

Investigating the Extent of Flooding by Applying the Otsu Automatic Thresholding Method to SAR Images (Case Study: Flood of Farvardin 1403 in Sistan and Baluchestan Province)

Fatemeh Dalvand¹ , Seyed Abolfazl Hosseini¹ , Peyman Tahmasebi¹ , Omid Behnami² 

1. PhD Student of Irrigation, Dept. of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

2. Assoc. Prof., Dept. of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran (Corresponding Author) omid.bahmani@basu.ac.ir



<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23453915.1404.14.2.6.6>

Original Paper

Floods are among the most significant natural hazards, which—depending on the intensity of rainfall and other contributing factors—can cause extensive damage to urban and rural areas. These damages may include the destruction of infrastructure, harm to homes and agricultural lands, and even loss of human life. Therefore, producing flood extent maps provides valuable information for preparedness, crisis management, communication, rapid response, and risk reduction during disasters. One of the modern and effective methods for studying floods is the use of Synthetic Aperture Radar (SAR) data. These data allow for detailed analysis of flood events and accurate delineation of their extent, which can help improve future planning and support better decision-making. In this study, flood-affected areas in Sistan and Baluchestan Province during April 2024 (Farvardin 1403 in the Iranian calendar) were identified. For this purpose, the Otsu automatic thresholding method was applied to Sentinel-1 SAR images using the Google Earth Engine (GEE) web platform. The results were validated using cumulative rainfall data over a 6-day period (April 14–19, 2024), obtained from rain gauge stations. This evaluation indicated that the model performed with acceptable accuracy ($R^2 = 0.92$, $RMSE = 0.06$). The findings showed that the counties of Zarabad, Nikshahr, Konarak, Chabahar, Dashtiari, Sarbaz, Mehrestan, Sib, Saravan, Golshan, Khash, Mirjaveh, Iranshahr, and Zahedan were affected by the flood during this period. Additionally, salt lakes in Delgan, Bampur, and the western part of Zahedan were revived. These results can serve as a basis for improved future planning and reducing flood-related damages. They can also assist decision-makers in crisis management and disaster prevention efforts.

Keywords:

Flood Extent, Otsu Automatic Thresholding, SAR Images, Sistan And Baluchestan Province.



Received: Feb. 01, 2025
Revised: May 04, 2025
Accepted: July 28, 2025

To cite this article:

Dalvand, F., Hosseini, S. A., Tahmasebi, P., Behnami, O. 2025. Investigating the extent of flooding by applying the otsu automatic thresholding method to sar images (case study: flood of farvardin 1403 in Sistan and Baluchestan Province). *Emergency Management*, 14(4), 1-15. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23453915.1404.14.2.6.6>.

Use your device to scan and read the article online



© The Author(s).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



بررسی گستره سیلاب با اعمال روش آستانه‌گذاری خودکار اوتسو بر روی تصاویر سار (مطالعه موردی: سیلاب فروردین‌ماه ۱۴۰۳ استان سیستان و بلوچستان)

فاطمه دالوند^۱، سید ابوالفضل حسینی^۱، پیمان طهماسبی^۱، امید بهمنی^{۲*}

۱- دانشجوی دکترای گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
omid.bahmani@basu.ac.ir (نویسنده مسئول)



<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23453915.1404.14.2.6.6>

مقاله پژوهشی

چکیده

واژه‌های کلیدی:
گستره سیلاب،
آستانه‌گذاری خودکار اوتسو،
تصاویر SAR، استان
سیستان و بلوچستان

دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۳

اصلاح: ۱۴۰۴/۰۲/۱۴

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۶

سیلاب‌ها از مهم‌ترین مخاطراتی هستند که بسته به شدت بارندگی‌ها و سایر عوامل مؤثر سبب وارد آمدن خسارات زیادی به نواحی شهری و روستایی می‌شوند. این خسارات می‌تواند شامل تخریب زیرساخت‌ها، آسیب به منازل و زمین‌های کشاورزی و حتی از دست رفتن جان انسان‌ها باشد. به همین دلیل، تهیه نقشه‌های گسترش سیلاب اطلاعات ارزشمندی را در زمینه‌های آمادگی، مدیریت بحران، ارتباطات، واکنش سریع و کاهش خطرات ناشی از سیلاب در زمان وقوع فاجعه فراهم می‌کند. یکی از روش‌های نوین و مؤثر در مطالعه سیلاب، استفاده از داده‌های راداری سار است. این داده‌ها امکان بررسی دقیق جزئیات سیلاب‌ها و تعیین محدوده گسترش آن‌ها را فراهم می‌کنند که می‌تواند به بهبود برنامه‌ریزی‌های آبی و اتخاذ تصمیمات بهتر کمک کند. در این تحقیق، مناطق تحت تأثیر سیلاب استان سیستان و بلوچستان در فروردین‌ماه ۱۴۰۳ شناسایی شدند. برای این منظور، از روش آستانه‌گذاری خودکار اوتسو بر روی تصاویر سنتینل-۱ سار در سامانه تحت وب GEE استفاده شد. نتایج حاصله با استفاده از بارش تجمعی در بازه زمانی ۶ روزه (۲۶ تا ۳۱ فروردین‌ماه ۱۴۰۳) که از آمار ایستگاه‌های باران‌سنجی به‌دست‌آمده بود، ارزیابی دقت شد. این ارزیابی نشان داد که مدل دارای دقت قابل قبولی ($R^2=0.92$ و $RMSE=0.06$) ارائه داده است. یافته‌ها حاکی از این بودند که شهرستان‌های زراباد، نیک‌شهر، کنارک، چابهار، دشتیاری، سرباز، مهرستان، سیب، سراوان، گلشن، خاش، میرجاوه، ایرانشهر و زاهدان در این بازه زمانی تحت گستره سیلاب قرار گرفتند. علاوه بر این دریاچه‌های نمک در شهرستان‌های دلگان، بمپور و قسمت غربی زاهدان نیز احیا شدند. این نتایج می‌تواند به‌عنوان مبنایی برای برنامه‌ریزی بهتر در آینده و کاهش آسیب‌های ناشی از سیلاب‌ها استفاده شوند و همچنین به تصمیم‌گیرندگان در زمینه مدیریت بحران و پیش‌گیری از فاجعه‌های مشابه یاری رسانند.

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام فرمایید:

دالوند، ف.، حسینی، س.ع.، طهماسبی، پ.، بهمنی، ا.، ۱۴۰۴. بررسی گستره سیلاب با اعمال روش آستانه‌گذاری خودکار اوتسو بر روی تصاویر سار (مطالعه موردی: سیلاب فروردین‌ماه ۱۴۰۳ استان سیستان و بلوچستان). مدیریت بحران، ۱۴(۴)، ۱-۱۵

<https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23453915.1404.14.2.6.6>



© The Author(s).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

۱- مقدمه و بیان مسئله

طبق گزارش سازمان ملل متحد، حدود ۹۰ درصد از تمام بلایای طبیعی در سراسر جهان مربوط به رخدادهای آبی است. در این میان، بیشترین فراوانی مربوط به سیل است که تقریباً ۴۳ درصد از رویدادهای ثبت شده در دوره ۱۹۹۸-۲۰۱۷ را تشکیل می‌دهد [۱].

ارقام در مورد خسارات و قربانیان ناشی از رویداد سیل در سراسر جهان قابل توجه است. همان‌طور که [۲] ادعا کردند، ۱/۸۱ میلیارد نفر، معادل ۲۳ درصد از جمعیت جهان، مستقیماً در معرض خطر سیل قرار داشتند.

[۳] گزارش کردند که از سال ۱۹۸۰ تاکنون بیش از ۲۵۰ هزار نفر در اثر سیل جان خود را از دست داده‌اند و خسارات مالی بیش از ۱ تریلیون دلار رسیده بود که حدود ۴۰ درصد از کل خسارات ناشی از بلایای طبیعی در طول این دوره را شامل می‌شد. آثار ناشی از سیل فقط محدود به کشورهای در حال توسعه نیست؛ زیرا سیل اخیر که در آلمان [۴]، ژاپن [۵] و استرالیا [۶] رخ داد، حاکی از آن است که سیلاب پیشرفته‌ترین اقتصادی و صنعتی‌ترین کشورها را نیز به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد و خسارات جانی و مالی به زیادی را به بار می‌آورد. با این حال، در کشورهای کم‌تر توسعه یافته که زیرساخت‌های ضعیفی دارند اثرات سیلاب خیلی بیش‌تر و مخرب‌تر از کشورهای توسعه یافته است [۷].

با توجه به استدلال سازمان ملل، می‌توان با ایجاد زیرساخت‌های متناسب با کاربری زمین در منطقه و آمادگی‌های لازم قبل از وقوع سیلاب اثرات آن را به شدت کاهش داد. در یک سناریوی جهانی که اخیراً انجام شده است پیش‌بینی شده که تغییرات آب و هوایی می‌توانند خطر سیل را به‌طور قابل توجهی در سال‌های آینده افزایش دهند و مدل‌های مختلف آب و هوایی تأیید کننده این سناریو هستند که انتظار می‌رود تا سال

۲۱۰۰، سیل در جنوب شرقی آسیا، شرق و مرکز آفریقا و بخشی از آمریکای لاتین به میزان قابل توجهی افزایش یابد [۸].

حتی با پیش‌بینی‌های خوش‌بینانه تخمین زده می‌شود با تغییرات آب‌وهوایی، سطح دریاها تا پایان قرن بیش از ۵۰ سانتی‌متر افزایش یابد و در نتیجه خطر سیل شهرهای بزرگ ساحلی را تشدید کند [۹]. علاوه بر این، پدیده فرونشست که به دلیل مدیریت ناپایدار آب زیرزمینی یا بر اساس برداشت بی‌رویه اتفاق می‌افتد خطرات سیل در مناطق ساحلی با نرخ چهار برابر بیش‌تر از سایر مناطق افزایش می‌دهد [۱۰].

بنابراین برنامه‌ریزی و مدیریت کاهش سیل مستلزم دانش کاربری اراضی و همچنین شناسایی و نقشه‌برداری دقیق مناطق مستعد سیل است [۱۱]. از این رو نقشه‌های زمانی مناطقی که به هنگام سیل، زیر آب می‌روند داده‌هایی را در اختیار تصمیم‌گیران قرار می‌دهند که به کمک آن‌ها می‌توان عکس‌العمل‌های مناسبی را در مقابل سیل‌های احتمالی آینده و مدیریت پایدار نشان دهد [۱۲].

پایش سیلاب را می‌توان به‌طور کلی در دو بخش مبتنی بر مدل‌سازی هیدرولوژیکی و بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای انجام داد [۱۳]. استفاده از روش اول (مدل‌سازی هیدرولوژیکی) اطلاعاتی ارائه می‌دهد که کاربر قادر است مناطق گسترش سیلاب را شناسایی و خطرات ناشی از آن را برآورد کند. البته زمان‌بر و دارای هزینه بالایی است و این امر زمانی میسر می‌شود که مدل با توجه به شرایط منطقه مطالعاتی کالیبره شده باشد در غیر این صورت دقت آن به شدت کاهش می‌یابد [۱۴].

اما استفاده از تصاویر ماهواره‌ای فاقد مشکلات مذکور است و در زمان و هزینه صرفه‌جویی می‌شود. امروزه سنجنده‌های متعددی وجود دارد که با اهداف مختلفی به فضا پرتاب شده‌اند. در

۳

شماره ۳۲

زمستان ۱۴۰۴

فصلنامه علمی

و پژوهشی



بررسی گستره سیلاب با اعمال روش آستانه‌گذاری خودکار اوتسو بر روی تصاویر سار (مطالعه موردی: سیلاب فروردین‌ماه ۱۴۰۳ استان سیستان و بلوچستان) / فاطمه دالوند، سید ابوالفضل حسینی، پیمان طهماسبی، امید بهمنی



زمینه مطالعات سیلاب از تصاویر اپتیکی لندست و مادیس برای برآورد پوشش ابر استفاده می‌شوند؛ زیرا امواج الکترومغناطیسی این سنجنده‌ها قادر به نفوذ از پوشش ابر نیستند و با توجه به اینکه قبل و هم‌زمان با وقوع سیلاب معمولاً پوشش ابری وسیعی در آسمان وجود دارد بنابراین سیل به راحتی به کمک این سنجنده‌ها قابل پایش نیست [۱۵].

از این رو برای شناسایی مناطق گسترش سیلاب در هر شرایطی از تصاویر راداری ماهواره سنتینل-سار استفاده می‌شود به این دلیل این سنجنده (سنتینل-سار) قادر به نفوذ از پوشش ابری بوده و مناطق گسترش سیلاب را با دقت بالا پایش می‌کند. امواج سنجنده SAR به راحتی از پوشش ابری و بارشی عبور می‌کند و قادر است در هر شرایط آب‌وهوایی از سطح زمین تصویربرداری کند [۱۶]. در نتیجه گستره سیلاب در این تصاویر قابل شناسایی و ردیابی است [۱۷].

تکنیک‌های مورد استفاده به منظور شناسایی گستره سیلاب به دو صورت؛ طبقه‌بندی تصاویر مبتنی بر یادگیری ماشینی [۱۸، ۱۹] و آستانه‌گذاری بر تصاویر [۲۰] انجام می‌شود. روش اول نیازمند داده‌های آموزشی از مناطق تحت سیطره سیل است که در حین سیلاب بسیار دشوار و زمان‌بر است. از این رو، این رویکرد برای تهیه نقشه سیلاب توصیه نمی‌شود [۱۸، ۲۱].

بنابراین تکنیک‌های مبتنی بر آستانه (دستی و خودکار) برای تولید نقشه سیلاب کارآمد و مؤثر است. تکنیک‌های تشخیص گستره سیلاب بر اساس آستانه‌گذاری دستی اغلب دشوار و چالش‌برانگیز هستند، زیرا مستلزم دانش نمونه‌های آموزشی است [۱۸]. از طرفی دیگر تنوع در مقادیر آستانه‌گذاری به صورت دستی به اشتباه پیکسل‌های آبی را در کلاس غیر آب و بالعکس طبقه‌بندی می‌کند در نتیجه نقشه‌های خروجی از دقت پائینی برخوردار خواهند بود

[۱۸]. از این رو رویکرد مبتنی بر آستانه‌گذاری خودکار بدون دخالت نمونه‌های آموزش قادر به طبقه‌بندی پیکسل‌های آبی از غیر آب است [۲۲، ۲۳].

روش آستانه‌گذاری خودکار اوتسو جامع‌ترین رویکرد مورد استفاده برای شناسایی گستره سیلاب است [۱۷، ۲۴]. مزیت این روش پیچیدگی کمتری دارد و به کم‌ترین تعامل کاربر نیاز دارد و برای تصاویر بزرگ سار مناسب است [۲۲].

ایران از جمله کشورهایی است که همه‌ساله در نقاط مختلف آن سیلاب‌هایی با شدت متفاوت رخ می‌دهد. سیل سال‌های اخیر گلستان، خوزستان، پلدختر و سیستان و بلوچستان در سال ۱۳۹۸ همچون سیل اخیر سیستان و بلوچستان در ۲۸ فروردین ۱۴۰۳ روی داده‌اند مثال‌هایی از این نمونه به شمار می‌روند. با توجه به وقوع و اهمیت مطالعات سیلاب در سطح جهان و ایران پژوهش‌های زیادی در این زمینه صورت گرفته است که اغلب به پهنه‌بندی خطر سیل و گستره سیلاب به کمک تصاویر ماهواره‌ای پرداخته‌اند [۲۵، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۲۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲].

با توجه به اینکه سیلاب فروردین ۱۴۰۳ در استان سیستان و بلوچستان متأسفانه خسارات زیادی برجای گذاشت. بخش‌های زیادی از این استان متأثر از این سیلاب واقع شدند. در این پژوهش به کمک روش آستانه‌گذاری خودکار (Otsu) و اعمال آن بر روی تصاویر راداری سنتینل-۱ نقشه‌های گستره سیلاب و مناطق تحت سیطره آن و با استفاده از سامانه تحت وب Google Earth Engine (GEE) پایش شده و در نهایت به کمک نقشه بارش تجمعی (۲۶ تا ۳۱ فروردین ماه ۱۴۰۳) حاصل از آمار ایستگاه‌های باران‌سنجی ارزیابی دقت می‌شود.

۲- منطقه مورد مطالعه

استان سیستان و بلوچستان پس از استان کرمان

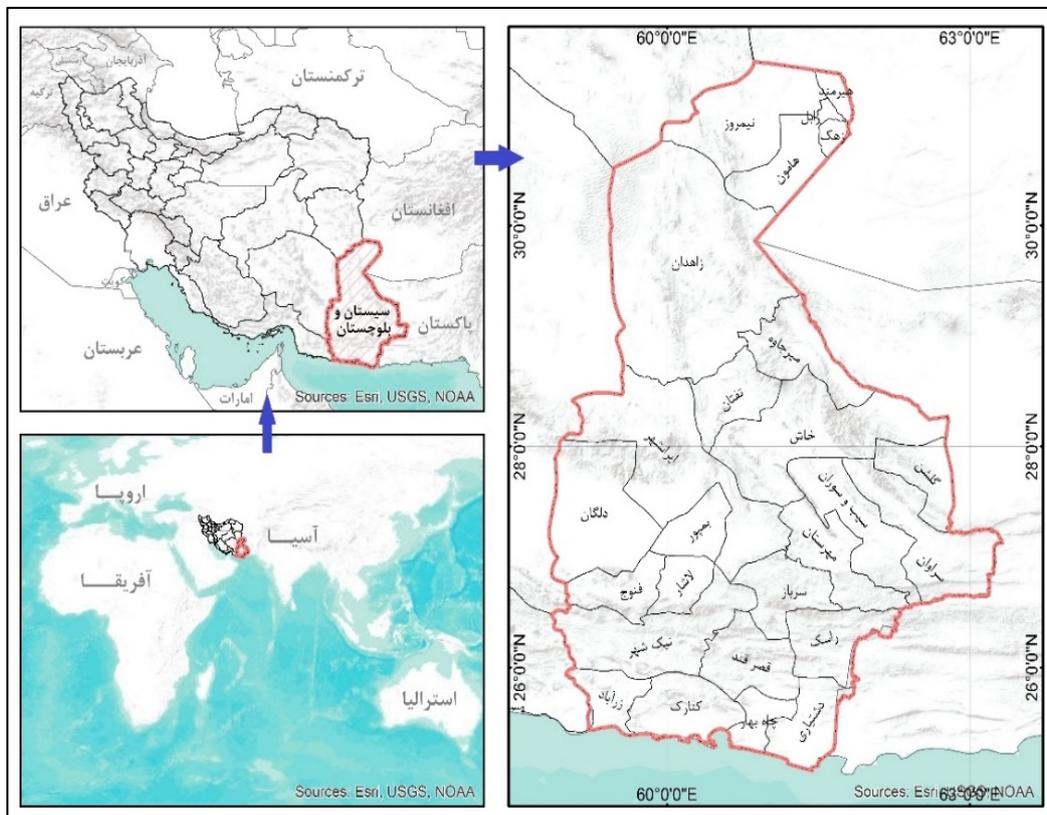
دومین استان پهناور ایران است که در جنوب شرق کشور در محدوده جغرافیایی ۲۵ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۸ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۶۳ درجه و ۲۱ دقیقه طول واقع شده است [۳۳].

این استان از شرق ۱۲۱۰ کیلومتر مرز خاکی با دو کشور پاکستان و افغانستان، از جنوب ۳۷۰ کیلومتر مرز آبی با دریای عمان و از شمال به استان خراسان جنوبی و از غرب به استان‌های هرمزگان و کرمان محدود شده است. مساحت استان ۱۸۷۵۰۲ کیلومترمربع است که تقریباً ۱۱/۵ درصد از وسعت کشور ایران را در برمی‌گیرد. بر اساس سرشماری عمومی سال ۱۳۹۵ تراکم نسبی استان ۱۲/۵ نفر در هر کیلومترمربع بوده است که از این لحاظ یکی از کم تراکم‌ترین استان‌های کشور محسوب می‌شود (شکل ۱).

بر اساس آخرین تقسیمات کشوری، این

استان دارای ۲۶ شهرستان است. لازم به ذکر است که این استان از چنان تنوع جغرافیایی و آب‌وهوایی برخوردار است که آن را به یک استان چهارفصل تبدیل کرده و در عین حال چهره‌ای مخاطره‌آمیز نیز به آن بخشیده است. شمال این استان در ادوار گذشته به دلیل وجود تالاب بین‌المللی هامون در آن به انبار غله ایران معروف بوده که هم‌اینک پس از گذر سال‌ها به بستی برای بروز پدیده طوفان شن تبدیل شده است.

سیلاب‌های ویرانگر، مناطق مرکزی استان را نیز در معرض خطر جدی قرار داده و به تخریب گسترده روستاها و قطع راه‌های ارتباطی منجر می‌شود. منطقه جنوبی استان، به‌ویژه مناطق چابهار و مکران که به دروازه دریایی کشور مشهور هستند، در زمان طوفان‌های شدید، شاهد امواج خروشان و خطرناک است. طوفان آشوبا، نمونه‌ای بارز از این‌گونه مخاطرات دریایی است که اخیراً رخ داد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه مذکور

جدول ۱- مجموعه داده استفاده شده

مشخصات	سنتینل-۱ راداری
تاریخ دریافت تصاویر	قبل سیلاب
	۱۴۰۲/۰۸/۰۲
	۱۴۰۲/۰۸/۰۸
	۱۴۰۳/۰۱/۲۶
پولاریزاسیون	همزمان و بعد سیلاب
	۱۴۰۳/۰۲/۰۲
پولاریزاسیون	VV
باند	۱
طول موج	۵/۵ سانتی متر
قدرت تفکیک زمانی	بسته به عرض جغرافیایی ۳ تا ۵ روز
قدرت تفکیک مکانی	۱۰ m

۳- مواد و روش‌ها

در این تحقیق، از مجموعه‌ای از تصاویر حاصل از ماهواره سنتینل-۱ سار استفاده شد که در جدول (۱) به تفصیل ارائه شده است. ماهواره سنتینل-۱ به واسطه کارکرد خود در باند C و با استفاده از دو نوع پولاریزاسیون HH و VV، قابلیت تصویربرداری از سطح زمین را دارد [۳۴]. در این تحقیق، تمرکز بر روی پولاریزاسیون VV قرار گرفته است. این انتخاب به دلیل نتایج مطالعات پیشین است که نشان داده‌اند پولاریزاسیون VV برای پایش گستره سیلاب‌ها، به‌ویژه در شرایط خاص، مناسب‌تر از پولاریزاسیون HH است [۳۵].

یکی از ویژگی‌های کلیدی تصاویر سار این است که پهنه‌های آبی به‌طور واضح در این تصاویر به رنگ تیره نمایان می‌شوند. این امر به دلیل خاصیت جذب انرژی امواج رادار توسط آب است که باعث می‌شود این مناطق نسبت به سایر سطوح که انرژی بیشتری از امواج را منعکس می‌کنند، تمایز پیدا کنند. به‌عبارت‌دیگر، سطح‌های غیرآبی به دلیل زبری و نوع بافت خود، انرژی زیادی از امواج رادار را به سمت سنجنده بازتاب می‌کنند. این ویژگی‌ها به‌طور قابل توجهی باعث ایجاد اختلافات واضح و قابل شناسایی بین مناطق آبی و غیرآبی در تصاویر می‌شود [۳۶].

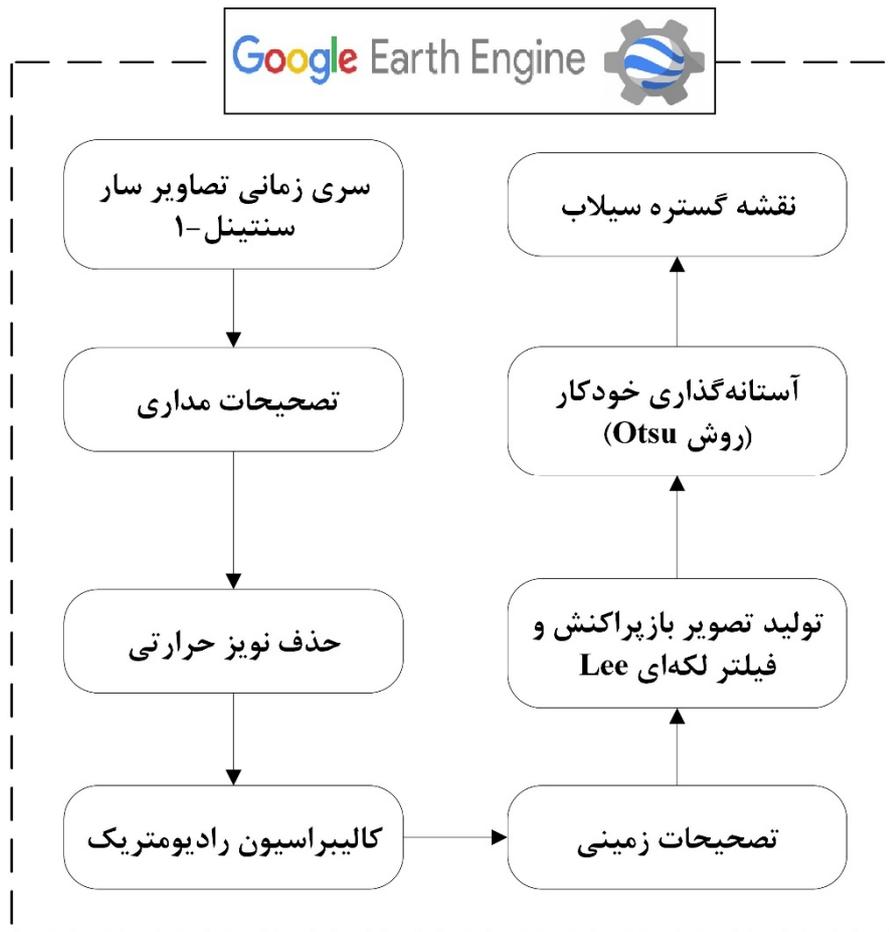
۴- روش کار

فلوچارت روش کار مطالعه حاضر در شکل (۲) به تفصیل نشان داده شده است. روش کار شامل چند مرحله است:

۴-۱- پیش پردازش تصاویر سار پولاریزاسیون VV

هر داده ماهواره‌ای پیش از استفاده نیازمند پیش پردازش است، به‌ویژه در مورد تصاویر راداری (SAR) که به دلیل وجود نویز بالا، نیاز به تصحیحات هندسی، رادیومتری، حرارتی و لکه‌های دارند. سامانه تحت وب GEE مجموعه تصاویر سار سنتینل-۱ با پولاریزاسیون VV پروداکت (GRD) را به‌صورت پیش پردازش شده در اختیار کاربران قرار می‌دهد که نیازی به پیش پردازش ندارد [۳۷].

این پیش پردازش‌ها شامل: (الف) تصحیح فایل مداری به منظور حذف نویز مداری، (ب) تصحیح نویز حرارتی به منظور حذف نویز در داده‌های تولیدشده توسط حسگرها در طول فرایند جمع‌آوری داده‌ها توسط ماهواره [۳۸، ۳۹]، نویز حرارتی می‌تواند بر کیفیت داده‌ها در مناطقی که دارای سیگنال بازگشتی آنها پائین دارند (دریاچه‌ها، آب‌های ایستاده، رودخانه‌ها) تأثیر گذارد باشد، (پ) کالیبراسیون رادیومتریکی و (ت) تصحیحات زمینی، به منظور تصحیح اعوجاج و



شکل ۲- فلوچارت انجام تحقیق

سایه بود [۳۸].

در ادامه فیلتر نقطه‌ای لی^۱ با پنجره ۳×۳ به‌منظور حذف نویز نقطه‌ای راداری بر روی مجموعه تصاویر SAR در GEE اعمال شد. این فیلتر با حفظ لبه‌های عناصر تصویر و ساختار کلی آن، به شناسایی الگوها و مورفولوژی سیلاب‌ها کمک می‌کند [۴۰].

۲-۴- طبقه‌بندی کلاس آب از غیر آب

پس از پیش‌پردازش تصاویر سار سنتینل-۱ با پولاریزاسیون VV، داده‌ها را در ۲ کلاس؛ پهنه آبی و غیرآبی طبقه‌بندی شدند تا مناطق گستره سیلاب پایش شود. در این تحقیق از روش آستانه‌گذاری خودکار اوتسو برای تعیین آستانه

بهینه برای طبقه‌بندی استفاده شد. معمولاً روش اوتسو برای استخراج آستانه برای تصاویر اپتیکی به کار می‌رود [۴۱]. با این حال، برخی از مطالعات اخیر پیشنهاد کرده‌اند که روش اوتسو را می‌توان در داده‌های سار برای جداسازی پهنه‌های آب از غیر آب نیز به کار برد [۲۲، ۴۲].

روش اوتسو یک روش آستانه‌گذاری مبتنی بر خوشه‌بندی است که به منظور جداسازی دو کلاس پیش‌زمینه از پس‌زمینه استفاده شده است. این تکنیک فرض می‌کند که توزیع شدت پیکسل‌های تصویر از یک هیستوگرام دو وجهی پیروی می‌کند و آن پیکسل‌ها را در دو کلاس (پیش‌زمینه و پس‌زمینه) طبقه‌بندی می‌کند. مقدار آستانه بهینه با به حداقل رساندن مجموع وزنی واریانس‌های درون کلاس پیکسل‌های

¹ Lee

μ_T = میانگین کل سطح خاکستری تصویر
 k = مقدار آستانه

معادلات (۸ و ۹) احتمال وقوع کلاس و سطوح میانگین کلاس را تعریف می کند

$$\omega(k) = \sum_{i=1}^k \eta_i \quad (۸)$$

$$\mu(k) = \sum_{i=1}^k i \eta_i \quad (۹)$$

۳-۴- نقشه مناطق گستره سیلاب منطقه مورد مطالعه

در این مرحله، فرآیند استخراج پهنه‌های آبی از هر دو تصویر سار انجام شد. این کار به ما اجازه می‌دهد تا مناطقی را که در اثر وقوع سیل به زیر آب رفته‌اند، شناسایی شود. در نتیجه مناطقی که در اثر سیل به زیر آب رفته‌اند را می‌توان از طریق طبقه‌بندی آنها به پهنه‌های آبی و غیرآبی برآورد کرد به عبارت دیگر، اگر یک پیکسل در تصویر مربوط به زمان وقوع سیلاب به‌عنوان آب شناسایی شود و در تصویر مربوط به قبل از وقوع سیلاب به‌عنوان غیر آب طبقه‌بندی شود، آن پیکسل به‌عنوان ناحیه‌ای که تحت تأثیر سیل قرار گرفته و به زیر آب رفته است، مشخص می‌شود.

۴-۴- اعتبار سنجی گستره سیلاب

لازمه استفاده از هر نوع اطلاعات موضوعی، آگاهی از درستی و صحت آن است [۴۴]. در ارزیابی دقت مشخص می‌شود که داده‌های به‌دست‌آمده متناسب با کاربرد موردنظر، از دقت لازم برخوردار هستند یا خیر. این ارزیابی می‌تواند به‌صورت مقایسه بین داده‌های تولیدشده توسط مدل و داده‌های مرجع باشد. روش معمول و استاندارد برای تعیین دقت نتایج به‌دست‌آمده، استفاده از ماتریس خطا است که حاصل مقایسه

پیش‌زمینه و پس‌زمینه تعیین می‌شود. الگوریتم ریاضی روش اوتسو به شرح زیر است [۴۳]:

پیکسل‌ها در یک تصویر داده‌شده در سطوح خاکستری (1, 2, 3, L) نشان داده می‌شوند. n_i تعداد پیکسل‌های سطح i را نشان می‌دهد و N نشان‌دهنده تعداد کل پیکسل‌ها است.

$$N = n_1 + n_2 + n_3 + n_L \quad (۱)$$

هیستوگرام سطح خاکستری نرمال شده و توزیع احتمال را می‌توان به‌صورت معادلات (۲ تا (۴) بیان کرد.

$$P_i = N_i/N \quad (۲)$$

$$P_i \geq 0 \quad (۳)$$

$$\sum_{i=1}^L P_i = 1 \quad (۴)$$

آستانه k پیکسل‌ها را به دو کلاس (پیش‌زمینه و پس‌زمینه) تقسیم می‌کند. مقدار پهنه k را می‌توان با به حداکثر رساندن واریانس درون کلاس محاسبه کرد. تابع معیار ρ به‌صورت معرفی زیر معرفی کرد

$$P(k) = \sigma_B^2(k) / \sigma_{BT}^2 \quad (۵)$$

$$\sigma_B^2 = (\omega_0 \mu_1 - \mu)^2 \quad (۶)$$

$$\sigma_T^2 = \sum_{i=1}^L (i - \mu)^2 \eta_i \quad (۷)$$

ρ = تابع معیار

σ_B^2 = واریانس بین کلاس

σ_BT^2 = واریانس کل

ω_0 = احتمال وقوع کلاس برای پس‌زمینه

ω_1 = احتمال وقوع کلاس برای پیش‌زمینه

μ_0 = میانگین کلاس پیشینه

μ_1 = میانگین کلاس پیش‌زمینه



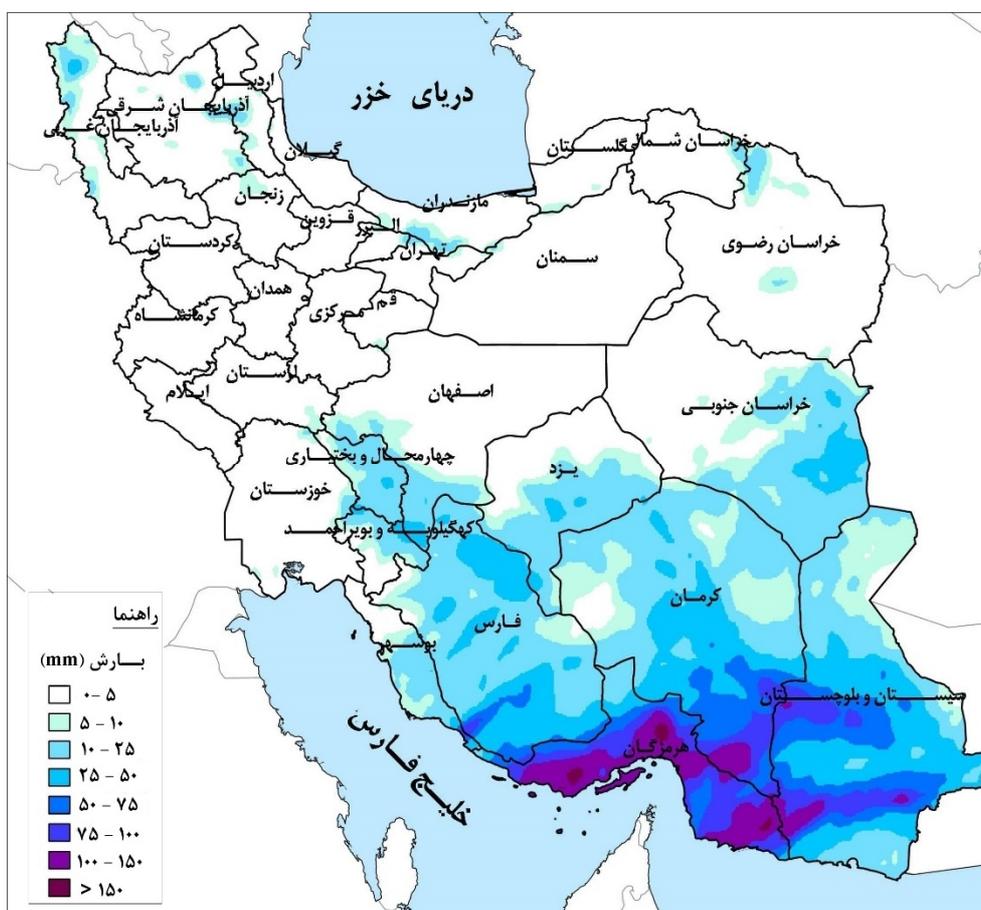
پیکسل به پیکسل‌های معلوم در واقعیت زمینی با پیکسل‌های متناظر در نتایج است [۴۵]. در این تحقیق اعتبار سنجی گستره سیلاب را به صورت خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) و ضریب همبستگی (R^2) نشان داده شد. RMSE حاصل تفاوت میان مقدار پیش‌بینی شده با مقدار واقعی است. هر چه این مقدار به صفر نزدیک‌تر باشد مدل با دقت بیشتری پیش‌بینی را انجام داده است. R^2 خط رگرسیون بین حاصل پردازش بین دو دسته داده است. در صورتی که رابطه بین این دو دسته داده به ۱ نزدیک شود، رابطه قوی‌تری بین داده‌ها برقرار است [۴۶].

۵- یافته‌ها و بحث

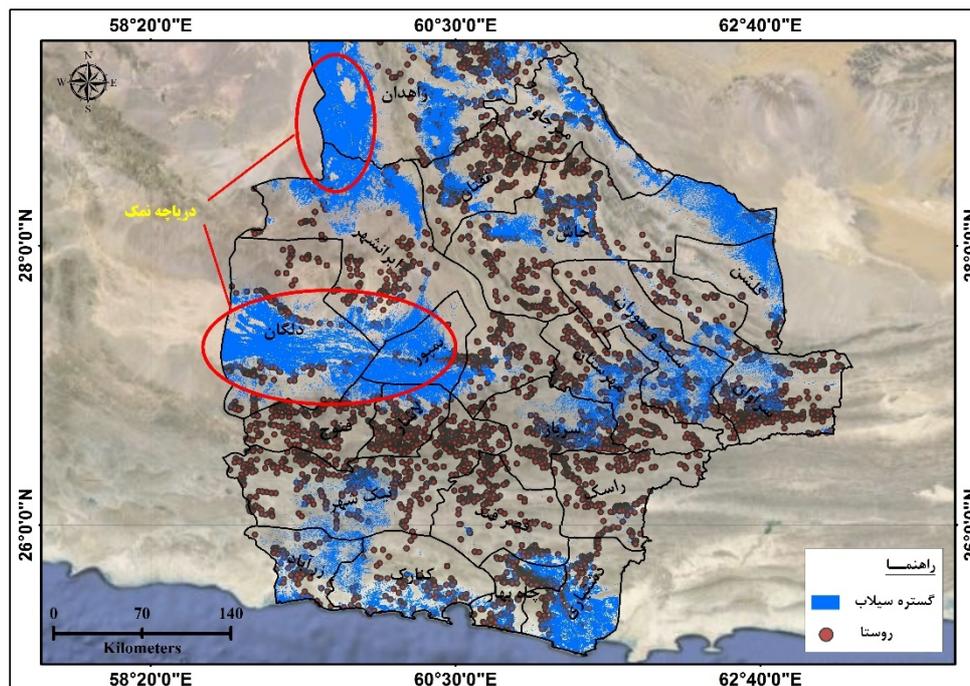
۵-۱- ارزیابی دقت

برای ارزیابی دقت نقشه گسترش سیلاب از بارش

تجمعی آمار برای روزهای ۲۶ الی ۳۱ فروردین‌ماه ۱۴۰۳ حاصل از ایستگاه‌های باران‌سنجی استفاده شد. با توجه به اینکه بارش با شدت بالا و مدت‌زمان کوتاه از عوامل اصلی سیلاب است [۴۷،۲۵]. از این‌رو در بعضی از نقاط استان سیستان و بلوچستان میزان بارندگی در بازه زمانی کوتاه بیش‌تر از ۱۵۰ میلی‌متر است و سیلاب صورت گرفته و پهنه‌هایی از منطقه مطالعاتی را تحت سیطره خود قرار داده است شکل (۳). نتایج نشان داد که مقدار R^2 و RMSE به ترتیب ۰/۹۲ و ۰/۰۶ است. این مقادیر نشان دادند که تصاویر سار و روش آستانه‌گذاری خودکار اوتسو بسیار دقیق بوده و از نتایج آنها می‌توان به منظور تجزیه و تحلیل سایر مراحل استفاده نمود.



شکل ۳- مقادیر تجمعی بارش برای روزهای ۲۶ الی ۳۱ فروردین‌ماه ۱۴۰۳



شکل ۴- گستره سیلاب شهرستان‌های استان سیستان و بلوچستان

۲-۵- پایش گستره سیلاب استان

با توجه به اینکه ماهواره سنتینل-۱ سار در هر نوار برداشت خود از سطح زمین، توانایی تصویربرداری از عرض ۱۵۰ کیلومتر را دارد [۴۸]، استان سیستان و بلوچستان که عرض آن بیشتر از ۱۵۰ کیلومتر است، در یک نوار برداشت قرار نمی‌گیرد؛ بنابراین، تصاویر قبل و بعد از سیلاب در دو تاریخ متفاوت انتخاب شدند تا بتوانند تمامی محدوده استان را پوشش دهند.

بدین ترتیب، تصاویر سنتینل-۱ سار قبل از وقوع سیلاب (۱۴۰۲/۰۸/۰۲ تا ۱۴۰۲/۰۸/۰۸) و همچنین و هم‌زمان و بعد از وقوع سیلاب (۱۴۰۳/۰۱/۲۶ و ۱۴۰۳/۰۲/۰۲) انتخاب شدند تا به‌طور کامل گستره سیلاب بررسی شود. در نهایت، با اعمال آستانه‌گذاری خودکار به روش اتسو بر روی تصاویر سنتینل-۱ سار، گستره تحت تأثیر سیلاب در این استان استخراج شد (شکل ۴).

همان‌طور که از شکل (۴) پیداست گستره سیلاب شهرستان‌های زراباد، نیک‌شهر، کنارک، چابهار، دشتیاری، سرباز، مهرستان، سیب،

سراوان، گلشن، خاش، میرجاوه، ایران‌شهر و زاهدان را تحت تأثیر قرار داده است که در این میان تعدادی از روستای شهرستان زراباد، چابهار، نیک‌شهر سیب، سراوان، مهرستان و خاش به‌صورت کامل محاصره سیلاب قرار دارند. این نتایج با گزارش‌های پژوهشکده سوانح طبیعی که درباره سیلاب فروردین‌ماه منتشر شده، همخوانی دارد. آنها اشاره کردند که پس از وقوع سیلاب، ارتباطات مخابراتی ۶۰ روستا در شهرستان‌های زراباد، کنارک و چابهار به دلیل مشکلات فیبر نوری قطع شده و همچنین سه هزار هکتار از اراضی دیم زیر کشت سورگوم و ماش دچار آسیب شده‌اند. علاوه بر این، پنج واحد مرغداری با ظرفیت ۸۰ هزار قطعه مرغ و جوجه و بیش از ۶۰۰ بندساز و ۱۰ آب‌بند به دلیل تخریب و زیر آب رفتن، خسارتی بالغ بر ۵ هزار میلیارد ریال را متحمل شده‌اند. همچنین، بخشی از راه‌های ارتباطی در شهرستان‌های سراوان، مهرستان، سیب، سوران و گلشن نیز مسدود شده‌اند [۴۹].

یکی از پیامدهای اصلی این سیلاب، احیای

دریاچه‌های نمک در شهرستان‌های دلگان، بمپور و بخش غربی زاهدان است که در شکل (۴) نشان داده شده است. این دریاچه‌های نمکی قبل از وقوع سیلاب در تصاویر راداری خالی از آب بودند و دارای پوشش نمکی و در کلاس غیرآبی طبقه‌بندی شده بودند؛ اما پس از سیلاب، در تصاویر راداری، این دریاچه‌ها پر از آب شده و به‌عنوان پهنه آبی طبقه‌بندی شدند.

علاوه بر این نتایج این پژوهش با مطالعات [۵۰] و [۵۱] که در سیلاب آق‌قلا را بررسی نموده، همچنین با تحقیقات [۳۰] و [۵۲] همخوانی زیادی دارد. در این تحقیقات، استفاده از تصاویر راداری برای پایش گستره سیلاب پیشنهاد شده بود.

۶- نتیجه‌گیری

مردم در سراسر دنیا هر روز با مخاطراتی روبه‌رو می‌شوند که منجر به مرگ، تخریب و اختلال در فعالیت‌های آنها در درازمدت یا کوتاه‌مدت می‌شود [۵۹،۶۰]. سیلاب‌ها از مهم‌ترین مخاطراتی هستند که بسته به شدت بارندگی‌ها و سایر عوامل مؤثر سبب وارد آمدن خسارات زیادی به نواحی شهری و روستایی می‌شوند. برآورد سریع و دقیق مناطق سیل‌زده می‌تواند اطلاعات ارزشمند و به موقعی را در هنگام وقوع سیل ارائه دهد. روش‌های متنوعی برای پایش سیلاب از جمله؛ روش‌های مبتنی بر مدل‌سازی‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی وجود دارد.

با استفاده از این مدل‌ها، داده‌هایی فراهم می‌شود که به کمک آن‌ها می‌توان در لحظه وقوع سیلاب کنترل کرده و خطرات ناشی از آن را کاهش داد. با این حال، این روش‌ها معمولاً زمان‌بر هستند و دقت کافی را تنها زمانی ارائه می‌دهند که مدل به‌خوبی کالیبره شده و قابلیت اجرایی داشته باشد [۵۴،۵۳]. به همین دلیل، داده‌های سنجش‌ازدور جایگزینی مناسبی برای این مدل‌ها

بوده و فاقد مشکلات مذکور هستند [۵۵]. یکی از معایب استفاده از داده‌های اپتیکی سنجش‌ازدور، وجود پوشش ابر در آسمان است که مانع از تصویربرداری ماهواره از سطح زمین می‌شود. برای حل این مشکل، می‌توان از تصاویر راداری سار بهره برد، زیرا این تصاویر در هر شرایط آب و هوایی و در هر زمان از شبانه‌روز قادر به تصویربرداری از سطح زمین هستند و اطلاعات ارزشمندی را برای کاربران فراهم می‌کنند؛ بنابراین در این تحقیق، از اعمال آستانه‌سازی اوتسو بر روی تصاویر سنتینل-۱ سار در سامانه تحت وب GEE مناطق تحت گستره سیلاب فروردین‌ماه ۱۴۰۳ استان سیستان و بلوچستان پایش شد.

نتایج حاکی از آن بود در روزهای پایانی فروردین‌ماه ۱۴۰۳، بیش از ۵۵ درصد بارش کل سال آبی استان سیستان و بلوچستان، تنها در ۳ روز اتفاق افتاد. با توجه به شرایط و ویژگی‌های محیطی از جمله وضعیت ناهمواری‌ها، جنس و بافت خاک، همچنین مصالح به‌کاررفته در ساخت‌وساز منازل مسکونی و غیره، این بارش‌ها وضعیت پیچیده‌ای را در استان ایجاد کرد. به‌گونه‌ای که در شهر کنارک طی ۲۴ ساعت، ۲۴۷ میلی‌متر بارندگی ثبت شده است. این میزان ۱۴۰ میلی‌متر بیش از رکورد قبلی این شهر است که در سال ۱۳۸۶ و در اثر طوفان حاره‌ای گونو به ثبت رسیده بود. در زراباد نیز شاهد بارشی بی‌سابقه بودیم؛ ۲۷۰ میلی‌متر باران در طول یک روز که ۲۰۰ میلی‌متر از رکورد پیشین این شهر در سال ۱۳۷۶ بیش‌تر است. این حجم از بارش در یک شبانه‌روز، از زمان راه‌اندازی اولین ایستگاه هواشناسی در سواحل جنوب سیستان و بلوچستان - یعنی حدود نیم‌قرن پیش - تاکنون بی‌سابقه بوده است.

ایستگاه هواشناسی دریایی چابهار هم شاهد رکوردشکنی جدیدی بود: ۶۴۱ میلی‌متر بارندگی

در ۲۴ ساعت که برای اولین بار در پنجاه سال اخیر اتفاق افتاده است. علاوه بر این سرریز کردن سدها از جمله سد کهیر با ظرفیت ۳۴۳ میلیون مترمکعب، سد خیرآباد با ظرفیت ۲۷ میلیون مترمکعب و هجوم سیلاب به واحدهای دامداری سبک و سنگین، از دیگر خسارات این سیلاب است. همچنین این سیلاب در شهرستان نیک شهر موجب مسدود شدن راه ۴۵۱ روستا و ۴۷۰ مورد خاموشی فشار ضعیف و مسیرهای حمل و نقلی مهم از جمله نیک شهر به بنت، بنت به دستگرد و توتان و مهمدان و چاهان به زرآباد و مسیر ارتباطی قصرقند به نیک شهر نیز قطع شد [۴۹]؛ که به طور کلی این گزارش ها با نتایج این تحقیق که گستره سیلاب شهرستان های زرآباد، نیک شهر، کنارک، چابهار، دشتیاری، سرباز، مهرستان، سیب، سراوان، گلشن، خاش، میرجاوه، ایرانشهر و زاهدان را در بر گرفته همخوانی داشته و در یک راستا هستند.

نتیجه گیری هایی حاصله از این تحقیق شامل:
(۱) امکان دریافت و بازیابی داده های سنتینل-۱ سار در هر شرایط آب و هوایی وجود دارد؛ بنابراین، پتانسیل خوبی برای پایش مناطق تحت سیطره سیلاب در شرایط ابرناکی دارد.
(۲) روش آستانه گذاری اوتسو قادر است به طور خودکار پیکسل های آب و غیرآبی را بدون نیاز به پارامتر وابسته به کاربر (نقاط مرجع از زمین برخلاف روش های یادگیری ماشین) تفکیک کند [۵۶].

(۳) سامانه تحت وب GEE را می توان برای پردازش و تجزیه و تحلیل نقشه های سیلاب بدون نیاز به دانلود داده ها یا سخت افزاری با قدرت محاسباتی بالا به کار برد. از آنجایی که روش اوتسو در سامانه GEE پیاده سازی شده است، می توان نقشه های سیلاب در مناطق دیگر در مدت زمان کوتاهی و بدون نیاز به نقاط نمونه زمین، تولید کرد [۵۴].

به طور کلی استفاده از داده های راداری سار محدودیت های زمانی و مکانی ندارند و مناطق تحت سیطره سیلاب را با دقت بالا استخراج می کند. همچنین استفاده از سامانه GEE سرعت محاسبات را افزایش می دهد و یکی از جدیدترین و مؤثرترین روش ها در مطالعه سیلاب به شمار می رود. به گونه ای که می توان جزئیات دقیق سیلاب ها را مطالعه و حد گسترش آن را مشخص کرد تا در برنامه ریزی های آتی بتوان از آن استفاده کرد. در مطالعه ای به منظور ارزیابی آسیب پذیری سیلاب در منطقه ۱ شیراز، از روش بهترین- بدترین مبتنی بر GIS برای تحلیل معیارهایی نظیر تراکم جمعیت، کاربری اراضی و شیب استفاده شد. نتایج نشان داد که تراکم جمعیت مهم ترین عامل آسیب پذیری است و نواحی شمالی و شمال شرقی منطقه به دلیل تراکم بالای جمعیت و نفوذ پذیری کم خاک، بیشترین پتانسیل خطر را دارند. [۶۰].

در پژوهشی به منظور پهنه بندی خطر سیلاب در حوضه رضی چای، با استفاده از مدل تصمیم گیری چند معیاره ویکور (VIKOR) و تحلیل هشت عامل مؤثر، مشخص شد که شیب، ارتفاع و کاربری اراضی مهم ترین عوامل هستند. نتایج نشان داد که حدود ۱۶ درصد از مساحت حوضه، عمدتاً در نواحی شمال و شمال غربی، در طبقه بسیار پرخطر قرار دارد که لزوم اقدامات مدیریتی و حفاظتی را ایجاب می کند [۶۲].

۷- قدردانی

در پایان از دانشگاه بوعلی سینا برای حمایت مالی از این پژوهش، تقدیر و تشکر به عمل می آید.

۸- منابع

1. Constantine, C. (2017). Economic structures, institutions and economic performance. *Journal of Economic Structures*, 6(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s40008-017-0063-1>
2. Rentschler, J., Salhab, M., & Jafino, B. A.

2011. Satellite remote sensing and hydrologic modeling for flood inundation mapping in Lake Victoria basin: Implications for hydrologic prediction in ungauged basins. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 49 (1): 85–95. <https://doi.org/10.1109/tgrs.2010.2057513>
14. Gleason, C.J., Smith, L.C., and Lee, J. 2014. Retrieval of river discharge solely from satellite imagery and at-manystations hydraulic geometry: Sensitivity to river form and optimization parameters. *Water Resour. Res.* 50 (12): 9604–9619. <https://doi.org/10.1002/2014wr016109>
15. Carroll, M.L., Townshend, J.R., DiMiceli, C.M., Noojipady, P., Sohlberg, R.A. 2009. A new global raster water mask at 250 m resolution. *Int. J. Digit. Earth.* 2 (4), 291–308. <https://doi.org/10.1080/17538940902951401>
16. Joyce KE, Belliss SE, Samsonov SV, McNeill SJ, Glassey PJ. A review of the status of satellite remote sensing and image processing techniques for mapping natural hazards and disasters. *Prog Phys Geogr Earth Environ.* 2009 Apr;33(2):183–207. <https://doi.org/10.1177/0309133309339563>
17. Li Y, Martinis S, Wieland M, Schlaffer S, Natsuaki R. Urban Flood Mapping Using SAR Intensity and Interferometric Coherence via Bayesian Network Fusion. *Remote Sens.* 2019 Sep 25;11(19):2231. <https://doi.org/10.3390/rs11192231>
18. Manjusree P, Prasanna Kumar L, Bhatt CM, Rao GS, Bhanumurthy V. Optimization of threshold ranges for rapid flood inundation mapping by evaluating backscatter profiles of high incidence angle SAR images. *Int J Disaster Risk Sci.* 2012 Jun;3(2):113–22. <https://doi.org/10.1007/s13753-012-0011-5>
19. Shahabi H, Shirzadi A, Ghaderi K, Omidvar E, Al-Ansari N, Clague JJ, et al. Flood Detection and Susceptibility Mapping Using Sentinel-1 Remote Sensing Data and a Machine Learning Approach: Hybrid Intelligence of Bagging Ensemble Based on K-Nearest Neighbor Classifier. *Remote Sens.* 2020 Jan 13;12(2):266. <https://doi.org/10.3390/rs12020266>
20. Psomiadis E. Flash flood area mapping utilising SENTINEL-1 radar data. 2016. <https://doi.org/10.1117/12.2241055>
21. Peter L, Matjaž M, Krištof O. Detection of Flooded Areas using Machine Learning Techniques: Case Study of the Ljubljana Moor Floods in 2010. *Disaster Adv.* 2013;6:9. <https://doi.org/10.1117/1.jrs.7.073564>
22. Cao H, Zhang H, Wang C, Zhang B. Operational Flood Detection Using Sentinel-1 SAR Data over Large Areas. *Water.* 2019 Apr 16;11(4):786. <https://doi.org/10.3390/w11040786>
- (2022). Flood exposure and poverty in 188 countries. *Nature communications*, 13(1), 3527. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-30727-4>
3. Bailey, A. J., Romeu, R. J., & Finn, P. R. (2021). The problems with delay discounting: A critical review of current practices and clinical applications. *Psychological Medicine*, 51(11), 1799-1806. <https://doi.org/10.1017/s0033291721002282>
4. Lehmkuhl, F., & Stauch, G. (2023). Anthropogenic influence of open pit mining on river floods, an example of the Blessem flood 2021. *Geomorphology*, 421, 108522. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2022.108522>
5. Lin, S. S., Zhang, N., Xu, Y. S., & Hino, T. (2020). Lesson learned from catastrophic floods in western japan in 2018: Sustainable perspective analysis. *Water*, 12(9), 2489. <https://doi.org/10.3390/w12092489>
6. Kelly, R., & Kelly, U. (2023). Readiness assessment in flood risk management and climate adaptation: A mechanism for social innovation?. *Journal of Flood Risk Management*, e12915. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12915>
7. Winsemius, H. C., Aerts, J. C., Van Beek, L. P., Bierkens, M. F., Bouwman, A., Jongman, B., ... & Ward, P. J. (2016). Global drivers of future river flood risk. *Nature Climate Change*, 6(4), 381-385. <https://doi.org/10.1038/nclimate2893>
8. Nicholls, R. J., Lincke, D., Hinkel, J., Brown, S., Vafeidis, A. T., Meyssignac, B., ... & Fang, J. (2021). A global analysis of subsidence, relative sea-level change and coastal flood exposure. *Nature Climate Change*, 11(4), 338-342. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-00993-z>
9. McDermott, T. K. (2022). Global exposure to flood risk and poverty. *Nature Communications*, 13(1), 3529. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-30725-6>
10. Rosmadi, H. S., Ahmed, M. F., Mokhtar, M. B., & Lim, C. K. (2023). Reviewing challenges of flood risk management in Malaysia. *Water*, 15(13), 2390. <https://doi.org/10.3390/w15132390>
11. Ruzza, G., Guerriero, L., Grelle, G., Guadagno, F.M. and Revellino, P. 2019. Multi-Method Tracking of Monsoon Floods Using Sentinel-1 Imagery. *Water*, 11(11): 1-17. <https://doi.org/10.3390/w11112289>
12. Armenakis C, Du E, Natesan S, Persad R, Zhang Y. Flood Risk Assessment in Urban Areas Based on Spatial Analytics and Social Factors. *Geosciences.* 2017 Nov 27; 7(4):123. <https://doi.org/10.3390/geosciences7040123>
13. Khan, S.I., Hong, Y., Wang, J., Yilmaz, K.K., Gourley, J.J., Adler, R.F., and Irwin, D.

T., Coffman, R.A., Thriwikramji, K.P., Rani, V.R., and Keerthy, S. 2019. Satellite-based assessment of the August 2018 flood in parts of Kerala, India. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10(1): 758-767. <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1543212>

۳۳- رضایی، م؛ و سرگز، ا. ۱۳۸۹. بررسی اثرات اجرای تغذیه مصنوعی بر روی آبخوان دشت گوهرکوه. *مجله علوم زمین*، ۱۹ (۷۶): ۹۹-۱۰۶.

34. McCormack, T., Campaña, J., & Naughton, O. (2022). A methodology for mapping annual flood extent using multi-temporal Sentinel-1 imagery. *Remote Sensing of Environment*, 282, 113273. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113273>

35. Agnihotri AK, Ohri A, Gaur S, Shivam, Das N, Mishra S. Flood inundation mapping and monitoring using SAR data and its impact on Ramganga River in Ganga basin. *Environ Monit Assess.* 2019 Dec;191(12):760. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7903-4>

36. Vilches, J.P. 2013. March. Detection of Areas Affected by Flooding River using SAR images. In Seminar: Master in Space Applications for Emergency Early Warning and Response (p. 40). <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-2-w13-1927-2019>

37. Filippini F. Sentinel-1 GRD Preprocessing Workflow. *Proceedings.* 2019 Jun 4;18(1):11. <https://doi.org/10.3390/eecs-3-06201>

38. Amitrano, Donato, Gerardo Di Martino, Alessio Di Simone, and Pasquale Imperatore. "Flood detection with SAR: A review of techniques and datasets." *Remote Sensing* 16, no. 4 (2024): 656. <https://doi.org/10.3390/rs16040656>

39. Veci L, Prats-Iraola P, Scheiber R, Collard F, Fomferra N, Engdahl M. The Sentinel-1 Toolbox. 2014. 1 p. <https://doi.org/10.21105/joss.03337>

40. Shen X, Anagnostou EN, Allen GH, Robert Brakenridge G, Kettner AJ. Near-real-time non-obstructed flood inundation mapping using synthetic aperture radar. *Remote Sens Environ* V 221. 2019;302-15. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.11.008>

41. Du, Y., Yuan, H., Jia, K., & Li, F. (2023). Research on threshold segmentation method of two-dimensional Otsu image based on improved sparrow search algorithm. *IEEE Access.* <https://doi.org/10.1109/access.2023.3293191>

42. Clement MA, Kilsby CG, Moore P. Multi-temporal synthetic aperture radar flood mapping using change detection: Multi-temporal SAR flood mapping using change detection. *J Flood Risk Manag.* 2018 Jun;11(2):152-68.

23. Haq M, Akhtar M, Muhammad S, Paras S, Rahmatullah J. Techniques of Remote Sensing and GIS for flood monitoring and damage assessment: A case study of Sindh province, Pakistan. *Egypt J Remote Sens Space Sci.* 2012 Dec;15(2):135-41. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2012.07.002>

24. Kordelas G, Manakos I, Aragonés D, Díaz-Delgado R, Bustamante J. Fast and Automatic Data-Driven Thresholding for Inundation Mapping with Sentinel-2 Data. *Remote Sens.* 2018 Jun 8;10(6):910. <https://doi.org/10.3390/rs10060910>

۲۵- محمدنژاد آروق، وحید. (۱۴۰۰). تهیه نقشه گسترش سیلاب با استفاده از تصاویر راداری سنتینل ۱. *مطالعه موردی: سیل فروردین ۱۳۹۸، شهرستان پلدختر.* *مجله آمایش جغرافیایی فضا*. ۱۱(۴۱)، ۶۹-۸۰. doi: 10.30488/gps.2020.226387.3224

۲۶- تراهی، علی اصغر. حسن سنی مقدم. ۱۳۹۸. تعیین گستره سیل با استفاده از داده‌های سنجنده OLI مطالعه موردی: سیل سال ۱۳۹۵ (دزفول)، *مجله محیط زیست و مهندسی آب*، شماره ۵، صص ۳۵-۲۴. <https://civilica.com/doc/871525>

۲۷- موسوی، محمد. شهرام روستایی و هاشم رستم زاده. ۱۳۹۷. ارزیابی منطقه‌ای مخاطره سیل در مقیاس زیر حوضه با استفاده از سنجش از دور و مدل منطق فازی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز مرند)، *مجله آکو هیدرولوژی*، شماره ۳، صص ۸۴۱-۸۲۹.

۲۸- شاه حسینی، رضا. عبدالرضا صفری و سعید همایونی. ۱۳۹۷. پایش و برآورد خسارات ناشی از سیل به کمک آشکارسازی تغییرات شیء‌گرا و تلفیق تصاویر راداری و نوری، *نشریه علوم و فنون نقشه برداری*، شماره ۱، صص ۲۵۷-۲۳۹.

۲۹- یوردخانی، محمد. سعید قره‌چلو و غلامرضا شوبیری. ۱۳۹۶. مدیریت سیلاب با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سامانه اطلاعات مکانی (مطالعه موردی: منطقه پاکدشت)، *شانزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران*، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.

30. Tiwari, V., Kumar, V., Matin, M. A., Thapa, A., Ellenburg, W. L., Gupta, N., & Thapa, S. (2020). Flood inundation mapping-Kerala 2018; Harnessing the power of SAR, automatic threshold detection method and Google Earth Engine. *PLoS One*, 15(8), e0237324. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237324>

31. Singha, M., Dong, J., Sarmah, S., You, N., Zhou, Y., Zhang, G., ... & Xiao, X. (2020). 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*, 166, 278-293. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.06.011>

32. Vishnu, C.L., Sajinkumar, K.S., Oommen,

54. Mehravar, S., Razavi-Termeh, S. V., Moghimi, A., Ranjgar, B., Foroughnia, F., & Amani, M. (2023). Flood susceptibility mapping using multi-temporal SAR imagery and novel integration of nature-inspired algorithms into support vector regression. *Journal of Hydrology*, 617, 129100. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129100>
55. Tran, K. H., Menenti, M., & Jia, L. (2022). Surface water mapping and flood monitoring in the Mekong Delta using sentinel-1 SAR time series and Otsu threshold. *Remote Sensing*, 14(22), 5721. <https://doi.org/10.3390/rs14225721>
56. Moharrami, M., Javanbakht, M., & Attarchi, S. (2021). Automatic flood detection using sentinel-1 images on the google earth engine. *Environmental monitoring and assessment*, 193(5), 248. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09037-7>
57. Sadiq, R., Akhtar, Z., Imran, M., & Ofli, F. (2022). Integrating remote sensing and social sensing for flood mapping. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 25, 100697. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100697>
58. Tan, J., Tang, Y., Liu, B., Zhao, G., Mu, Y., Sun, M., & Wang, B. (2023). A self-adaptive thresholding approach for automatic water extraction using Sentinel-1 SAR imagery based on OTSU algorithm and distance block. *Remote Sensing*, 15(10), 2690. <https://doi.org/10.3390/rs15102690>
- 59- تاجیک، فاطمه، رحمان زاده، سید علی، عقیلی، سید وحید و نعمتی انارکی، داود. (۱۴۰۳). تحلیل مقایسه‌ای نقش تلویزیون و شبکه‌های اجتماعی در مدیریت بحران (سیل). مدیریت بحران. ۱۳(۲)، ۱۷-۴۲.
- ۶۰- موسوی، میر سعید، اربابی بستان‌آباد، سعید، اخگری، رؤیا و انتصاری، فرزاد. (۱۴۰۳). مدیریت و برنامه‌ریزی پس از بحران زلزله به‌منظور اسکان موقت با استفاده از تکنیک پراولونگ و GIS مطالعه موردی شهر بستان‌آباد. مدیریت بحران. ۱۳(۴)، ۳۶-۵۱.
- ۶۱- حسینی، سید محمد، قنبری نسب، علی، عسگری، امید و هاشمی فسایی، ابراهیم. (۱۴۰۱). ارزیابی آسیب‌پذیری شهری در برابر خطر سیلاب با استفاده از روش بهترین و بدترین مبتنی بر GIS مدیریت بحران، ۱۱(۱۲)، ۱-۱۰.
- ۶۲- عابدینی، موسی، پیروزی، الناز، آقایی، لیلیا. (۱۴۰۱). پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در حوضه آبریز رضی چای با استفاده از مدل ویکور. مدیریت بحران. ۱۱(۲)، ۱۳-۱.
- <https://doi.org/10.1111/jfr3.12303>
43. Afifi, A. S., & Magdy, A. (2024). Flood monitoring in an Giang Province, Vietnam using global flood mapper and Sentinel-1 SAR. *Remote Sensing Letters*, 15(9), 883-892. <https://doi.org/10.1080/2150704x.2024.2388846>
44. Tian, S.; Zhang, X.; Tian, J.; Sun, Q. Random Forest Classification of Wetland Landcovers from Multi-Sensor Data in the Arid Region of Xinjiang, China. *Remote Sens*. 2016, 8, 954. <https://doi.org/10.3390/rs8110954>
45. Manuel, A., & Blanco, A. C. (2023). Transformation of the normalized difference chlorophyll index to retrieve chlorophyll-a concentrations in Manila Bay. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, 217-221. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xxlviii-4-w6-2022-217-2023>
46. Zhao, D., Huang, J., Li, Z., Yu, G., & Shen, H. (2024). Dynamic monitoring and analysis of chlorophyll-a concentrations in global lakes using Sentinel-2 images in Google Earth Engine. *Science of The Total Environment*, 912, 169152. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169152>
- ۴۷- قهرمان کاوه، زنگنه اسدی محمدعلی. تعیین مناطق مستعد سیلاب با استفاده تصاویر راداری سنتینل-۱ (مطالعه موردی، سیلاب فروردین ۱۳۹۸، رودخانه کشکان، استان لرستان). تحلیل فضایی مخاطرات محیطی.
48. Torres, R., Snoeij, P., Geudtner, D., Bibby, D., Davidson, M., Attema, E., ... & Rostan, F. (2012). GMES Sentinel-1 mission. *Remote sensing of environment*, 120, 9-24. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.05.028>
- ۴۹- پژوهشکده سوانح طبیعی، گزارش سیلاب فروردین‌ماه ۱۴۰۳ استان سیستان و بلوچستان و بلوچستان، <https://ndri.ac.ir/uploads/article/flood-sistanvalalouchestan-1403.pdf?t=1709794412>
- ۵۰- کیانی سارا، کاویانی مراد، توسلی امیرعلی. پایش زمانی- مکانی تغییرات پلایای دریاچه نمک و اثرات زیست‌محیطی آن بر نواحی پیرامونی. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. ۱۴۰۲؛ ۱۰ (۴): ۱۶۳-۱۸۲.
- ۵۱- ابطحی، مرتضی و سیف، عبدالله و خسروشاهی، محمد، ۱۳۹۳، بررسی روند دما و بارش در حوضه دریاچه نمک کاشان طی نسیم سده‌ی گذشته، <https://civilica.com/doc/1632692>.
- ۵۲- سلیمانی، کریم و درویشی، شادمان و زاغی، هادی. ۱۴۰۳، بررسی خطر سیل ۱۳۹۸ شهر آق‌قلا با استفاده از سنجش‌ازدور و مدل‌های تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره.
- ۵۳- عمادالدین، سمیه و محمدقاسمی، مسعود. (۱۴۰۰). پایش نقشه‌های گسترش سیلاب با استفاده از تصاویر راداری (SAR) (مطالعه موردی: سیل فروردین ۱۳۹۸، شهرستان آق‌قلا)، پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی.