarization this value is -11.34 dB. These values are -28.58 and -12.55 for the sum and subtraction combinations, respectively. Also, the operation of removing pixels with zero depth has been applied on the maps. A visual comparison of the obtained maps with aerial photographs of floods shows that the combination of multiplication of squares has the best performance, and after that, the combination of division of squares, sum of squares, and subtraction of squares respectively have been able to measure the extent of the flooded areas. measure the extent of the flooded areas more accurately. in the map related to the combination of polarizations, the edges and borders of the river passing through the middle of the city follow the flooded border on the day of the incident, as well as the flooding of the main street in It shows the length of the river.

Conclusion: The research demonstrates that algorithms combining different polarizations of radar data significantly improve urban flood extent mapping. The results of the research show that among the different polarization combinations, the combination of multiplication of squares, division of squares by the sum of squares and base polarization (VV) have performed better than other polarization combinations. Also, removing pixels with zero flood depth can improve the accuracy of work. In all four combinations mentioned above, the overall accuracy is above 70%. Of course, since the spatial heterogeneity and variety of land use may greatly affect the accuracy of flood extent in urban areas, the results of this research cannot be used exactly for every city. Rather, different polarization combinations should be tested for different urban areas to determine the best combination. Also, in this regard, the use of Google Earth Engine cloud computing showed how much this technology can increase the speed of processing and analysis of heavy and high-volume radar data. Overall, the research findings showed the efficiency of using different polarization combinations of radar images to provide higher accuracy in flooded areas than the basic polarizations commonly used for urban flood mapping. Future research can focus on improving flood depth calculations and then comparing the findings obtained using different methods and their applications in different study areas. The findings of

this study can be useful for emergency decisions in flood disasters.

Keywords: Flood Mapping, Polarization, Radar Images, Pol-e-Dokhtar Cit

Please cite this article as: Mehrabi, Ali. (2025) .Urban Flood Mapping Using Google Earth Engine Cloud Computing and Sentinel 1 Images: Case Study of Pul-e-Dokhtar Flood .*Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 16(3): 60-80.

