

Original Article



Flood risk Monitoring of June 1402 in Zanjan Province Using Sentinel-1 Images

Abdullah Faraji & Nafiseh Rahimi*

Affiliation

Dep. of Geography, Faculty
of Literature and Humanities,
Zanjan University, Zanjan,
Iran

ABSTRACT

Introduction: Proper flood management requires the exact location and time of flooding so that crisis management planners can reduce the risk of flooding with proper management by providing solutions. Studies in this field have been carried out by researchers with different methods such as the use of Sentinel 1 and Sentinel 2 satellite gauges and it has been proven that flood monitoring with the help of remote sensing is a suitable tool for the quick direction of the flooded area. It is used in the early management of natural disasters, especially floods. The purpose of this study is to prepare a map of the extent of water caused by the flood of June Zanjan 1402 with the help of Sentinel 1 images. This map can be used in the management and planning of land users in flood plains, raising the level of awareness and warning people about flood spots. In the region, the development of flood risk reduction plans, the preparation of comprehensive flood risk management plans, and the preparation of guidelines for dealing with and resilience to critical conditions are contracted.

Materials and Methods: The research method was carried out in steps: in the first step it was collected with the help of Sentinel-1, then in the second step: SAR data were pre-processed. The third step: the images were post-processed in the ENVI environment, with the help of the tree algorithm, and in the last step: the images were converted into vector files.

Results and Discussion: Examining the changes in flooding after seven days of flooding in the region shows that the highest water level in the northern regions of the province is in the vicinity of the main and sub-rivers of the Qezal-Ozen watershed, especially in Tarem city. It was land with 312/067192, after which more number of polygons were seen in the north of Zanjan city in the area of Qezl-Ozen aquifer basin, Lower Zanjanrud, Pare, Ghani-Biglo, higher aquifer with the area of 150/713193, which these aquifers has taken more. It has occurred under the impact of tectonics in the region around Qezl-Ozen river. Most of the flood water was seen in Mahenshan, in the northern part of Mahenshan city, in Mahenshan and Uriad divisions with 375 polygons and the extent of flood water was 26/618086. In Ijrour city in Zarin Abad, in the direction of the Ijrour river, most of the flood water was in the direction of the Ijrour river with the extent of 21/06405 and with flooding of 24 polygon centers, in Abhar city, the water is from the flood in Soltanieh center in Zangan. The river (one of the branches of the Qezal Ozen River) with an area of 96 lands was seen as a face with 547 flood polygons around the river. In the flood of June 1402 in Zanjan province, the height of the area was a key factor in controlling the direction of the flood and the persistence of water on the ground (5-b). The amount of flood water receding at altitudes less than 500 meters was very low compared to higher altitudes, in such a way that water retention was not seen at altitudes above 1000 meters, in the high places of Zanjan such as parts of Tarem, Zanjan and Mahenshan after Atmospheric precipitation had started to flow faster from the low-lying and flat areas, so that after seven days of the flood, water retention was not seen in these heights. While at altitudes of less than 500 meters, which mainly included the low altitude areas of the Qezl-Ozen catchment and its main and tributary rivers, most of the runoff was collected in the topographic holes of Tarem and Zanjan, in these low-lying areas. The region caused widespread flooding and flooding even in the population centers of these regions.

Conclusion: In the upcoming research, in order to measure the extent of water caused by the flood and to prepare a flood zoning map for the month of June in Zanjan province and to evaluate the factors affecting it such as height and vegetation, Sentinel-1 images were prepared for before and after the flood. It was processed and classified into three classes and analyzed, and it was found that the largest amount of flood that entered Zanjan province was from the north of the province, especially Tarem city. Also, the study of the height factor in the flooding of the region showed that the heights of less than 500 meters, which mainly included the sub-basins of Qezl-Ozen and the rivers around it, had a high potential for flooding. Flooding also showed that the grassland vegetation has increased the flood potential of these areas due to insufficient permeability of rainfall in these areas.

Keywords: Zanjan province, Monitoring, Flood, Sentinel-1, SNAP.

Citation:

Faraji, A., Rahimi, N., Flood
risk Monitoring of June 1402
in Zanjan Province Using
Sentinel-1 Images, Iran J
Remote Sens GIS. 17(4): 79-92.

* Corresponding Author: rahimi.nafiseh2@gmail.com
DOI: <https://doi.org/10.48308/gisj.2024.234929.1210>

Received: 2024.02.27
Accepted: 2024.10.16



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.



پایش خطر سیل خرداد ۱۴۰۲ استان زنجان با استفاده از تصاویر سنتینل-۱

عبدالله فرجی و نفیسه رحیمی^{۱۵۰}

سمت

گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

چکیده

سابقه و هدف: مدیریت مناسب سیل نیازمند دانستن مکان و زمان دقیق وقوع آن است تا برنامه‌ریزان مدیریت بحران، با اقدامات مدیریتی مناسب و از طریق بیان راهکارها، بتوانند خطرپذیری سیل را کاهش دهند. در این زمینه، محققان مطالعات گوناگونی انجام داده‌اند و از روش‌های متفاوتی، همچون به‌کارگیری سنجنده‌های ماهواره‌ای سنتینل-۱ و سنتینل-۲، بهره برده‌اند. طبق این مطالعات ثابت شده است که پایش سیل، به کمک سنجش از دور، ابزاری مناسب برای استخراج سریع منطقه سیل‌زده است و می‌توان آن را در مدیریت زودهنگام بلایای طبیعی، به‌ویژه سیل، به کار برد. از این‌رو هدف این مطالعه تهیه نقشه وسعت آب ناشی از سیلاب خرداد زنجان در ۱۴۰۲، با کمک تصاویر سنتینل-۱ است. این نقشه را می‌توان، در مدیریت و برنامه‌ریزی کاربری اراضی هنگام وقوع سیلاب، افزایش سطح آگاهی عمومی و هشدار دادن به ساکنان نقاط سیل‌خیز در منطقه، توسعه طرح‌های کاهش خطرهای سیلاب، تهیه برنامه‌های جامع مدیریت خطرپذیری سیلاب و دستورالعمل رویارویی و تاب‌آوری در برابر شرایط بحرانی، استفاده کرد.

مواد و روش‌ها: روش پژوهش چندین گام داشت. گام نخست جمع‌آوری داده با کمک سنتینل-۱ و گام دوم پیش‌پردازش داده‌های SAR در محیط SNAP-6 بود. در گام سوم، تصاویر در محیط ENVI، به کمک الگوریتم درخت، پس‌پردازش شد و در گام نهایی، تصاویر به فایل بردار تبدیل شد.

نتایج و بحث: بررسی تغییرات آب‌گرفتگی، پس از گذشت هفت روز از وقوع سیلاب در منطقه، گویای این است که بیشترین وسعت آب‌گرفتگی در مناطق شمالی استان، در مجاورت رودخانه‌های اصلی و فرعی حوضه آبریز قزل‌اوزن و به‌ویژه در شهرستان طارم رخ داده که میزان آن ۳۱۲/۰۶۷۱۹۲ هکتار بوده است. پس از آن، بیشترین میزان آب‌گرفتگی در شمال شهرستان زنجان و محدوده حوضه آبخیز قزل‌اوزن، زنجان‌رود پایین، چاپاره، غنی‌بیگلو با وسعت ۱۵۰/۷۱۳۱۹۳ هکتار دیده شد که بیشتر این آب‌گرفتگی‌ها تحت تأثیر ژئومورفولوژی منطقه در اطراف رودخانه قزل‌اوزن رخ داده بود. در شهرستان ماهنشان، عمده آب ناشی از سیل در بخش شمالی آن شهرستان، از جمله بخش‌هایی از ماهنشان و اورباد، با وسعت آب ۲۶/۶۱۸۰۸۶ هکتار دیده شد. در شهرستان ایجرود نیز در زرین‌آباد، بیشترین وسعت آب ناشی از سیلاب در مسیر رود ایجرود، با وسعت ۲۱/۰۶۴۰۵ هکتار بود. در شهرستان ابهر آب ناشی از سیلاب در مرکز سلطانیه در زنگان‌رود (یکی از شعبه‌های رودخانه قزل‌اوزن) با وسعت ۹۶ هکتار، به‌صورت متمرکز در اطراف رودخانه دیده شد.

طی سیلاب خرداد ۱۴۰۲ در استان زنجان، ارتفاع منطقه عامل مهمی در کنترل حرکت سیلاب و ماندگاری آب روی سطح زمین بود. میزان عقب‌نشینی آب سیلاب، در ارتفاعات، کمتر از ۵۰۰ متر و در مقایسه با ارتفاعات بیشتر، خیلی اندک بود؛ به‌گونه‌ای که در ارتفاع ۱۰۰۰ متر و بیشتر، ماندگاری آب دیده نشد. در نقاط مرتفع زنجان همچون بخش‌هایی از طارم، زنجان و ماهنشان، بعد از وقوع نزولات جوی، آب از مناطق کم‌ارتفاع و مسطح سریع‌تر جریان یافته بود و با گذشت هفت روز از وقوع سیل، ماندگاری آبی در این ارتفاعات دیده نشد؛ در صورتی که در ارتفاعات کمتر از ۵۰۰ متر، اغلب شامل نواحی کم‌ارتفاع حوضه آبریز قزل‌اوزن و رودخانه‌های اصلی و فرعی آن، بیشتر رواناب‌ها در چاله‌های توپوگرافی طارم و زنجان جمع شد. پست بودن این مناطق باعث پخش‌شدگی آب سیلاب و آب‌گرفتگی گسترده‌ای، حتی در مراکز جمعیتی این نواحی شد.

نتیجه‌گیری: در پژوهش پیش رو، به‌منظور سنجش وسعت آب ناشی از سیل و تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب رخ‌داده طی خرداد در استان زنجان و ارزیابی عوامل مؤثر در آن، همچون ارتفاع و پوشش گیاهی، تصاویر سنتینل-۱ متعلق به قبل و پس از وقوع سیل تهیه، پردازش و در سه کلاس، طبقه‌بندی و تحلیل شد. بدین ترتیب مشخص شد که بیشترین حجم سیلاب واردشده به استان زنجان مربوط به شمال استان، به‌ویژه شهرستان طارم، بوده است. همچنین بررسی عامل ارتفاع در سیل‌خیزی منطقه نشان داد ارتفاعات کمتر از ۵۰۰ متر، که اغلب زیرحوضه‌های قزل‌اوزن و رودخانه‌های اطراف آن را دربرمی‌گیرند، پتانسیل چشمگیری در آب‌گرفتگی داشته‌اند. بررسی پوشش سطح زمین در بخش‌های دچار آب‌گرفتگی نیز نشان داد که پوشش گیاهی علف‌زار، به‌دلیل نارسایی در نفوذپذیری نزولات جوی در این مناطق، پتانسیل سیل‌خیزی این نواحی را بیشتر کرده است.

واژه‌های کلیدی: استان زنجان، پایش، سیلاب، سنتینل-۱، SNAP.

استناد:

فرجی، ع.، رحیمی، ن.، پایش خطر سیل خرداد ۱۴۰۲ استان زنجان با استفاده از تصاویر سنتینل-۱، نشریه سنجش از دور و GIS ایران، سال ۱۷، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۴: ۷۹-۹۲.

دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۸

پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۵



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: rahimi.nafiseh2@gmail.com

شناسه دیجیتال مقالات: <https://doi.org/10.48308/gisj.2024.234929.1210>

۱- مقدمه

طبق بررسی دفتر کاهش خطر بلایای طبیعی سازمان ملل، سیل‌ها متداول‌ترین و پرهزینه‌ترین بلایای طبیعی در سراسر جهان‌اند و با سهم ۴۳ درصدی از حوادث و بلایای ثبت‌شده در جهان، زندگی بیش از دویلیارد نفر را طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۷، تحت تأثیر قرار داده‌اند. طبق گزارش فدراسیون بین‌المللی صلیب سرخ و هلال احمر (IFRC)، در بازه زمانی ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸، ۷۳۰ میلیون نفر از مردم تحت تأثیر سیل قرار گرفته‌اند و براین اساس، ۲۳٪ خسارت‌های اقتصادی و ۷٪ از مرگ‌های ثبت‌شده و ۵۲٪ از قربانیان بلایای طبیعی جهان، در آن دوره، برآثر سیل بوده است (Amirahmadi et al., 2012). باتغییرات اقلیمی، توسعه شهرنشینی، تغییر کاربری اراضی و رشد جمعیت در دهه‌های اخیر انتظار می‌رود تلفات انسانی، خسارات زیرساختی و اقتصادی ناشی از سیل، در آینده، افزایش یابد (Amirahmadi et al., 2012)؛ ازاین‌رو پایش سیلاب و به‌کارگیری تدابیر مدیریتی، برای مقابله با خطرهای آن، یکی از پیش‌نیازها و ملزوماتی است که برنامه‌ریزان مدیریت بحران باید، با اقدامات مدیریتی مناسب و برنامه‌ریزی اصولی، آن را در نظر داشته باشند؛ بدین ترتیب با راهکارها و برنامه‌ریزی‌هایی در راستای اجرای مؤثر و بهینه، یا به عبارتی با مدیریت مناسب، می‌توان خطرپذیری سیل را کاهش داد. مدیریت مناسب سیل نیازمند آگاهی از مکان و زمان دقیق وقوع سیل است. در این راستا، در اختیار داشتن نقشه‌های سیلاب که پارامترهای اصلی خطرپذیری روی آن‌ها منعکس شده است یکی از ارکان مدیریت خطرپذیری سیل محسوب می‌شود و می‌تواند، در برنامه‌ریزی و مقابله با سیلاب، بسیار مؤثر باشد و به آماده‌سازی، برنامه‌ریزی و عکس‌العمل مناسب برای مقابله با سیل‌های احتمالی آینده منجر شود. بنابراین هدف اصلی از تهیه این نقشه‌ها کاهش پیامدهای نامطلوب ناشی از سیل برای سلامت انسان، محیط‌زیست، میراث فرهنگی و فعالیت‌های اقتصادی است. برای این منظور، سه نوع اقدام لازم است:

۱) ارزیابی اولیه خطر سیل، برای ارزیابی و شناسایی نقاط سیل‌خیز در هر حوضه؛ ۲) تهیه نقشه‌های سیل و خطرهای آن، براساس سناریوهای گوناگون؛ ۳) اجرای طرح‌های مدیریتی برای کاهش خطر سیل (Tarpanelli et al., 2022). برای ارزیابی خطر سیل و آسیب‌پذیری‌های ناشی از آن، نقشه‌های مناطقی که قبلاً سیل در آن‌ها رخ داده دارای اهمیت فراوان‌اند زیرا معیاری برای کالیبراسیون پارامترهای مدل‌های پایش سیل‌اند و اطلاعات ارزشمندی را درمورد مناطق سیل‌خیز ارائه می‌دهند و به ذی‌نفعان، در فرایند تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی، کمک می‌کنند (Massari et al., 2015). روش‌های متعددی برای پایش سیلاب وجود دارد که هر یک مزایا و محدودیت‌هایی به همراه دارد. در حالت کلی، می‌توان این روش‌ها را در دو گروه اصلی قرار داد؛ گروه نخست روش‌ها و مدل‌سازی‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی را دربرمی‌گیرد و اساس گروه دوم بر استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سنجش از دور است. این تصاویر ویژگی‌های شاخصی دارند؛ از قبیل امکان تصویربرداری در شب و روز و در شرایط جوی متفاوت، از جمله هوای ابری، رایگان بودن، دسترسی‌پذیری چشمگیر، دارا بودن قدرت تفکیک مکانی مناسب و ازاین‌رو در پایش سیلاب‌ها و برای بررسی مناطق سیل‌زده، انتخاب واقع‌بینانه‌تری شمرده می‌شوند. باین‌حال محدودیت‌هایی نیز دارند؛ مانند ناتوانی در تمایز بین سطوح دارای آب و بدون آب، لکه‌های نویزمانند و اصلاح هندسی. ازاین‌رو ممکن است توانایی SAR^۱ را در زمینه برنامه‌های نقشه‌برداری سیلاب جهانی، دچار مشکلاتی کنند. به‌این‌دلیل استفاده از سنجش از دور و به‌خصوص داده‌های رادار روزنه ترکیبی، ابزاری مناسب برای تهیه نقشه مناطق سیل‌زده است زیرا می‌تواند اطلاعات ارزشمندی، به‌منظور برنامه‌ریزی و مدیریت زود هنگام درباره بلایای طبیعی، به‌ویژه سیل، فراهم آورد. بنابراین مطالعات متعددی، با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات

1. Synthetic Aperture Radar

جغرافیایی در زمینه پایش سیلاب، در ایران و جهان انجام شده است که به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود.

رحمان و تاکور^۱ (۲۰۱۷)، به کمک سنجش از دور و داده‌های ماهواره‌ای رادار SAR، گسترده‌ی سیلاب منطقه کندر اپارا^۲ در ایالت اوریسسا^۳، هند، را بررسی کردند. نتایج یافته‌های آن‌ها حاکی از آن بود که به کارگیری SAR، همراه با GIS، در کاهش تأثیرات سیل و افزایش انعطاف‌پذیری طی روند مدیریت سیل کمک فراوانی می‌کند. بورا^۴ و همکاران (۲۰۱۸)، با استفاده از داده‌های راداری سنتینل-۱، سیلاب پارک ملی کازیرانگا^۵ در هند طی بارش‌های موسمی سال ۲۰۱۷ را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که به دلیل امکانات تصاویر راداری، همچون قدرت نفوذ و حساسیت بالا در برابر رطوبت خاک، استفاده از آن‌ها در مطالعه سیلاب بسیار مفید است و با استفاده از این داده‌ها می‌توان مواردی مانند شناسایی مناطق مناسب برای ساخت پناهگاه حیوانات و عملیات امداد و نجات را به خوبی مدیریت کرد. آگنی‌هوتري^۶ و همکاران (۲۰۱۹) از داده‌های SAR، در بررسی سیلاب رودخانه رامگانگا^۷ در منطقه گنگا^۸، بهره بردند. طبق نتایج این پژوهش، وقوع سیل به تغییراتی در مورفولوژی رودخانه‌ها و دشت‌های سیلابی، تغییر عرض کانال رودخانه و سواحل آن منجر می‌شود. به علاوه، این محققان دریافتند که پایش سیلاب به کمک تصاویر راداری، در منطقه مذکور، به بهبود مدیریت منطقه کمک شایانی می‌کند. رفس^۹ و همکاران (۲۰۱۴) نیز، با استفاده از داده‌های SAR و InSAR، سیلاب منطقه باسیلیکاتا^{۱۰} در جنوب ایتالیا را بررسی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که داده‌های راداری، در تشخیص سیلاب، توانمندی بسیاری دارند. کواسی^{۱۱} و همکاران (۲۰۲۰)، به کمک باند C از تصاویر GRD داده‌های راداری سنتینل-۱، سیلاب رودخانه سن‌پدرو^{۱۲} در ساحل عاج را بررسی کردند. با توجه به نتایج، ۶۰۰۰ هکتار از این منطقه طی سه روز زیر آب رفته است. در تحقیقی دیگر، راث^{۱۳} و همکاران (۲۰۲۲) براساس داده‌های سنتینل-۱، با

پوشش زمانی ۱۰ اوت تا ۲۳ سپتامبر ۲۰۲۲، سیلاب استان‌های جنوبی پاکستان، از جمله پنجاب، سند و بلوچستان را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که الگوریتم نقشه‌برداری سیل با داده‌های سنتینل-۱ که از سوی گروه ژئودزی و سنجش از دور دانشگاه فنی وین توسعه یافته بود، در مقیاس بزرگ، تا ۸۰٪ عملکرد خوبی دارد؛ به گونه‌ای که در بازه زمانی شش هفته‌ای، با بررسی منطقه‌ای به وسعت ۳۰۴۹۲ کیلومترمربع، مشخص شد این مناطق دست کم یک بار دچار سیل شده‌اند. غوری^{۱۴} و همکاران (۲۰۲۳) نیز، با استفاده از مجموعه داده‌های سنتینل-۱ و تکنیک CDAT، سیل در استان سند پاکستان را با بازه زمانی ۱۸ تا ۲۸ اوت ۲۰۲۲، در محیط Google Earth، واکاوی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که در منطقه مورد مطالعه، وسعت سیل برابر با ۷۵۹۶۴۲ هکتار بوده است؛ از این مقدار، ۸۴۳۵ هکتار به محیط شهری و زراعی و ۴۱۵۴۵۰ هکتار به زمین‌های زراعی آسیب‌دیده با ۶۶۳۷۹۷ نفر جمعیت در معرض سیل تعلق داشته است. آژند^{۱۵} و همکاران (۲۰۲۴) با استفاده از تصاویر سنتینل-۱ و سنتینل-۲ و براساس الگوریتم OBIA، وسعت سیلاب استان سند در جنوب شرق پاکستان را استخراج کردند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که وسعت سیلاب، در این منطقه، نزدیک به ۲۰۹۹/۴ کیلومترمربع بوده و بیشترین حجم آن در زمین‌های کشاورزی و باغ‌ها، با ۶۹۵/۲۸ کیلومترمربع (۳۲/۴٪) و ۷۰۸/۶۳ کیلومترمربع (۳۳/۷٪) رخ داده است.

1. Rahman & Thakur
2. Kendrapara
3. Orissa
4. Borah
5. Kaziranga
6. Agnihotri
7. Ramganga
8. Ganga
9. Refice
10. Basilicata
11. Kouassi
12. San Pedro
13. Roth
14. Ghouri
15. Azhand

گسترش سیلاب فروردین ۱۳۹۸ در شهرستان پلدختر را از طریق روش آستانه‌گذاری اتسو^۱ تهیه کرد. نتایج نشان داد که گسترش سیل، ضمن تغییر ژئومورفولوژیکی رودخانه کشکان، به زیر آب رفتن ۷/۹۹ کیلومترمربع از اطراف رودخانه منجر شده است. قهرمان^۷ و همکاران (۲۰۲۲) مناطق مستعد سیلاب را در مورد رودخانه کشکان استان لرستان، به کمک تصاویر راداری سنتینل-۱ و با آستانه‌گذاری اتسو، بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که براساس بارش فروردین ۱۳۹۸ در محدوده کشکان رود، با بارش ۴۶ میلی‌متر، ۵۱٪ از منطقه و با بارش ۳۱ میلی‌متر، ۶۹٪ از منطقه در کلاس سیلابی قرار می‌گیرد. همچنین مشخص کردند که محل پیچان رودها از مهم‌ترین مناطق مستعد سیلاب در مسیر این رودخانه به شمار می‌رود. پیمان‌خواه^۸ و همکاران (۲۰۲۳)، به‌منظور پایش سیلاب رودخانه کشکان پلدختر، از تصاویر سری زمانی سنتینل-۱ و لندست-۸ و داده‌های کمکی سامانه GEE بهره بردند. طبق نتایج مطالعات آن‌ها، تصاویر سنتینل-۱ در شناسایی مناطق سیل‌زده و تشخیص تغییرات شدید، عملکرد مناسبی داشته‌اند.

در تحقیق حاضر سعی شد، با در نظر گرفتن اطلاعات حاصل از تصاویر سنتینل-۱، نقشه وسعت آب ناشی از سیلاب خرداد ۱۴۰۲، در زنجان، تهیه و ارزیابی شود. تهیه این نقشه می‌تواند در مدیریت و برنامه‌ریزی کاربری اراضی در هنگام وقوع سیلاب، افزایش آگاهی عمومی و هشدار به ساکنان محدوده‌های سیل‌خیز منطقه، توسعه طرح‌های مؤثر در کاهش خطرهای سیلاب، تهیه برنامه‌های جامع مدیریت خطرپذیری سیلاب و نیز شکل دادن به دستورالعمل رویارویی با شرایط بحرانی و تاب‌آوری طی آن کاربرد داشته باشد.

ازجمله مطالعات انجام‌شده به‌منظور پایش سیل، به کمک تصاویر سنتینل-۱ در ایران، می‌توان به پژوهش عمادالدین^۱ و همکاران (۲۰۲۱) اشاره کرد. این محققان، با استفاده از تصاویر راداری SAR، گسترش سیلاب فروردین ۱۳۹۸ در شهرستان آق‌قلا را بررسی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها بیان می‌کند که طی تاریخ ۲۳ و ۲۹ مارس، به ترتیب ۱۰۷ و ۱۱۵ کیلومترمربع از محدوده مورد مطالعه، برآثر سیل، به زیر آب رفته است. نتایج بازدید میدانی از این منطقه نیز نشان داد که بارندگی شدید، پر شدن سد وشمگیر، شیب کم منطقه، لای‌روبی نشدن رودخانه، وجود پل‌های متعدد روی رودخانه، ارتفاع کم پل‌ها و درصد بالای رس در خاک از عوامل ایجاد سیل در منطقه بوده است. پنجه‌کوبی^۲ و همکاران (۲۰۲۰)، با کمک تصاویر و داده‌های راداری، شدت-مدت-مساحت بارش و تأثیر آن در سیل را بررسی کردند. نتایج نشان داد که مقدار رواناب حوضه با شدت، مدت و پراکنش بارش رابطه معنی‌داری دارد و بیشینه رواناب به مجموع بارش و پراکنش بارش وابسته است. چنانچه مجموع و پراکنش بارش هم‌سو باشند، شدت سیلاب افزایش و اگر شدت و مجموع سیلاب ناهم‌سو باشند، شدت آن کاهش خواهد یافت. سلیمانی^۳ و همکاران (۲۰۲۰)، براساس تصاویر سنتینل-۲، خسارات سیلاب فروردین ۱۳۹۸ در استان گلستان را بررسی کردند. مطابق نتایج این پژوهش و آشکارسازی پهنه خسارات سیل و انطباق آن با واقعیت‌های زمینی، مشخص شد داده‌های راداری دقت چشمگیری در تشخیص خسارت‌های سیل، در محدوده مکانی و زمانی مورد مطالعه، داشته است. سلیمانی ساردو^۴ و همکاران (۲۰۲۱) نیز، با استفاده از تصاویر سنتینل-۱، سیلاب فروردین ۱۳۹۹ در جنوب استان کرمان را به کمک الگوریتم جنگل تصادفی بررسی کردند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که درصد آب‌گرفتگی جنوب استان، با توجه به کاربری آن‌ها، به ترتیب درمورد اراضی بایر ۲۷/۹٪، مسکونی ۱۶٪ و مرتع ۱۲٪ بود. محمدنژاد^۵ (۲۰۲۱)، با استفاده از تصاویر راداری سنتینل-۱، نقشه

1. Emadodin

2. Panjehkoobi

3. Solaimani

4. Soleimani Sardoo

5. Mohamad Nejhad

6. Otsu

7. Ghahraman

8. Peymankhah

۲- روش تحقیق

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

استان زنجان، با مساحت ۲۱۷۷۳ کیلومترمربع، در ۳۵ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۱ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۵۲ دقیقه طول شرقی واقع شده است. این استان از شمال با استان‌های اردبیل و آذربایجان شرقی، از جنوب با استان همدان، از جنوب غرب و جنوب شرق، به ترتیب با کردستان و قزوین و از شمال غرب و شمال شرق نیز، به ترتیب با استان‌های آذربایجان غربی و گیلان همسایه است (شکل ۱). استان زنجان، با میانگین دمای ۴/۹ تا ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد، دارای تنوع آب‌وهوایی است که از آب‌وهوای نسبتاً گرم در منطقه طارم و ماهنشان تا آب‌وهوای سرد در سایر مناطق استان را شامل می‌شود. میانگین بارندگی سالیانه در آن ۲۰۰-۴۰۰ میلی‌متر و بیشتر از میانگین بارش کشور است. محدوده مورد مطالعه دارای چندین حوضه آبخیز و سیل‌آساست که از برجسته ترین آن‌ها، سیستم رودخانه‌ای قزل‌اوزن است. قزل‌اوزن یکی از مهم‌ترین، بزرگ‌ترین و مشهورترین رودخانه‌های ایران در شمال غرب کشور و رودی دائمی،

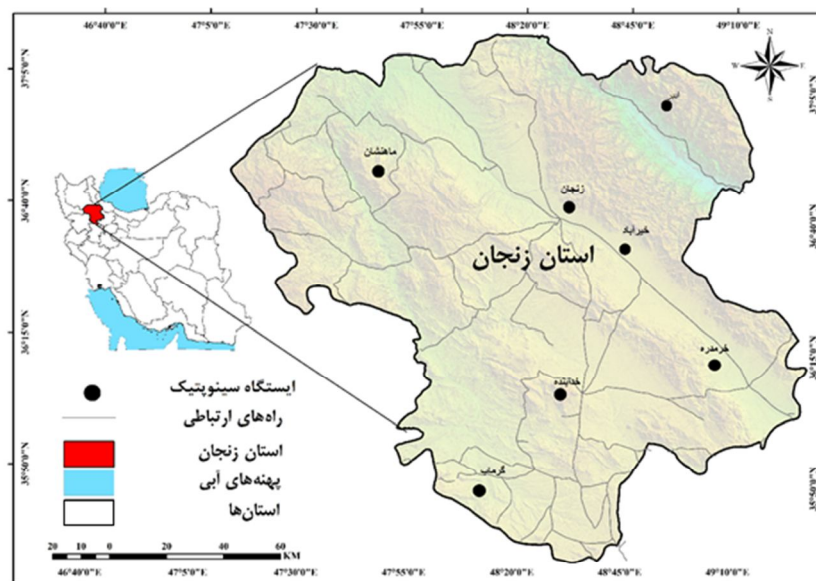
به‌درازای ۷۶۵ کیلومتر و شیب متوسط ۳/۰٪ است که از ارتفاعات چهل چشمه کردستان سرچشمه می‌گیرد. ارتفاع سرچشمه این رودخانه ۲۳۰۰ متر و ارتفاع ریزشگاه آن ۲۵- متر است. این رود، پس از عبور از استان‌های زنجان، آذربایجان شرقی و اردبیل، ضمن دریافت شاخه‌های متعدد در طول مسیر خود، در استان گیلان با رودخانه شاهرود تلاقی می‌کند و وارد مخزن سفیدرود می‌شود. وسعت حوضه آبخیز آن نزدیک به ۴۹۴۰۰ کیلومترمربع است (Rezaei Moghaddam et al., 2012).

۳- داده‌ها و روش پژوهش

۳-۱- روش تحقیق

گام نخست: جمع‌آوری داده

در این مطالعه، داده‌های مورد استفاده برای شناسایی محدوده آبی سطح زمینی در استان زنجان، به کمک سنیتل-۱، از وبگاه <https://scihub.copernicus.eu> به دست آمد. داده‌های ماهواره‌های سنیتل-۱، با ویژگی‌های گوناگونی همچون رزولوشن مکانی و طول موج (فرکانس راداری) بالا، این امکان را دارد که تغییرات بسیار جزئی را با دقت بیشتری تعیین کند.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

از مأموریت‌های سنتینل-۱، با دو پلاریزاسیون VV/VH و رادار دریچه‌ مصنوعی (SAR) باند C با فرکانس ۵/۴۰۵ گیگاهرتز، این است که در تمامی شرایط آب‌وهوایی، به‌صورت شبانه‌روزی، با دوره بازنگری دوازده‌روزه تصویر تهیه می‌کند. بنابراین تصاویر SAR، متعلق به قبل و پس‌از سیل، از سایت کوپرنیکوس و با پلاریزاسیون VV+VH دریافت شد. این فاصله‌های زمانی به منظور بررسی تغییرات حجم آب سیلابی و عقب‌نشینی آن در سطح منطقه بوده است (جدول ۱). بررسی بارندگی ماهیانه در استان زنجان طی سال ۱۴۰۲، به‌منظور آگاهی از میزان بارش رخ داده، از سازمان هواشناسی اخذ شده است.

گام دوم: پیش‌پردازش داده‌های SAR

داده‌های خام سنتینل-۱، برای پیش‌پردازش، در پلتفرم کاربردی SNAP^۱ وارد شد. داده‌ها طی مراحل متفاوتی به این صورت پردازش شدند: ابتدا، به‌اندازه حدود منطقه مورد مطالعه، برش مکانی انجام شد و سپس با استخراج اطلاعات مداری تصویر و حذف خطاهای ناشی از سنجنده، مقادیر بازپراکنده‌شده براساس کالیبراسیون سیگما صفر، با هدف تبدیل ارزش پیکسل خام به مقدار بازپخش زمینی، محاسبه شد. در مرحله بعدی، با هدف حفظ وضوح و جزئیات تصویر و حذف نویزهای نقطه‌ای از روی داده‌های بازپراکنده‌شده، از فیلتر حذف لکه استفاده شد تا با حفظ وضوح و جزئیات تصویر، نویز لکه حذف شود (Amini et al., 2022). در ادامه، با توجه به اینکه حرکات، ناهم‌واری و سیستم سنجنده باعث

خطاهای سیستمی و غیرسیستمی داده‌های سنجش از دور می‌شود، اقدام به رفع آن شد؛ برای این کار، تصحیحات هندسی برای تصاویر به کار رفت. در گام بعدی و پس از دریافت و پیش‌پردازش هر دو تصویر، به‌منظور شناسایی و تفکیک پهنه‌های دارای آب و بدون آب، پیکسل‌ها بازپراکنش شدند. پیکسل‌های مناطق پهنه آبی دارای ضرایب بازپراکنش پایین و مناطق بدون آب دارای ضرایب بازپراکنش بالا بودند. به‌منظور تفکیک بازپخش آب و غیرآب، حد آستانه با عدد یک و صفر انتخاب شد. سپس، با استفاده از تصویر رنگ کاذب و نیز کلاس‌بندی نظارت‌شده و از طریق فرمول‌نویسی ساده، منطقه سیلاب از محیط‌های غیرسیلابی و محیط‌هایی که قبلاً دارای آب بودند تفکیک شدند. پس از آن، تصاویر سیگمانات به تصاویر دسی‌بل تبدیل شد. در تصویر دسی‌بل، هیستوگرام تصویر از حالت چوله به حالت نرمال تغییر شکل یافت تا پدیده‌ها بارزتر دیده شوند. مقادیر سیگمانات کمتر از حد آستانه استخراجی، معادل آب و ارزش‌های سلولی بالاتر از حد آستانه به منزله مناطق بدون آب در نظر گرفته شدند. سپس برای طبقه‌بندی تصاویر رادار قبل و بعد از وقوع سیل، از الگوریتم طبقه‌بندی نظارت‌شده جنگل تصادفی استفاده شد. الگوریتم جنگل تصادفی الگوریتم یادگیری ماشین ناپارامتری مبتنی بر دسته‌ای از درخت‌های تصمیم است که هم‌زمان با رشد، درختان تصادفی بیشتری را با توجه به ویژگی پیکسل یا پدیده طبقه‌بندی، به مجموعه اضافه می‌کند (Jahanbakhshi & Ekhtesasi, 2019).

جدول ۱. مشخصات تصاویر مورد استفاده از سنتینل-۱ (دریافت‌شده از سایت کوپرنیکوس)

Acquisition Date	Spacing & Pixel	Polarization	Mode	Pass	Flood Condition
۲۰۲۳/۰۵/۲۲	m۱۰*۱۰	VV-VH	IW	Descending	Pre-flood
۲۰۲۳/۰۶/۱۵	m۱۰*۱۰	VV-VH	IW	Descending	Post-flood

1. Sentinels Applicatin Platform

گام سوم: پس پردازش تصاویر

در نهایت و براساس طبقه‌بندی انجام‌شده، کل منطقه مورد بررسی در محیط نرم‌افزار SNAP-6 به سه پهنه سیل زده، مناطق دارای آب (از قبل دارای آب بودند) و سایر اراضی تقسیم شدند. در گام بعدی، در محیط ENVI، داده‌های رستری باینری با استفاده از الگوریتم درخت طبقه‌بندی شدند. با توجه به اینکه الگوریتم درخت روشی نظارت‌شده و در کنترل کاربر است، به دلیل غیرمتریک بودن جداسازی، نقشه خروجی با استفاده از داده باینری استخراج شد (Zambon et al., 2006).

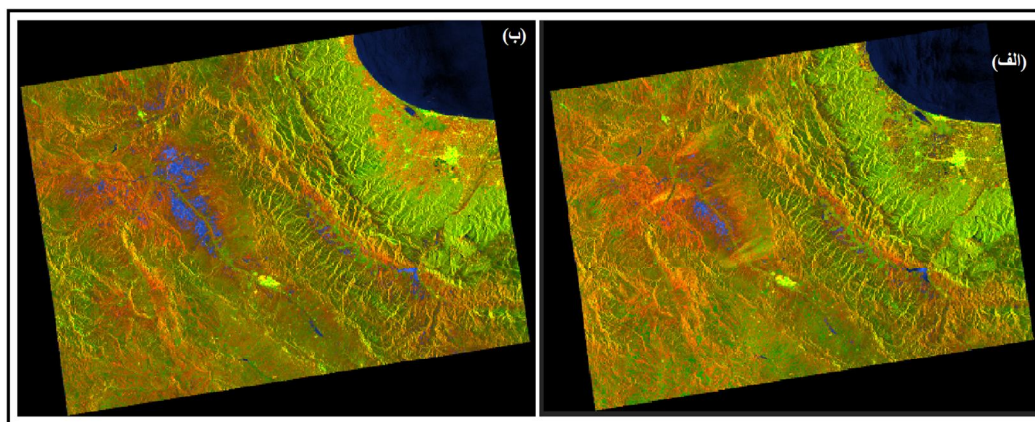
گام آخر: تبدیل تصاویر به فایل بردار

نقشه نهایی، به منظور تبدیل به فایل بردار، به محیط ArcGIS وارد شد و داده‌های بردار با نقشه کاربری اراضی روی هم گذاری شدند؛ نقشه اراضی‌ای که در مسیر عبور سیل قرار داشتند از سایت LAND COVER اخذ شد. در ادامه، برای تحلیل بهتر، نقشه ارتفاع منطقه نیز به کار رفت.

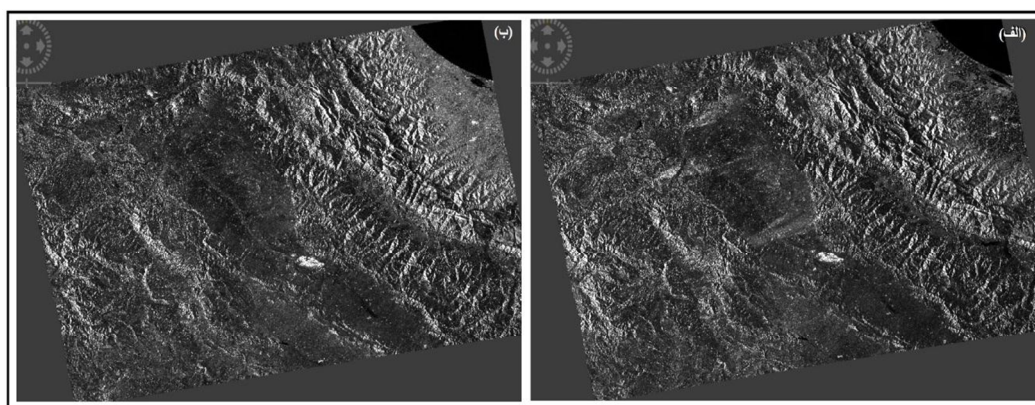
۴- بحث و نتایج

مطابق داده‌های اداره کل هواشناسی استان زنجان، از تاریخ ۱ تا ۳۱ خرداد ۱۴۰۲ بارندگی شدیدی، به تناوب، در برخی از شهرستان‌های این استان اتفاق افتاده که این میزان بارش، طی دهه گذشته، بی سابقه بوده است؛ تا حدی که در یکی از ایستگاه‌ها، طی ۹۰ دقیقه، مقدار بارش به ۲۹ میلی‌متر (شهرستان زنجان) رسید. رخداد بارش بسیار تند و رگباری در خرداد ۱۴۰۲ باعث آب‌گرفتگی و وقوع سیل در برخی مناطق شمال این استان، به ویژه طارم، شد. در این پژوهش، برای دستیابی به مساحت مناطق سیل‌زده و وسعت آب سیلاب، قبل و پس از وقوع سیل، تصاویر سنتینل-۱ از سایت کوپرنیکوس دریافت شد (شکل ۲) و در نرم‌افزار SNAP، عملیات پس‌پردازش روی آن‌ها صورت گرفت (شکل ۲). در ادامه، برای تفکیک پهنه‌های آبی و

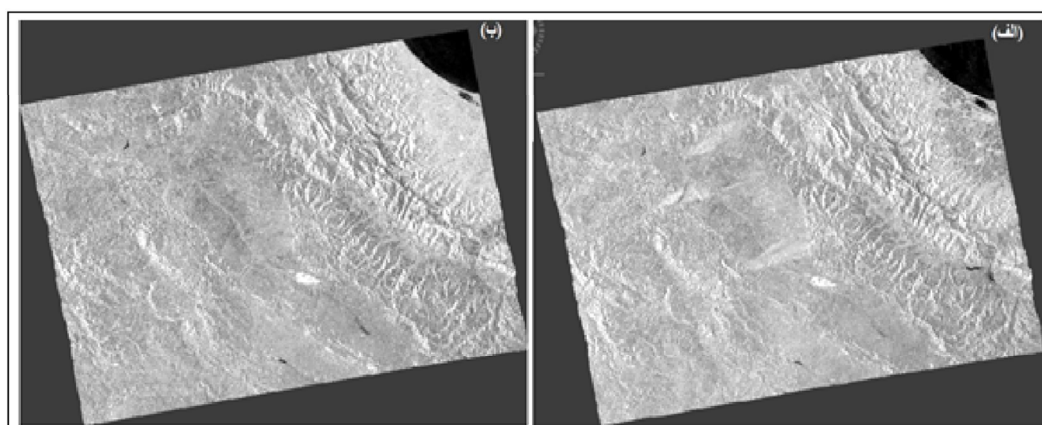
غیرآبی، هیستوگرام تصاویر به کار رفت؛ پیکسل‌های دارای ضریب بازپراکنش پایین‌تر نشان‌دهنده پهنه‌های آبی و پیکسل‌های دارای بازپراکنش بالاتر بیانگر پهنه‌های غیرآبی بودند. با بررسی تصاویر سیگما بعد از پیش‌پردازش، آن دسته از مناطقی که مقادیر سیگمانات آن‌ها کمتر ۰/۱ بود، به منزله محدوده دارای آب در نظر گرفته شدند. با انتخاب مقدار ۰/۱ براساس تحلیل هیستوگرام تصویر برای تفکیک ارزشی که مناطق دارای آب را از بدون آب جدا می‌کند، مشخص شد که حجم آب سیلابی، قبل و پس از سیل خرداد ۱۴۰۲، تغییرات چشمگیری داشت و تصویر بازه پیش از سیلاب (شکل ۲-الف) دارای نقاط تیره کمتر و تصویر پس از وقوع سیلاب (شکل ۲-ب) دارای نقاط تیره بیشتری بود. وجود نقاط تیره در بخش‌های شمالی استان، به ویژه محدوده طارم، در سیگمانات صفر بسیار مشهودتر بود؛ این نکته بیان می‌کند که حجم آب وارد شده به بخش‌های شمالی استان مساحت بیشتری را پوشش می‌دهد (شکل ۳). در ادامه و بعد از انجام دادن فرایندهای یادشده در روش کار و حذف مناطق دارای آب که از قبل در منطقه وجود داشت، برای به دست آوردن نقاط سیلابی، با استفاده از ابزار Band Math تصویر جدیدی ایجاد شد که نشان‌دهنده پهنه‌بندی مشخصی از سیلاب بود. سپس برای اینکه تصویر سیلاب بارزتر شود، تصویر از سیگمانات به دسی‌بل تبدیل شد (شکل ۴). در تصویر دسی‌بل، هیستوگرام تصویر از حالت چوله به حالت نرمال تغییر یافته است و پدیده‌ها بارزتر به نظر می‌رسند. مقادیر سیگمانات کمتر از حد آستانه استخراجی را معادل مناطق دارای آب و ارزش‌های سلولی بالاتر از حد آستانه را به منزله مناطق بدون آب در نظر گرفتیم. سپس، با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی نظارت‌شده جنگل تصادفی، نقشه خروجی را در سه کلاس قرار دادیم: پهنه آبی، مانند مسیر ورود آب، با رنگ آبی و مناطق سیل‌زده با رنگ زرد و سایر مناطق با رنگ خاکستری متمایز شدند.



شکل ۲. تصویر ۲۲ مه (الف) و ۱۵ ژوئن (ب) سال ۱۴۰۲، متعلق به منطقه مورد مطالعه



شکل ۳. تصاویر سیگمای صفر در ۲۲ مه (الف) و ۵ ژوئن (ب) سال ۱۴۰۲، منطقه مورد مطالعه



شکل ۴. تصاویر دسی‌بل ۲۲ مه (الف) و ۵ ژوئن (ب) در سال ۱۴۰۲، متعلق به منطقه مورد مطالعه

در نهایت، با استفاده از الگوریتم درخت تصمیم‌گیری و به‌منظور افزایش دقت مطلوب و مورد قبول کلاس‌ها، طبقه‌بندی مجدد انجام شد. پس از آن، نقشه خروجی به نرم‌افزار ArcGIS انتقال یافت و مساحت مناطق سیل‌زده، به تفکیک شهرستان‌ها، متمایز شد (جدول ۲).

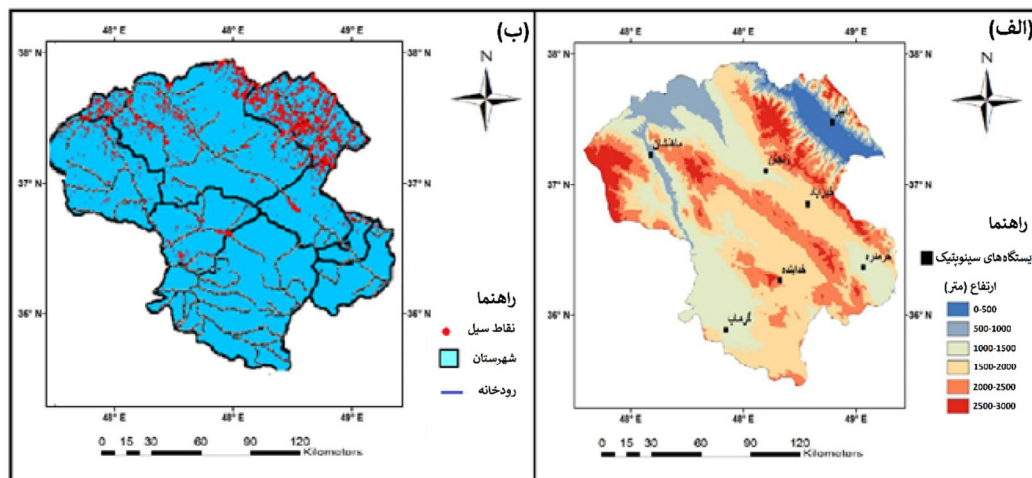
تصاویر ۵- الف نشان‌دهنده تغییرات بارز در حجم آب گرفتگی، بعد از گذشت هفت روز از وقوع سیلاب در منطقه است. این تصویر گویای آن است که بیشترین وسعت آب در مناطق شمالی استان، در مجاورت رودخانه‌های اصلی و فرعی حوضه آبریز قزل‌اوزن و به‌ویژه در شهرستان طارم، بوده است. طبق جدول ۲، شهرستان طارم با ۳۱۲/۰۶۷۱۹۲ هکتار آب‌گرفتگی، بیشترین وسعت آب ناشی از سیلاب را داشته است. پس از آن، بیشترین حجم آب‌گرفتگی در شمال شهرستان زنجان، در محدوده حوضه آبخیز قزل‌اوزن، زنجان‌رود پایین، چاپپاره، غنی‌بیگلو با وسعت ۱۵۰/۷۱۳۱۹۳ هکتار مشاهده شد. بیشتر این آب‌گرفتگی‌ها، تحت تأثیر ژئومورفولوژی منطقه، در اطراف رودخانه قزل‌اوزن رخ داده است. عمده آب ناشی از سیل در ماهنشان، اغلب در بخش شمالی این شهرستان و در بخش‌های ماهنشان و اوریاد، با ۳۷۵ پلی‌گون مشاهده شد و وسعت آب ناشی از سیل به‌میزان ۲۶/۶۱۸۰۸۶ هکتار بود. در شهرستان ایجرود در زرین‌آباد، بیشترین وسعت آب ناشی از سیلاب

در مسیر رود ایجرود، با وسعت ۲۱/۰۶۴۰۵ هکتار و ۲۴۵ پلی‌گون بوده است. در شهرستان ابهر نیز آب ناشی از سیلاب در مرکز سلطانیه در زنگان‌رود (یکی از شعبه‌های رودخانه قزل‌اوزن) با وسعت ۹۶ هکتار، به‌صورت متمرکز با ۵۴۷ پلی‌گون سیل، در اطراف رودخانه دیده شد.

طی وقوع سیلاب خرداد ۱۴۰۲ در استان زنجان، ارتفاع منطقه عامل مهمی در کنترل جهت حرکت سیلاب و ماندگاری آب روی سطح زمین به شمار می‌رفت (۵- ب). میزان عقب‌نشینی آب سیلاب، در ارتفاعات، کمتر از ۵۰۰ متر و درمقایسه با نقاط مرتفع‌تر، بسیار اندک بود؛ به‌گونه‌ای که در ارتفاع ۱۰۰۰ متر و بیشتر، ماندگاری آب دیده نشد. در نقاط مرتفع زنجان همچون بخش‌هایی از طارم و زنجان و ماهنشان، بعد از وقوع نزولات جوئی، آب از مناطق کم‌ارتفاع و مسطح سریع‌تر جریان یافت و در نتیجه، با گذشت هفت روز از وقوع سیل، ماندگاری آب در این ارتفاعات دیده نشد. اما در ارتفاعات کمتر از ۵۰۰ متر که اغلب شامل نواحی کم‌ارتفاع حوضه آبریز قزل‌اوزن و رودخانه‌های اصلی و فرعی آن بود، بیشتر رواناب‌ها در چاله‌های توپوگرافی طارم و زنجان جمع شد. پست بودن این مناطق باعث پخش‌شدگی آب سیلاب و آب‌گرفتگی گسترده‌ای، حتی در مراکز جمعیتی آن‌ها شد.

جدول ۲. مساحت مناطق سیل‌زده استان زنجان (خرداد ۱۴۰۲)

شهرستان	تعداد پلی‌گون‌های سیل	وسعت آب ناشی از سیل (هکتار)	شهرستان	تعداد پلی‌گون‌های سیل	وسعت آب ناشی از سیل (هکتار)
ایجرود	۲۴۵	۲۱/۰۶۴۰۵	زنجان	۱۷۵۰	۱۵۰/۷۱۳۱۹۸
ابهر	۵۴۷	۹۶/۲۰۱۸۲	طارم	۳۴۳۶	۳۱۲/۰۶۷۱۹۲
خدابنده	۱۱	۱/۳۳۹۵۹	ماهنشان	۳۷۵	۲۶/۶۱۸۰۸۶
خرمدره	۴۵	۲/۴۷۱۵۴۳			



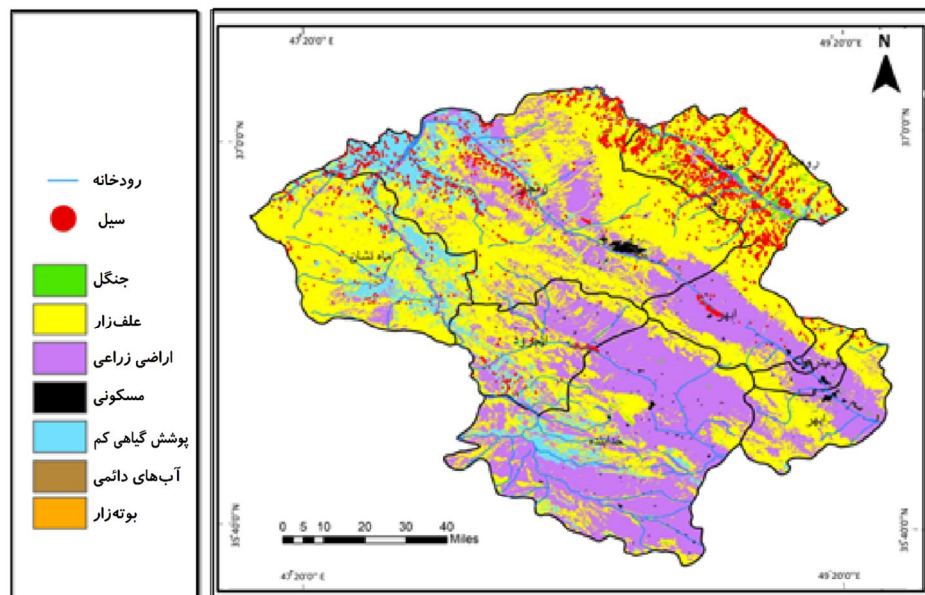
شکل ۵. نقشه ارتفاع (الف) و سیلاب (ب) منطقه مورد مطالعه

جوی در این مناطق شده و از این رو پتانسیل وقوع سیل را افزایش داده است (شکل ۶).

۵- نتیجه گیری

در پژوهش پیش رو، به منظور سنجش وسعت آب ناشی از سیل خرداد در استان زنجان، تهیه نقشه پهنه بندی سیلاب و ارزیابی عواملی همچون ارتفاع و پوشش گیاهی که در وقوع آن نقش داشتند، تصاویر سنتینل-۱ متعلق به قبل و پس از وقوع سیل تهیه، پردازش و در سه کلاس طبقه بندی و تحلیل شد. مشخص شد که بیشترین حجم سیلاب در استان زنجان به شمال استان، به ویژه شهرستان طارم، وارد شده است. به طور کلی، ۳۱۲/۰۶۷ هکتار از شهرستان طارم و ۱۵۰/۷۱۳ هکتار از شهرستان زنجان بر اثر وقوع سیل به زیر آب رفته بودند. بررسی عامل ارتفاع در سیل خیزی منطقه نیز مشخص کرد که ارتفاعات کمتر از ۵۰۰ متر، اغلب شامل زیرحوضه های قزل اوزن و رودخانه های اطراف آن، پتانسیل چشمگیری در آب گرفتگی داشته اند. بررسی پوشش سطح زمین در بخش های دچار آب گرفتگی نشان داد که پوشش گیاهی علفزار، به دلیل نارسایی در نفوذپذیری نزولات

به منظور بررسی سیل و کاربری اراضی، نقشه کاربری اراضی برای تحلیل آب گرفتگی هر طبقه تهیه شد. تصویر ۶ تأثیرات کاربری اراضی در وسعت پهنه های سیل و بازه زمانی ماندگاری آب گرفتگی در منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد. با توجه به اینکه بعد از هفت روز از وقوع سیلاب، در برخی نقاط استان زنجان بسیاری از مناطق از آب گرفتگی خارج شده بودند، بیشترین وسعت آب سیلاب روی پوشش علفزار در شهرستان طارم و قره پشتلو مشاهده شد. در واقع، نواحی علفزار که در مجاورت رودخانه های اصلی و فرعی حوضه آبریز قزل اوزن قرار داشتند، پس از هفت روز همچنان مغروق باقی مانده بودند. این پوشش گیاهی در اطراف حوضه های آبریز پیرامون قزل اوزن، به دلیل تنک بودن و نفوذپذیری کمتر، رواناب و سیلاب بیشتری ایجاد می کند. با بررسی سیلاب و کاربری اراضی، مشخص شد که بعد از پوشش علفزار، بیشترین وسعت آب سیلاب روی زمین های زراعی و با مساحت کمتر، اما دارای تراکم بالا، در شهرهای ابهر و ایجرود در حوضه آبریز قزل اوزن و بخش هایی از شمال شهرستان زنجان و ماهنشان مشاهده شده است. وجود این نوع پوشش گیاهی سبب نارسایی در نفوذپذیری نزولات



شکل ۶. نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر وقوع سیل در خرداد ۱۴۰۲، استان زنجان

Amini, L., Argany, M. & Abdollahi Kakroodi, A., 2022, **Detection of Flooded Areas in Golestan Province Using VV, VH and VV + VH Polarizations of Sentinel-1 and Landsat-8 Images**, Geography and Environmental Studies, 11(43), PP. 94-107, SID, <https://sid.ir/paper/1034827/en>. DOI:10.3390/rs12020266.

Amirahmadi, A. & Ebrahimi, M., 2012, **Microzonation of Flood Risk in Sabzevar Suburb with the Aim of Sustainable Urban Development**, Environmental Based Territorial Planning (Amayesh), 5(16), PP. 17-32, SID, <https://DOI.sid.ir/paper/130590/en>.

Amirahmadi, A., Keramati, S. & Ahmadi, T., 2012, **Microzoning of Flood Hazard in Neyshabur in Order to Urban Development**, Research and Urban Planning, 2(7), PP. 91-110, SID, <https://DOI.Sid.ir/220346.en>.

Azhand, D. Pirasteh, S., Varshosaz, M., Shahabi, H., Abdollahabadi, S., Teimouri, H., Pirnazar, M., Wang, X. & Li, W., 2024, **Sentinel 1a-2a Incorporating an Object-Based Image Analysis Method for Flood Mapping and Extent Assessment**, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, X-1-2024, PP. 7-17, 10.5194/isprs-annals-X-1-2024-7-2024, DOI: 10.1080/01431161.2016.1192304.

جوی در این مناطق، پتانسیل سیل‌خیزی آن‌ها را افزایش داده است. نتایج این مطالعه گویای آن بود که استفاده از تصاویر سنتینل-۱ اطلاعات مفیدی برای شناسایی پهنه‌های سیل‌خیز منطقه فراهم می‌کند و این اطلاعات می‌تواند چارچوبی در زمینه پهنه‌بندی خطر سیل در استان زنجان باشد. این نتایج با مطالعات قهرمان و همکاران (۲۰۲۲) و پیمان‌خواه و همکاران (۲۰۲۳) مطابقت دارد؛ از این‌رو استفاده از اطلاعات حاصل از تصاویر سنتینل-۱ می‌تواند، در کاهش تأثیرات مخرب سیلاب‌ها، به مدیران اجرایی کمک کند تا بتوانند بهترین تصمیم‌ها را برای آمادگی و مقابله با سیل‌های احتمالی در آینده، اتخاذ کنند.

۶- منابع

Agnihotri, A.K., Ohri, A., Gaur, S., Das, N. & Mishra, S., 2019, **Flood Inundation Mapping and Monitoring Using SAR Data and Its Impact on Ramganga River in Ganga Basin**, Environmental Monitoring and Assessment, 191(12), PP. 1-16, DOI: 10.1007/s10661-019-7903-4.

- Borah, S.B., Sivasankar, T., Ramya, M.N.S. & Raju, P.L.N., 2018, **Flood Inundation Mapping and Monitoring in Kaziranga National Park, Assam Using Sentinel-1 SAR Data**, Environmental Monitoring and Assessment, 190(9), P. 520, DOI: 10.1007/s10661-018-6893-y.
- Emadodin, S. & Mohammad Ghasemi, M., 2021, **Monitoring of Flood Expansion Maps Using Radar Images (SAR) (Case Study: Flood in March 2019, Aq Qala City)**, Climate Change Research, 2(6), PP. 79-96, DOI: 10.30488/ccr.2021.308697.1053.
- Ghahraman, K. & Zanganeh Asadi, M.A., 2022, **Determination of Flood-Prone Areas Using Sentinel-1 Radar Images (Case Study: Flood on March 2019, Kashkan River, Lorestan Province)**, <https://civilica.com/doc/1617684>, DOI: 10.61186/jeer.14.1.1.
- Ghouri, A.Y., Ur Rehman, A., Rasheed, F., Miandad, M. & Rehman, G., 2023, **Flood Mapping Using the Sentinel-1 SAR Dataset and Application of the Change Detection Approach Technique (CDAT) to the Google Earth Engine in Sindh Province, Pakistan**, Ecological Questions, 35(2), PP. 1-18, <https://DOI.org/10.12775/EQ.2024.024>.
- Jahanbakhshi, F. & Ekhtesasi, M.R., 2019, **Evaluation of Three Image Classification Methods (Random Forest, Support Vector Machine and the Maximum Likelihood) in Land Use Mapping**, Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources), 22(4), PP. 235-247, DOI: 10.29252/jstnar.22.4.235.
- Kouassi, H., Alexis, N., Anoh, K., Tanoh, J.-J., Koua, T., Stoleriu, C.C., Rezgallah, H., Al-Amoush, A.-H., ... & Yang, J., 2020, **Contribution of Sentinel 1 Radar Data to Flood Mapping in the San-Pédro River Basin (South-west Côte d'Ivoire)**, Asian Journal of Geographical Research, 3(2), PP. 1-8, DOI: 10.9734/ajgr/2020/v3i230101.
- Massari, C., Tarpanelli, A. & Moramarco, T., 2015, **A Fast Simplified Model for Predicting River Flood Inundation Probabilities Conditioned on Flood Extent Data**, Hydrol. Process., 29, PP. 2275-2289, <https://doi.org/10.1002/hyp.10367>.
- 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), PP. 69-80, DOI: 10.30488/gps.2020.226387.3224.
- Namazi Rad, A., Mohseni, N. & Hosseinzadeh, S.R., 2021, **Flood Inundation Monitoring Using Sentinel SAR Data and Hydraulic Modeling**, Quantitative Geomorphological Research, 10(3), PP. 40-56, DOI: 10.22034/gmpj.2021.311053.1311.
- Panjehkoobi, P., Jrayahni Parvari, M., Javardi, M. & Rahmanna, M.R., 2020, **Investigation of Intensity- Duration- Area of Rainfall and its Impact on Floods Using Radar Images (Case Study of the Flood on May 2014)**, Iranian Journal of Remote Sensing & GIS, 12(1), PP. 73-86, DOI: 10.52547/gisj.12.1.73.
- Peymankhah, P., Attarchi, S. & Moharrami, M., 2023, **Rapid Flood Monitoring Using Sentinel-1 and Landsat-8 Images (Case Study: Kashkan River, Poldakhter City)**, Nivar, 47(122-123), PP. 82-94, DOI: 10.30467/nivar.2023.417413.1265.
- Rahman, R. & Thakur, P., 2017, **Detecting, Mapping and Analysing of Flood Water Propagation Using Synthetic Aperture Radar (SAR) Satellite Data and GIS: A Case Study from the Kendrapara District of Orissa State of India**, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 10(2), DOI: 10.1016/j.ejrs.2017.10.002.
- Refice, A., Capolongo, D., Pasquariello, G., D'Addabbo, A., Bovenga, F., Nutricato, R., Lovergine, F.P. & Pietranera, L., 2014, **SAR and InSAR for Flood Monitoring: Examples With COSMO-SkyMed Data**, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 7(7), PP. 2711-2722, July 2014, DOI: 10.1109/JSTARS.2014.2305165.
- Rezaei Moghaddam, M.H., Servati, M.R. & Asghari Sareskanrood, S., 2012, **Investigate of Meander Pattern of Gezel Ozan River by Use of Central Angel and Sinuosity Ratio Indexes**, Geography, 10(34), PP. 85-102, SID, <https://sid.ir/paper/150533/en>, DOI: 10.61186/jwmr.2012.
- Roth, F., Bauer-Marschallinger, B., Tupas, M.E., Reimer, C., Salamon, P. & Wagner, W., 2022, **Sentinel-1 Based Analysis of the Pakistan Flood in 2022 (1.0.0) [Data set]**, TU Wien, <https://DOI.org/10.48436/zvwmh-nan78>.

- Solaimani, K., Sharifipour, M. & Abdoli Bojani, S., 2020, **Flood Damage Detection Algorithm Using Sentinel-2 Images (Case Study; Golestan Province, March 2019)**, Iranian Journal of Ecohydrology, 7(2), PP. 303-312, SID, <https://sid.ir/paper/360777/en>, DOI: 10.22059/ije.2020.292005.1233.
- Soleimani Sardoo, F., Rafiei Sardooi, E., Mesbahzadeh, T. & Azareh, A., 2021, **Utilizing Sentinel 1 Images for Monitoring Damage of Flood Event in March 2020, the South of Kerman Province Based on Random Forest Algorithm**, Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering, 15(53), PP. 23-32, SID, <https://sid.ir/paper/393773/en>, DOI: 10.22034/2008.9504.
- Tarpanelli, A., Mondini, A. & Camici, S., 2022, **Effectiveness of Sentinel-1 and Sentinel-2 for Flood Detection Assessment in Europe**, Natural Hazards and Earth System Sciences, 22, PP. 2473-2489, 10.5194/, DOI: 10.5194/nhess-22-2473-2022.
- Zambon, M., Lawrence, R., Bunn, A. & Powell, S., 2006, **Effect of Alternative Splitting Rules on Image Processing Using Classification Tree Analysis**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 72(1), PP. 25-30, DOI: 10.14358/PERS.72.1.25.