

Flood risk Monitoring of June ۱۴۰۲ in Zanjan province using Sentinel-۱ images

Abdullah Faraji & Nafiseh Rahimi*

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

* Corresponding Author: rahimi.nafiseh۲@gmail.com

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 ۱ and Sentinel ۲ 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 ۱۴۰۲ with the help of Sentinel ۱ 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-۱, 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 ۲۱۲/۰۶۷۱۹۲, 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 ۱۵۰/۷۱۳۱۹۳, 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 ۳۷۵ polygons and the extent of flood water was ۲۶/۶۱۸۰۸۶. In Ijrroud city in Zarin Abad, in the direction of the Ijrroud river, most of the flood water was in the direction of the Ijrroud river with the extent of ۲۱/۰۶۴۰۵ and with flooding of ۲۴ 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 ۹۶ lands was seen as a face with ۵۴۷ flood polygons around the river. In the flood of June ۱۴۰۲ 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 (۵-b). The amount of flood water receding at altitudes less than ۵۰۰ meters was very low compared to higher altitudes, in such a way that water retention was not seen at altitudes above ۱۰۰۰ 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 ۵۰۰ 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.

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

عبدالله فرجی و نفیسه رحیمی*

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

*نویسنده عهده دار مکاتبات: rahimi.nafiseh^۲@gmail.com

چکیده

سابقه و هدف

مدیریت مناسب سیل نیازمند دانستن مکان و زمان دقیق وقوع سیل است تا برنامه‌ریزان مدیریت بحران با اقدامات مدیریتی مناسب با ارائه راهکارها، بتوانند خطرپذیری سیل را کاهش دهند. مطالعات مختلفی در این زمینه توسط محققین با روش‌های متفاوتی همچون بکارگیری سنجنده‌های ماهواره ای سنتینل ۱ و سنتینل ۲ صورت گرفته است و ثابت شده است که پایش سیل به کمک سنجش از دور ابزاری مناسب جهت استخراج سریع منطقه سیل‌زده می‌باشد که می‌تواند در مدیریت زود هنگام بلایای طبیعی خصوصاً سیل مورد استفاده قرار گیرد. لذا هدف از این مطالعه تهیه نقشه وسعت آب ناشی از سیلاب خرداد ماه زنجان ۱۴۰۲ با کمک تصاویر سنتینل ۱ است، تهیه این نقشه می‌تواند در مدیریت و برنامه‌ریزی کاربری اراضی در سیلاب دشت‌ها، بالا بردن سطح آگاهی و هشدار به مردم از نقاط سیل‌خیز منطقه، توسعه طرح‌های کاهش خطرات سیلاب، تهیه برنامه‌های جامع مدیریت خطرپذیری سیلاب و تهیه دستورالعمل رویارویی و تاب‌آوری با شرایط بحرانی مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها: روش پژوهش در چندین گام صورت گرفت: در گام اول جمع‌آوری داده به کمک Sentinel-1، بود سپس در گام دوم: داده‌های SAR پیش پردازش شدند. گام سوم: پس پردازش تصاویر در محیط ENVI، به کمک الگوریتم درخت، صورت گرفت و در گام آخر: تصاویر به فایل بردار تبدیل شدند.

بحث و نتایج: بررسی تغییرات آب گرفتگی بعد از گذشت هفت روز از وقوع سیلاب در منطقه گویای این موضوع است که بیشترین وسعت آب در مناطق شمالی استان در مجاورت رودخانه‌های اصلی و فرعی حوضه آبریز قزل‌اوزن بویژه در شهرستان طارم. با ۳۱۲/۰۶۷۱۹۲ هکتار بوده است که پس از آن بیشترین تعداد پلیگون در شمال شهرستان زنجان در محدوده حوضه آبخیز قزل‌اوزن، زنجانرود پایین، چایپاره، غنی‌بیگلو آبگرفتگی بالایی با وسعت ۱۵۰/۷۱۳۱۹۳ هکتار دیده شد که عمده این آبگرفتگی‌ها تحت تاثیر ژئومورفولوژی منطقه در اطراف رودخانه قزل‌اوزن رخ داده است. عمده آب ناشی از سیل در ماهنشان عمدتاً در قسمت شمالی شهرستان ماهنشان در بخش‌های ماهنشان و اورباد با ۳۷۵ پلیگون و وسعت آب ناشی از سیل ۲۶/۶۱۸۰۸۶ هکتار دیده شد. در شهرستان ایجرود در زرین‌آباد، در مسیر رود ایجرود بیشترین وسعت آب ناشی از سیلاب در مسیر رود ایجرود با وسعت ۲۱/۰۶۴۰۵ و با آبگرفتگی متمرکز با پلیگونی ۲۴۵

بوده است، در شهرستان ابهر نیز آب ناشی از سیلاب در مرکز سلطانیه در زنگان رود (یکی از شعب رودخانه قزل اوزن) با وسعت ۹۶ هکتار به صورت متمرکز با ۵۴۷ پلیگون سیل در اطراف رودخانه دیده شد.

در سیلاب خرداد ۱۴۰۲ استان زنجان، ارتفاع منطقه یک عامل کلیدی در کنترل جهت حرکت سیلاب و ماندگاری آب بر روی سطح زمین بود (۵-ب). میزان عقب‌نشینی آب سیلاب در ارتفاعات کمتر از ۵۰۰ متر در مقایسه با ارتفاعات بالاتر خیلی کم بود به نحوی که در ارتفاع ۱۰۰۰ متر به بالا ماندگاری آب دیده نشد، در نقاط مرتفع زنجان همچون قسمت‌هایی از طارم، زنجان و ماهنشان بعد از وقوع نزولات جوی آب سریع‌تر از مناطق کم ارتفاع و مسطح جریان پیدا کرده بود بطوریکه بعد از هفت روز از وقوع سیل ماندگاری آبی در این ارتفاعات دیده نشد. در حالیکه که در ارتفاعات کمتر از ۵۰۰ متر که عمدتاً شامل نواحی کم ارتفاع حوضه آبریز قزل‌اوزن و رودخانه‌های اصلی و فرعی آن بود، عمده رواناب‌ها در چاله‌های توپوگرافی طارم و زنجان جمع گردید، در این مناطق پست بودن منطقه باعث پخش‌شدگی آب سیلاب و آب‌گرفتگی گسترده‌ای حتی در مراکز جمعیتی این مناطق شد.

نتیجه‌گیری: در پژوهش پیش‌رو به منظور سنجش وسعت آب ناشی از سیل و تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب برای خرداد ماه استان زنجان و ارزیابی عوامل موثر بر آن همچون ارتفاع و پوشش گیاهی، تصاویر سنتینل ۱- برای قبل و بعد از وقوع سیل تهیه، پردازش و در سه کلاس طبقه‌بندی و آنالیز شد و مشخص شد که بیشترین حجم سیلاب وارد شده به استان زنجان مربوط به شمال استان بویژه شهرستان طارم بوده است. همچنین بررسی عامل ارتفاع در سیل‌خیزی منطقه نشان داد که ارتفاعات کمتر از ۵۰۰ متر که عمدتاً شامل زیرحوضه های قزل‌اوزن و رودخانه‌های اطراف آن بودند، پتانسیل بالایی در آب‌گرفتگی داشته‌اند. بررسی پوشش سطح زمین در قسمت‌های آب‌گرفتگی نیز نشان داد که پوشش گیاهی علفزار بدلیل نارسایی در نفوذپذیری نزولات جوی در این مناطق، پتانسیل سیل‌خیزی این مناطق را بیشتر کرده است.

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

مقدمه

طبق بررسی دفتر کاهش خطر بلایای طبیعی سازمان ملل، سیل‌ها متداول‌ترین و پرهزینه‌ترین بلایای طبیعی در سراسر جهان هستند که با سهم ۴۳ درصدی از حوادث و بلایای ثبت‌شده در جهان، زندگی بیش از ۲ میلیارد نفر را در سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۷ را تحت تأثیر قرار داده‌است. 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 که این امر بیانگر این است که ۲۳ درصد از خسارت اقتصادی و ۷ درصد از مرگ‌های ثبت شده و ۵۲ درصد از قربانیان بلایای طبیعی جهان در آن دوره مربوط به سیل بوده است (۲۰۱۲، Amirahmadi et al). باتغییرات اقلیمی، توسعه شهرنشینی و تغییر کاربری اراضی و رشد جمعیت در دهه‌های اخیر انتظار می‌رود که تلفات انسانی، خسارات زیرساختی و خسارات اقتصادی ناشی از سیل در آینده افزایش یابد (۲۰۱۲، Amirahmadi et al)، از اینرو پایش سیلاب و بکارگیری تدابیر مدیریتی، برای مقابله با خطرات ناشی از آن، یکی از پیش‌نیازها و ملزوماتی است که برنامه‌ریزان مدیریت بحران با اقدامات مدیریتی مناسب و برنامه‌ریزی اصولی باید به آن توجه کنند تا با ارائه راهکارها و برنامه‌ریزی‌هایی در راستای اجرای موثر و بهینه و یا به عبارتی با مدیریت مناسب، بتوانند خطرپذیری سیل را کاهش دهند. مدیریت مناسب سیل نیازمند دانستن مکان و زمان دقیق وقوع سیل است. در این راستا در اختیار داشتن نقشه‌های سیلاب که پارامترهای اصلی خطرپذیری بر روی آن‌ها منعکس شده است، یکی از ارکان مدیریت خطرپذیری سیل می‌باشد و می‌تواند در برنامه‌ریزی و مقابله با سیلاب بسیار موثر باشد، و منجر به آماده‌سازی، برنامه‌ریزی و عکس‌العمل مناسب برای مقابله با سیل‌های احتمالی در آینده باشد. لذا هدف اصلی از تهیه این نقشه‌ها کاهش پیامدهای نامطلوب ناشی از سیل بر سلامت انسان، محیط زیست، میراث فرهنگی و فعالیت‌های اقتصادی است. برای این منظور، لازم است که سه نوع اقدام انجام گیرد: (۱) ارزیابی اولیه خطر سیل، به منظور ارزیابی و شناسایی نقاط سیل‌خیز در هر حوضه، (۲) تهیه نقشه‌های سیل و خطرات آن تحت سناریوهای مختلف، و (۳) طرح‌های مدیریتی برای کاهش خطر سیل (۲۰۲۲، Tarpanelli et al). برای ارزیابی خطر سیل، آسیب‌پذیری‌ها ناشی از آن، نقشه‌های مناطقی که قبلاً در آن سیل رخ داده‌است، از اهمیت بالایی برخوردار است، زیرا آنها معیاری برای کالیبراسیون پارامترهای مدل‌های پایش سیل هستند و اطلاعات ارزشمندی را در مورد مناطق سیل‌خیز ارائه می‌دهند و به ذینفعان در فرآیند تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی کمک می‌کند (۲۰۱۵، Massari et al). روش‌های متعددی برای پایش سیلاب وجود دارد که هر کدام از این روش‌ها با خود مزایا و محدودیت‌هایی را به همراه دارد، در حالت کلی می‌توان این روش‌ها را در دو گروه اصلی قرار داد، گروه اول روش‌ها و مدل‌سازی‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی می‌باشد و گروه دوم بر پایه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سنجش از دور است. این تصاویر به دلیل دارا بودن ویژگی‌های شاخصی از قبیل تصویربرداری در شب و روز و در شرایط جوی مختلف از جمله هوای ابری، رایگان و در دسترس پذیری بالای آن، دارا بودن قدرت تفکیک مکانی مناسب، در پایش سیلاب‌ها انتخاب واقع بینانه‌تری برای بررسی مناطق سیل زده می‌باشد. با این حال، محدودیت‌هایی مانند ناتوانی در تمایز بین سطوح آبی و غیرآبی، لکه‌های نویز مانند اصلاح هندسی ممکن است قابلیت SAR^۱ را برای برنامه‌های نقشه‌برداری سیلاب جهانی به چالش بکشد. لذا استفاده از سنجش از دور و به خصوص داده‌های رادار روزنه ترکیبی،

^۱ - Synthetic Aperture Radar

ابزاری مناسب جهت استخراج سریع منطقه سیل زده می باشد که می تواند اطلاعات ارزشمندی را جهت برنامه ریزی و مدیریت زود هنگام بلایای طبیعی خصوصاً سیل فراهم می کند. لذا مطالعات متعددی با استفاده از تکنیک های سنجش از دور و سیستم های اطلاعات جغرافیایی در زمینه پایش سیلاب در ایران و جهان صورت گرفته است که می توان به تحقیقات زیر اشاره نمود.

رحمان و تاکور (۲۰۱۷) به کمک سنجش از دور و داده های ماهواره ای رادار SAR گستردگی سیلاب منطقه کندراپارا^۲ در ایالت اوریسسا^۳ هند را بررسی کردند، نتایج یافته های آنها حاکی از آن بود که بکارگیری SAR همراه با GIS کمک فراوانی در کاهش اثرات سیل و افزایش انعطاف پذیری در روند مدیریت سیل می کند. بورا و همکاران (۲۰۱۸)، به کمک داده های راداری سنتینل ۱، سیلاب پارک ملی کازیرانگا^۴ هند را در طی بارش های موسمی سال ۲۰۱۷ بررسی کردند، نتایج آنها بیانگر این بود که بدلیل قابلیت تصاویر راداری از قبیل قدرت نفوذ و حساسیت بالا به رطوبت خاک استفاده از آنها در مطالعه سیلاب بسیار مفید است و می تواند به کمک این داده ها مدیریت مناسبی از قبیل شناسایی مناطق مناسب جهت ساخت پناهگاه برای حیوانات، شناسایی مناطق مناسب برای عملیات امداد و نجات صورت گیرد. آگنیهورتری و همکاران (۲۰۱۹) به کمک داده های SAR، سیلاب رودخانه رامگانگا^۵ را در منطقه گنگ^۶ بررسی کردند، نتایج آنها حاکی از آن بود که وقوع سیل منجر به تغییراتی در مورفولوژی رودخانه ها و دشت های سیلابی، تغییر عرض کانال رودخانه و سواحل آن می شود، آنها همچنین به این نتیجه رسیدند که پایش سیلاب به کمک تصاویر راداری در منطقه مذکور به بهبود مدیریت منطقه مذکور کمک شایانی می کند. آلبرتو رفیک و همکاران (۲۰۲۰) نیز با استفاده از داده های SAR و InSAR سیلاب منطقه باسیلیکاتا^۷ جنوب ایتالیا را مورد بررسی قرار دادند، نتایج آنها نشان داد که داده های راداری در تشخیص سیلاب از قابلیت بالایی برخوردار است. هروکوآسی و همکاران (۲۰۲۰) به کمک باند C از تصاویر GRD داده های راداری سنتینل ۱، سیلاب رودخانه سن پدرو^۸ ساحل عاج را بررسی کردند، نتایج آنها نشان داد که در طی سه روز، ۶۰۰۰ هکتار از این منطقه به زیر آب رفته است. در تحقیقی دیگر راث و همکاران (۲۰۲۲) با کمک داده های سنتینل ۱- با پوشش زمانی ۱۰ اوت تا ۲۳ سپتامبر سال ۲۰۲۲، سیلاب استان های جنوبی پاکستان از جمله پنجاب، سند و بلوچستان را مورد واکاوی قرار دادند، نتایج آنها حاکی از آن بود که الگوریتم نقشه برداری سیل (TU Wien) با استفاده از سنتینل ۱- در مقیاس بزرگ تا ۸۰٪ به خوبی عمل می کند، بطوری که در بازه زمانی ۶ هفته ای با بررسی منطقه ای به وسعت ۳۰۴۹۲ کیلومترمربع مشخص گردید که این مناطق حداقل یکبار دچار سیل شده اند. غوری و همکاران (۲۰۲۳) نیز با استفاده از مجموعه داده های سنتینل ۱- و تکنیک CDAT به واکاوی سیل در استان سند پاکستان با بازه زمانی ۱۸ اوت ۲۰۲۲ تا ۲۸ اوت ۲۰۲۲ در محیط Google Earth پرداختند.

^۲ Kendrapara

^۳ Orissa

^۴ Kaziranga

^۵ Ramganga

^۶ Ganga

^۷ Basilicata

^۸ San pedro

نتایج آنها نشان داد که در منطقه مورد مطالعه وسعت سیل برابر با ۷۵۹۶۴۲ هکتار بوده است که از این مقدار ۸۴۳۵ هکتار مربوطه به محیط شهری و زراعی، ۴۱۵۴۵۰ هکتار متعلق به زمین‌های زراعی آسیب دیده با ۶۶۳۷۹۷ نفر جمعیت در معرض سیل بوده است. آژند و همکاران (۲۰۲۴) با کمک تصاویر سنتینل-۱ و سنتینل-۲ با الگوریتم OBIA به استخراج وسعت سیلاب استان سند واقع در جنوب شرقی پاکستان پرداختند. یافته‌های آنها نشان داد که وسعت سیلاب در منطقه مورد مطالعه نزدیک به ۲۰۹۹/۴ کیلومترمربع بوده است، که بیشترین حجم سیلاب در زمین‌های کشاورزی و باغ‌ها با ۶۹۵.۲۸ کیلومترمربع (۳۲.۴٪) و ۷۰۸.۶۳ کیلومترمربع (۳۳.۷٪) بوده است.

از مطالعات صورت گرفته برای پایش سیل به کمک تصاویر سنتینل-۱ در ایران می‌توان به مطالعات عمادالدین و همکاران (۱۳۹۸) اشاره کرد، آنها با استفاده از تصاویر راداری SAR، گسترش سیلاب فروردین ۱۳۹۸ شهرستان آق‌قلا را مورد بررسی قرار دادند، نتایج تحقیق آنها بیانگر این بود که در محدوده مورد مطالعه در تاریخ ۲۳ و ۲۹ مارس، به ترتیب ۱۰۷ کیلومتر مربع و ۱۱۵ کیلومترمربع در اثر سیل به زیر آب رفته است. همچنین نتایج بازدید میدانی از این منطقه نشان داد که بارندگی شدید، پرشدن سد وشمگیر، شیب کم منطقه، عدم لایروبی رودخانه، وجود پل‌های متعدد بر روی رودخانه و ارتفاع کم پل‌ها و درصد بالای رس در خاک از عوامل ایجاد سیل در منطقه بوده است. پنجه کوبی و همکاران (۱۳۹۹) با کمک تصاویر و داده‌های راداری، شدت -مدت- مساحت بارش و تاثیر آن بر سیل را بررسی کرد. 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 سیلاب کاهش خواهد یافت. سلیمانی و همکاران (۱۳۹۹) به کمک تصاویر سنتینل ۲ خسارات سیلاب فروردین ۱۳۹۸ استان گلستان را بررسی کردند، نتایج آنها با آشکارسازی پهنه خسارات سیل و انطباق آن با واقعیت‌های زمینی، حاکی از آن بود که داده‌های راداری از دقت بالایی در تشخیص خسارت‌های سیل در محدوده مکانی و زمانی مورد مطالعه داشته است. سلیمانی ساردو و همکاران (۱۳۹۹) نیز با استفاده از تصاویر سنتینل ۱ سیلاب فروردین ۱۳۹۹ جنوب استان کرمان را به کمک الگوریتم جنگل تصادفی بررسی کردند. نتایج بررسی آنها نشان داد درصد آب گرفتگی جنوب استان با توجه به کاربری آنها به ترتیب برای اراضی بایر ۲۷.۹ درصد، مسکونی ۱۶ درصد، و مرتع ۱۲ درصد بود. محمدنژاد آروق (۱۳۹۹)، با استفاده از تصاویر راداری سنتینل ۱، نقشه گسترش سیلاب فروردین ۱۳۹۸ را برای شهرستان پلدختر به کمک روش آستانه‌گذاری اتسو تهیه کرد. نتایج نشان داد که گسترش سیل ضمن تغییر ژئومورفولوژیکی رودخانه کشکان منجر به زیر آب رفتن ۷/۹۹ کیلومتر مربع از اطراف رودخانه شده است. قهرمان و همکاران (۱۴۰۱) مناطق مستعد سیلاب برای رودخانه کشکان استان لرستان را به کمک تصاویر راداری سنتینل ۱- با آستانه‌گذاری Otsu مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که براساس بارش فرودین ماه ۱۳۹۸ در محدوده کشکان رود، با بارش ۴۶ میلی‌متر، ۵۱ درصد از منطقه و با بارش ۳۱ میلی‌متر، ۶۹ درصد از منطقه در کلاس سیلابی قرار می‌گیرد، همچنین نشان دادند که محل پیچان‌رودها از مهمترین مناطق مستعد سیلاب در مسیر رودخانه کشکان به شمار می‌روند. پیمان‌خواه و همکاران (۱۴۰۲) به‌منظور پایش سیلاب رودخانه کشکان پلدختر از

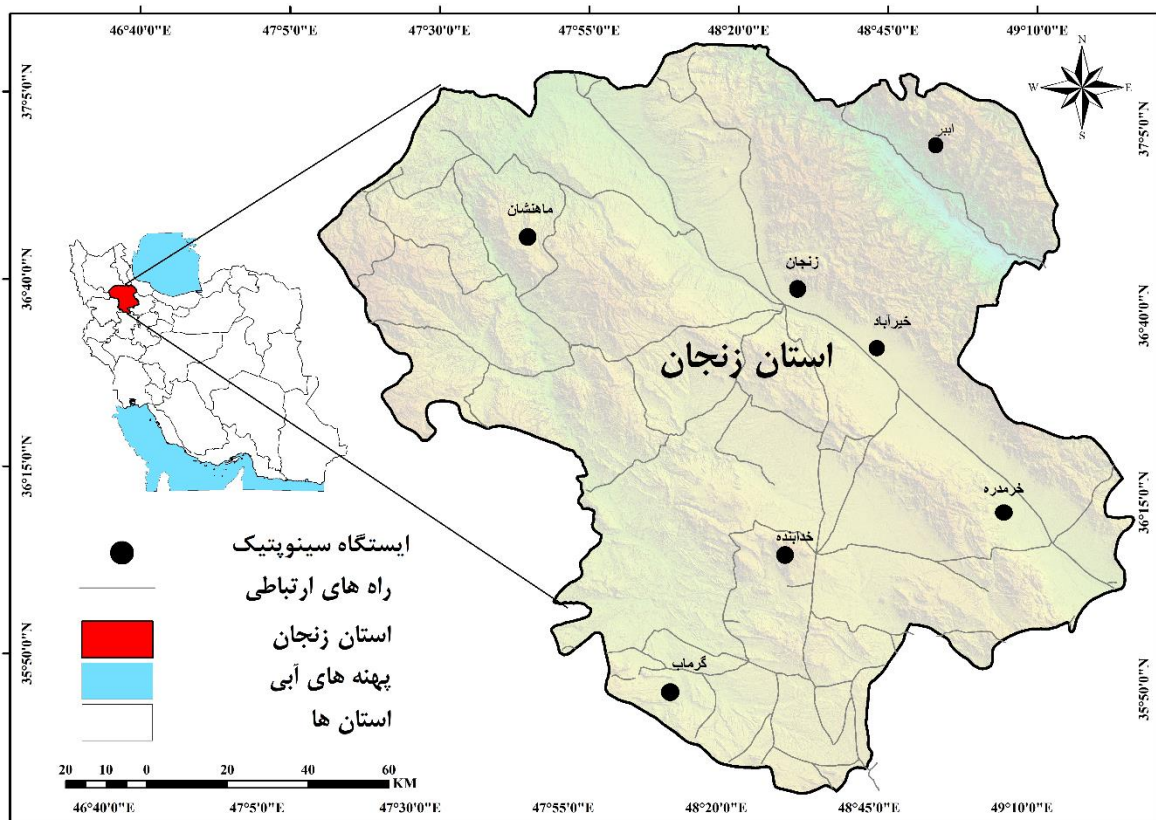
تصاویر سری زمانی سنتینل-۱ و لندست ۸ و داده‌های کمکی سامانه GEE استفاده نمودند و نتایج مطالعات آنها نشان داد که تصاویر سنتینل-۱ دارای عملکرد مناسبی برای شناسایی مناطق سیل‌زده و تشخیص تغییرات شدید می‌باشد.

در تحقیق حاضر سعی شد با در نظر گرفتن اطلاعات حاصل از تصاویر سنتینل ۱، نقشه وسعت آب ناشی از سیلاب خرداد ماه زنجان ۱۴۰۲ تهیه و مورد ارزیابی قرار گرفت، تهیه این نقشه می‌تواند در مدیریت و برنامه‌ریزی کاربری اراضی در سیلاب دشت‌ها، بالا بردن سطح آگاهی و هشدار به مردم از نقاط سیل‌خیز منطقه، توسعه طرح‌های کاهش خطرات سیلاب، تهیه برنامه‌های جامع مدیریت خطرپذیری سیلاب و تهیه دستورالعمل رویارویی و تاب‌آوری با شرایط بحرانی مورد استفاده قرار گیرد.

روش تحقیق

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 و از شمال با استان‌های اردبیل و آذربایجان شرقی، از جنوب با استان همدان، جنوب غربی و شرقی به ترتیب با کردستان و قزوین و شمال غربی و شرقی نیز به ترتیب با استان‌های آذربایجان غربی و گیلان همسایه می‌باشد (شکل ۱). استان زنجان با میانگین دمای ۴/۹ درجه سانتیگراد تا ۱۷/۵ درجه سانتیگراد دارای تنوع آب‌وهوایی متنوع همانند آب‌وهوای نسبتاً گرم در منطقه طارم و ماهنشان، آب و هوای سرد در سایر مناطق استان مشهود است. میانگین بارندگی سالانه در استان زنجان بین ۴۰۰-۲۰۰ میلی‌متر است که بیشتر از میانگین بارش کشور می‌باشد. محدوده مورد مطالعه دارای چندین حوضه آبخیز و سیل‌آسا است که از برجسته‌ترین آن سیستم رودخانه‌ای قزل اوزن است. قزل اوزن یکی از مهم‌ترین، بزرگ‌ترین و مشهورترین رودخانه‌های ایران در شمال غرب ایران و یک رود دایمی به درازای ۷۶۵ کیلومتر و شیب متوسط ۰/۳ درصد است که از ارتفاعات چهل چشمه کردستان سرچشمه می‌گیرد. ارتفاع سرچشمه این رودخانه ۲۳۰۰ متر و ارتفاع ریزشگاه آن ۲۵- متر است و پس از عبور از استان‌های زنجان، آذربایجان شرقی و اردبیل ضمن دریافت شاخه‌های متعدد در طول مسیر خود در استان گیلان با رودخانه‌ی شاهرود تلاقی و وارد مخزن سفیدرود می‌گردد. وسعت حوضه‌ی آبخیز آن نزدیک به ۴۹۴۰۰ کیلومتر مربع است (Rezaei Moghaddam et al, ۲۰۱۲).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

داده‌ها و روش پژوهش

روش تحقیق

گام نخست: جمع‌آوری داده

در این مطالعه داده‌های مورد استفاده برای شناسایی محدوده آبی سطح زمینی در استان زنجان به کمک Sentinel-1 از سایت <https://scihub.copernicus.eu> به دست آمد. داده‌های ماهواره‌های Sentinel-1 با ویژگی‌های مختلفی همچون رزولوشن مکانی و طول موج (فرکانس راداری) بالا قابلیت این را دارد که تغییرات بسیار جزئی را با دقت بالاتری تعیین نماید. از ماموریت Sentinel-1 با دو پلاریزاسیون VV/VH و رادار درپچه مصنوعی (SAR) باند C با فرکانس ۵.۴۰۴ گیگاهرتز این است که در تمامی شرایط آب و هوایی بصورت شبانه‌روز با دوره بازنگری ۱۲ روزه تصاویر تهیه می‌کند. لذا تصاویر SAR برای قبل و بعد از سیل از سایت کوپرنیکوس با پلاریزیشن VV+VH اخذ گردید، این فواصل زمانی به منظور بررسی تغییرات حجم آب سیلابی و عقب نشینی آن در سطح منطقه بوده است (جدول ۱). بررسی بارندگی ماهانه استان زنجان برای سال ۱۴۰۲ به منظور آگاهی از میزان بارش رخ داده از سازمان هواشناسی اخذ شده است.

جدول ۱- مشخصات تصاویر مورد استفاده از سنتینل ۱- (اخذ شده از سایت کوپرنیک)

Table ۱- Specifications of the images used

Acquisition Date	spacing & Pixel	Polarization	Mode	Pass	flood condition
۲۰۲۳.۰۵.۲۲	۱۰*۱۰ m	VV-VH	IW	Descending	Pre-flood
۲۰۲۳.۰۶.۱۵	۱۰*۱۰ m	VV-VH	IW	Descending	Post-flood

گام دوم: پیش پردازش داده‌های SAR

داده‌های خام Sentinel-۱ برای پیش‌پردازش در پلتفرم کاربردی SNAP^۹ وارد شد. داده‌ها طی مراحل مختلفی به این صورت پردازش شدند: ابتدا به اندازه حدود منطقه مورد مطالعه برش مکانی انجام شد سپس با استخراج اطلاعات مداری تصویر و حذف خطاهای ناشی از سنجنده، مقادیر بازپراکنده شده 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 بازپراکنده شده از فیلتر حذف لکه استفاده شد تا با حفظ وضوح و جزئیات تصویر، نویز لکه حذف گردد (Amini et al, ۲۰۲۲). در ادامه با توجه به حرکات، ناهمواری و سیستم سنجنده که باعث خطاهای سیستمی و غیرسیستمی داده‌های سنجش از دور می‌شود، برای رفع آن از تصحیحات هندسی برای تصاویر استفاده شد. در گام بعدی بعد از اخذ و پیش‌پردازش هر دو تصویر، جهت شناسایی و تفکیک پهنه‌های آبی و غیرآبی از بازپراکنش پیکسل‌ها استفاده شد، پیکسل‌های مناطق دارای پهنه آبی، دارای ضرایب باز پراکنش پایین و مناطق غیرآبی دارای ضرایب بازپراکنش بالا بودند. به منظور تفکیک بازپخش آب و غیرآب حد آستانه با عدد یک و صفر انتخاب گردید سپس با استفاده از تصویر رنگ کاذب و با استفاده از کلاس‌بندی نظارت شده منطقه سیلاب را از محیط‌های غیرسیلابی و محیط‌هایی که قبلاً دارای آب بودند با فرمول نویسی ساده، از یکدیگر تفکیک شدند. در ادامه تصاویر سیگمانات به تصاویر دسیبل تبدیل گردید. در تصویر دسیبل، هیستوگرام تصویر از حالت چوله به حالت نرمال تغییر شکل داده تا پدیده‌ها بارزتر دیده شوند. مقادیر سیگمانات کمتر از حد آستانه استخراجی، معادل آب و ارزش‌های سلولی بالاتر از حد آستانه، به عنوان مناطق غیرآبی، مد نظر قرار گرفتند، سپس از الگوریتم طبقه‌بندی نظارت‌شده جنگل تصادفی، برای طبقه‌بندی تصاویر رادار قبل و بعد از وقوع سیل استفاده شد. الگوریتم جنگل تصادفی، یک الگوریتم یادگیری ماشین ناپارامتری مبتنی بر دسته‌ای از درخت‌های تصمیم است که همزمان با رشد خود، درختان تصادفی بیشتری را با توجه به ویژگی پیکسل یا پدیده طبقه‌بندی به مجموعه اضافه می‌کند (Jahanbakhshi & Ekhtesasi, ۲۰۹).

گام سوم: پس پردازش تصاویر

در نهایت براساس طبقه‌بندی انجام شده کل منطقه به سه پهنه سیل‌زده، مناطق دارای آب (از قبل دارای آب بودند) و سایر اراضی در محیط نرم‌افزار SNAP-۶ تقسیم شدند. در گام بعدی در محیط ENVI، به کمک الگوریتم درخت، داده‌های رستر باینری طبقه‌بندی شده، پردازش گردید. با توجه به اینکه الگوریتم درخت روشی نظارت‌شده و تحت کنترل کاربر است، بدلیل غیرمتریک بودن جداسازی از نقشه خروجی استخراج شوند (Zambon et al, ۲۰۰۶).

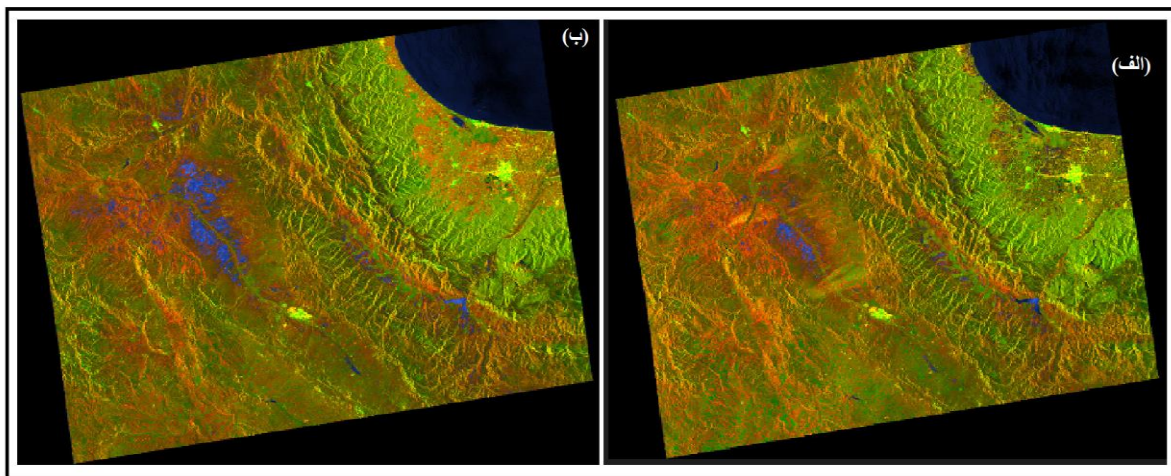
^۹ - Sentinels Applicatin Platform

گام آخر : تبدیل تصاویر به فایل بردار

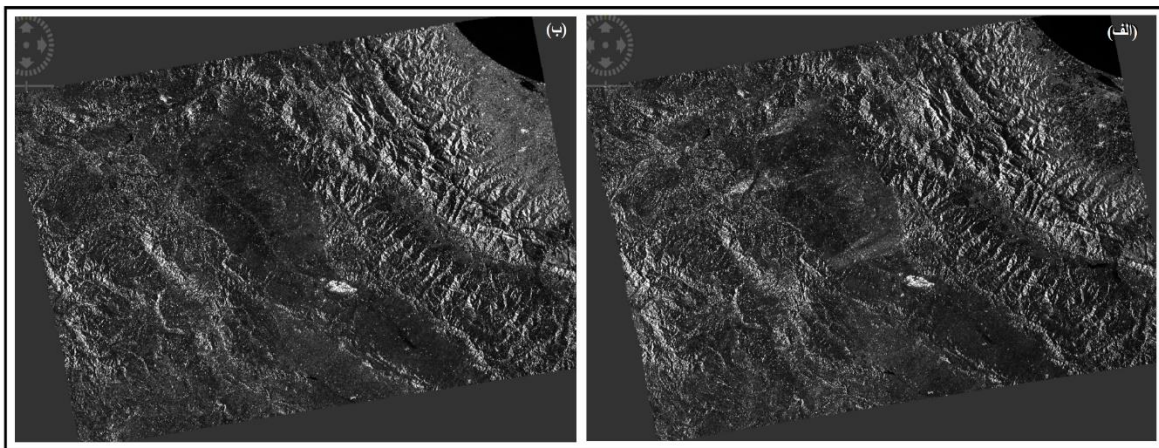
نقشه نهایی به منظور تبدیل به فایل بردار به محیط ArcGIS وارد شده و داده‌های بردار با نقشه کاربری اراضی اخذ شده از LAND COVER برای مناطق مورد مطالعه جهت برآورد اراضی با کاربری‌های مختلف که در مسیر عبور سیل هستند، روی هم‌گذاری شدند. در ادامه برای تحلیل بهتر از نقشه ارتفاع منطقه نیز استفاده شد.

بحث و نتایج

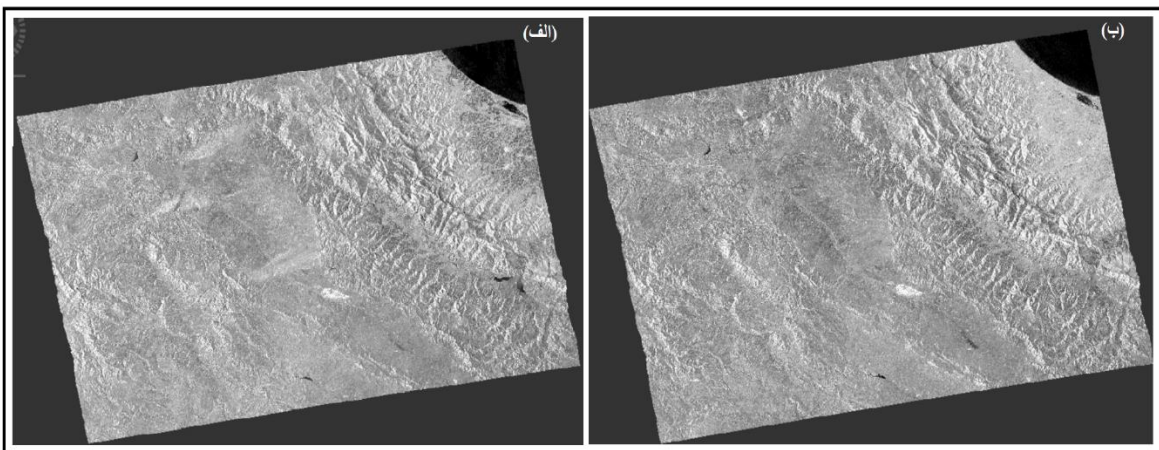
براساس داده‌های اداره کل هواشناسی استان زنجان از تاریخ ۱ تا ۳۱ خرداد ۱۴۰۲ بارندگی شدیدی به تناوب در برخی از شهرستان‌های استان زنجان اتفاق افتاده که در طی دهه گذشته این میزان بارش بی سابقه بوده، بطوری که در یکی از ایستگاه‌ها در عرض ۹۰ دقیقه مقدار بارش به ۲۹ میلی‌متر (شهرستان زنجان) رسید، رخداد بارش بسیار تند و رگباری در خرداد ماه ۱۴۰۲ باعث آبگرفتگی و وقوع سیل در برخی از مناطق شمال استان زنجان، بویژه طارم گردید. در این پژوهش به منظور شناسایی مساحت مناطق سیل‌زده و وسعت آب سیلاب برای قبل و بعد از وقوع سیل تصاویر سنتینل-۱ از سایت کوپرنیک اخذ شد (شکل ۲) و در نرم افزار SNAP عملیات پیش پردازش مطابق شکل ۲ بر روی آن‌ها صورت گرفت، در ادامه برای تفکیک پهنه‌های آبی و غیرآبی، از هیستوگرام تصاویر استفاده شد که در آن پیکسل‌های با ضریب باز پراکنش پایین‌تر نشان‌دهنده پهنه‌های آبی و پیکسل‌هایی با باز پراکنش بالاتر نشان دهنده پهنه‌های غیرآبی بودند. با بررسی تصاویر سیگما بعد از انجام پیش پردازش آن دسته از مناطقی که مقادیر سیگمانات آنها کمتر ۰/۰۱ بود بعنوان محدوده آبی در نظر گرفته شد. با انتخاب مقدار ۰/۰۱ با استفاده از تحلیل هیستوگرام تصویر، برای تفکیک ارزشی که آب را از غیر آب جدا می‌کند، مشخص شد که حجم آب سیلابی برای قبل و بعد از سیل خرداد ماه سال ۱۴۰۲ تغییرات چشمگیری داشته است، بطوری که تصویر مربوط به بازه‌ی قبل از سیلاب (شکل ۲-الف) دارای نقاط تیره کمتر و تصویر بعد از وقوع سیلاب (شکل ۲-ب)، دارای نقاط تیره رنگ بیشتری بود، وجود نقاط تیره رنگ در قسمت‌های شمالی استان بویژه در محدوده طارم در سیگمانات صفر بسیار مشهودتر بود که این امر بیانگر این است که حجم آب وارد شده به قسمت‌های شمالی استان مساحت بیشتری را پوشش می‌دهد (شکل ۳). در ادامه بعد از انجام فرایند های یاد شده در روش کار و حذف مناطق آبی که از قبل در منطقه وجود داشت، برای بدست آوردن نقاط سیلابی با استفاده از ابزار Band Math یک تصویر جدید ایجاد شد که نشان‌دهنده پهنه‌بندی مشخصی از سیلاب بود. سپس برای اینکه تصویر سیلاب بارزتر مشخص گردد، تصویر از سیگمانات به دسیبل تبدیل شد (شکل ۴)، در تصویر دسیبل، هیستوگرام تصویر از حالت چوله به حالت نرمال تغییر شکل داده و پدیده‌ها بارزتر دیده می‌شوند. مقادیر سیگمانات کمتر از حد آستانه استخراجی، معادل آب و ارزش‌های سلولی بالاتر از حد آستانه، به عنوان مناطق غیرآبی، مدنظر قرار گرفتند. سپس با استفاده از الگوریتم طبقه بندی نظارت شده جنگل تصادفی، نقشه خروجی در سه کلاس پهنه آبی همچون مسیر ورود آب به به رنگ آبی، مناطق سیل‌زده با رنگ زرد و سایر با رنگ خاکستری طبقه بندی شد.



شکل ۲- تصاویر ۲۲ می (الف) و ۱۵ ژوئن (ب) سال ۱۴۰۲ برای منطقه مورد مطالعه .



شکل ۳- تصاویر سیگمای صفر ۲۲ می (الف) و ۵ ژوئن (ب) سال ۱۴۰۲ برای منطقه مورد مطالعه .



شکل ۴- تصاویر دسیبل ۲۲ می (الف) و ۵ ژوئن (ب) سال ۱۴۰۲ برای منطقه مورد مطالعه .

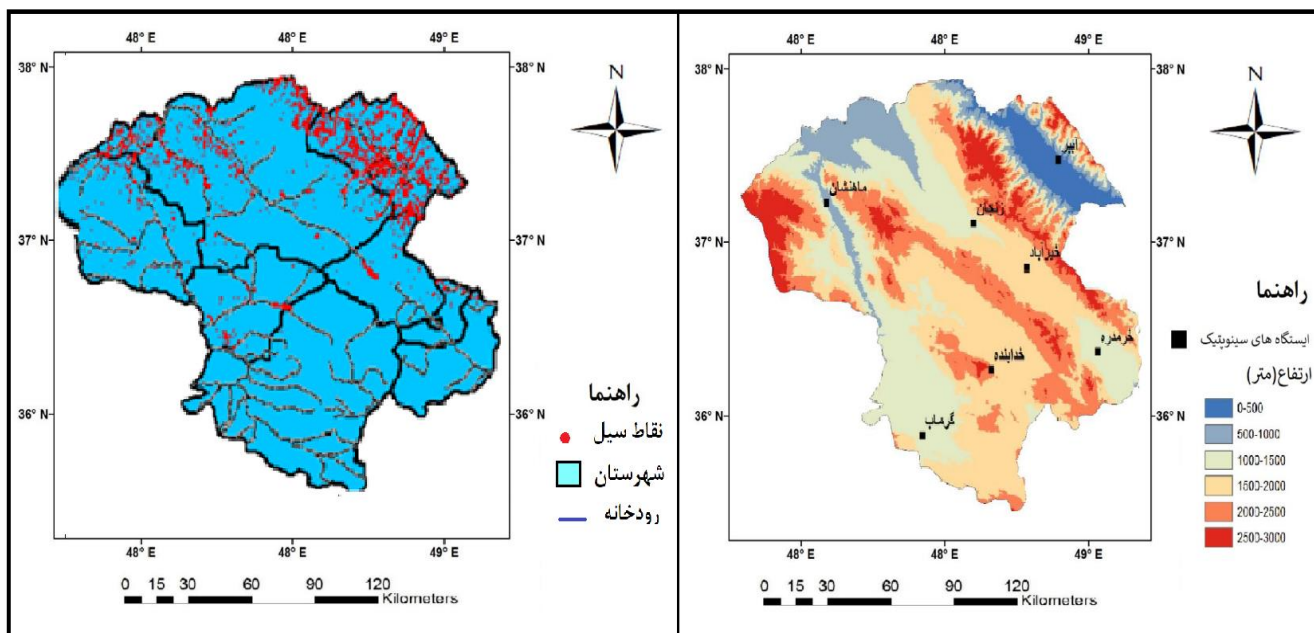
در نهایت بعد از طبقه‌بندی مجدد با استفاده از الگوریتم درخت تصمیم‌گیری به منظور بالابردن دقت مطلوب و قابل قبول کلاس‌ها نقشه خروجی به نرم‌افزار ArcGIS منتقل گردید و مساحت مناطق سیل‌زده به تفکیک شهرستان‌ها تفکیک گردید (جدول ۲).

جدول ۲- مساحت مناطق سیل‌زده استان زنجان (خرداد ماه ۱۴۰۲)

شهرستان	تعداد پلیگون سیل	وسعت آب ناشی از سیل (هکتار)	شهرستان	تعداد پلیگون 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			

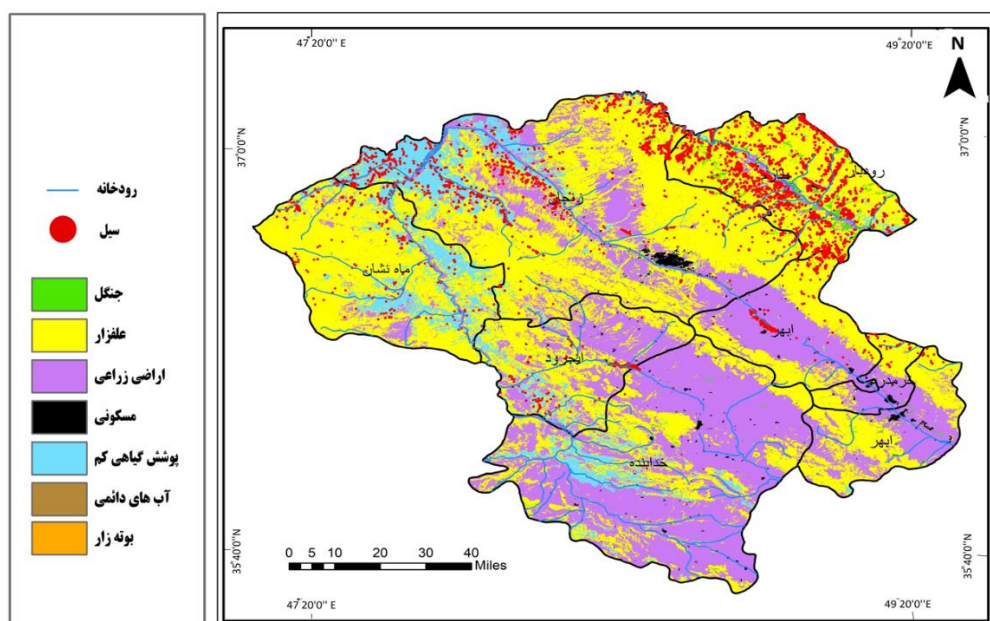
تصاویر (۵-الف) نشان‌دهنده تغییرات بارز در حجم آب گرفتگی بعد از گذشت هفت روز از وقوع سیلاب در منطقه است. این تصویر گویای این موضوع است که بیشترین وسعت آب در مناطق شمالی استان در مجاورت رودخانه‌های اصلی و فرعی حوضه آبریز قزل‌اوزن بویژه در شهرستان طارم بوده است. طبق جدول (۲) شهرستان طارم با ۳۱۲/۰۶۷۱۹۲ هکتار آب‌گرفتگی بیشترین وسعت آب ناشی از سیلاب را داشته‌است که پس از آن بیشترین تعداد پلیگون در شمال شهرستان زنجان در محدوده حوضه آبخیز قزل‌اوزن، زنجانرود پایین، چایپاره، غنی‌بیگلو آب‌گرفتگی بالایی با وسعت ۱۵۰/۷۱۳۱۹۳ هکتار دیده شد که عمده این آب‌گرفتگی‌ها تحت تاثیر ژئومورفولوژی منطقه در اطراف رودخانه قزل‌اوزن رخ داده است. عمده آب ناشی از سیل در ماهنشان عمدتاً در قسمت شمالی شهرستان ماهنشان در بخش‌های ماهنشان و اورباد با ۳۷۵ پلیگون و وسعت آب ناشی از سیل ۲۶/۶۱۸۰۸۶ هکتار دیده شد. در شهرستان ایجرود در زرین‌آباد، در مسیر رود ایجرود بیشترین وسعت آب ناشی از سیلاب در مسیر رود ایجرود با وسعت ۲۱/۰۶۴۰۵ و با آب‌گرفتگی متمرکز با پلیگونی ۲۴۵ بوده است، در شهرستان ابهر نیز آب ناشی از سیلاب در مرکز سلطانیه در زنگان رود (یکی از شعب رودخانه قزل‌اوزن) با وسعت ۹۶ هکتار به صورت متمرکز با ۵۴۷ پلیگون سیل در اطراف رودخانه دیده شد.

در سیلاب خرداد ۱۴۰۲ استان زنجان، ارتفاع منطقه یک عامل کلیدی در کنترل جهت حرکت سیلاب و ماندگاری آب بر روی سطح زمین بود (۵-ب). میزان عقب‌نشینی آب سیلاب در ارتفاعات کمتر از ۵۰۰ متر در مقایسه با ارتفاعات بالاتر خیلی کم بود به نحوی که در ارتفاع ۱۰۰۰ متر به بالا ماندگاری آب دیده نشد، در نقاط مرتفع زنجان همچون قسمت‌هایی از طارم، زنجان و ماهنشان بعد از وقوع نزولات جوی آب سریع‌تر از مناطق کم ارتفاع و مسطح جریان پیدا کرده بود بطوریکه بعد از هفت روز از وقوع سیل ماندگاری آبی در این ارتفاعات دیده نشد. در حالیکه که در ارتفاعات کمتر از ۵۰۰ متر که عمدتاً شامل نواحی کم ارتفاع حوضه آبریز قزل‌اوزن و رودخانه‌های اصلی و فرعی آن بود، عمده رواناب‌ها در چاله‌های توپوگرافی طارم و زنجان جمع گردید، در این مناطق پست بودن منطقه باعث پخش‌شدگی آب سیلاب و آب‌گرفتگی گسترده‌ای حتی در مراکز جمعیتی این مناطق شد.



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

به منظور بررسی سیل و کاربری اراضی برای تجزیه و تحلیل آب گرفتگی هر طبقه نقشه کاربری اراضی تهیه شد، این تصویر نشان دهنده اثرات کاربری اراضی بر وسعت پهنه‌های سیل و بازه‌ی زمانی ماندگاری آبگرفتگی در منطقه مورد مطالعه بود. با توجه به اینکه بعد از هفت روز از وقوع سیلاب در برخی از مناطق استان زنجان بسیاری از مناطق از آبگرفتگی خارج شده بودند، با این وجود بیشترین وسعت آب سیلاب بر روی پوشش علفزار عمدتاً در شهرستان طارم و قره پشتلو مشاهده گردید، در واقع نواحی علفزار که در مجاورت رودخانه‌های اصلی و فرعی حوضه آبریز قزل‌اوزن بودند، بعد از هفت روز همچنان مغروق باقی ماندند، این پوشش گیاهی در اطراف حوضه‌های آبریز اطراف قزل‌اوزن بدلیل دارا بودن پوشش گیاهی فقیر و نفوذپذیری کمتر، رواناب بیشتری تولید نموده و مستعد سیل می‌باشند. در ادامه با بررسی سیلاب و کاربری اراضی مشخص شد که بعد از پوشش علفزار بیشترین وسعت آب سیلاب بر روی زمین‌های زراعی با مساحت کمتر ولی با تراکم بالا در شهرهای ابهر و ایجرود در حوضه آبریز قزل‌اوزن و قسمت‌هایی از شمال شهرستان زنجان و ماهنشان می‌باشند. وجود این نوع پوشش گیاهی منجر به نارسایی در نفوذپذیری نزولات جوی در این مناطق شده است، لذا پتانسیل سیل این مناطق را بیشتر کرده است (شکل ۶).



شکل ۶- نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر سیل خرداد ۱۴۰۲ استان زنجان

نتیجه‌گیری

در پژوهش پیش‌رو به منظور سنجش وسعت آب‌ناشی از سیل و تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب برای خرداد ماه استان زنجان و ارزیابی عوامل موثر بر آن همچون ارتفاع و پوشش گیاهی، تصاویر سنتینل ۱- برای قبل و بعد از وقوع سیل تهیه، پردازش و در سه کلاس طبقه‌بندی و آنالیز شد و مشخص شد که بیشترین حجم سیلاب وارد شده به استان زنجان مربوط به شمال استان بویژه شهرستان طارم بوده است. بطور کلی شهرستان طارم با ۳۱۲/۰۶۷ هکتار، شهرستان زنجان با ۱۵۰/۷۱۳ هکتار در اثر سیل به زیر آب رفته بودند. همچنین بررسی عامل ارتفاع در سیل‌خیزی منطقه نشان داد که ارتفاعات کمتر از ۵۰۰ متر که عمدتاً شامل زیرحوزه‌های قزل‌اوزن و رودخانه‌های اطراف آن بودند، پتانسیل بالایی در آب‌گرفتگی داشته‌اند. بررسی پوشش سطح زمین در قسمت‌های آب‌گرفتگی نیز نشان داد که پوشش گیاهی علفزار بدلیل نارسایی در نفوذپذیری نزولات جوی در این مناطق، پتانسیل سیل‌خیزی این مناطق را بیشتر کرده است. نتایج این مطالعه نشان داد که بکارگیری تصاویر سنتینل ۱- اطلاعات مفیدی جهت شناسایی پهنه-های سیل‌خیز منطقه فراهم می‌کند که این اطلاعات می‌تواند چارچوبی برای پهنه‌بندی خطر سیل برای استان زنجان باشد و با نتایج مطالعات قهرمان و همکاران (۱۴۰۱) و پیمان‌خواه و همکاران (۱۴۰۲) مطابقت دارد. لذا استفاده از اطلاعات حاصل از تصاویر سنتینل ۱- می‌تواند به مدیران اجرایی در کاهش اثرات مخرب سیلاب‌ها، کمک کند تا بتوانند بهترین تصمیمات را برای آمادگی و مقابله با سیل‌های احتمالی آینده اتخاذ نمایند.

- Agnihotri, A. K., Ohri, A., Gaur, S., Das, N. and Mishra, S. (۲۰۱۹). Flood inundation mapping and monitoring using SAR data and its impact on Ramganga River in Ganga basin. Environmental monitoring and assessment, ۱۹۱(۱۲), ۱-۱۶. DOI: [10.1007/s10661-019-۷۹۰۳-۴](https://doi.org/10.1007/s10661-019-۷۹۰۳-۴)
- AMINI, LEILA, ARGANY, MEYSAM, & Abdollahi Kakroodi, Ataollah. (۲۰۲۲). Detection of Flooded Areas in Golestan Province Using VV, VH and VV + VH Polarizations of Sentinel-۱ and Landsat-۸ Images. GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL STUDIES, ۱۱(۴۳), ۹۴-۱۰۷. SID. <https://sid.ir/paper/۱۰۳۴۸۲۷/en>. DOI: [10.3390/rs12020266](https://doi.org/10.3390/rs12020266)
- AMIRAHMADI, A., KERAMATI, S., & AHMADI, T. (۲۰۱۲). MICROZONING OF FLOOD HAZARD IN NEYSHABUR IN ORDER TO URBAN DEVELOPMENT. RESEARCH AND URBAN PLANNING, ۲(۷), ۹۱-۱۱۰. SID. <https://DOI.Sid.ir/۲۲۰۳۴۶.en>
- AMIRAHMADI, ABOLGHADEM, EBRAHIMI, MAJID. (۲۰۱۲). MICROZONATION OF FLOOD RISK IN SABZEVAR SUBURB WITH THE AIM OF SUSTAINABLE URBAN DEVELOPMENT. ENVIRONMENTAL BASED TERRITORIAL PLANNING (AMAYESH), ۵(۱۶), ۱۷-۳۲. SID. <https://DOI.sid.ir/paper/۱۳۰۵۹۰/en>
- Azhand, D. Pirasteh, S. Varshosaz, M. Shahabi, H. Abdollahabadi, S. Teimouri, H. Pirnazar, M. Wang, X & Li, W. (۲۰۲۴). Sentinel ۱a-۲a 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-۱-۲۰۲۴. ۷-۱۷. ۱۰,۵۱۹۴/isprs-annals-X-۱-۲۰۲۴-۷-۲۰۲۴. DOI: [10.1080/16743011.2024.1192304](https://doi.org/10.1080/16743011.2024.1192304)
- Borah, S. B. Sivasankar, T. Ramya, M. N. S. & Raju, P. L. N. (۲۰۱۸). Flood inundation mapping and monitoring in Kaziranga National Park, Assam using Sentinel-۱ SAR data. Environmental monitoring and assessment. ۱۹۰(۹): ۵۲۰. DOI: [10.1007/s10661-018-6893-y](https://doi.org/10.1007/s10661-018-6893-y)
- Emadodin, S., & Mohammad Ghasemi, M. (۲۰۲۱). Monitoring of flood expansion maps using radar images (SAR) (Case study: Flood in March ۲۰۱۹, Aq Qala city). Climate Change Research, ۲(۶), ۷۹-۹۶. DOI: [10.30488/ccr.2021.3.8697.1053](https://doi.org/10.30488/ccr.2021.3.8697.1053)
- Ghahraman, k. Zanganeh Asadi, m. a. (۲۰۲۲), Determination of flood-prone areas using Sentinel-۱ Radar images (Case study: Flood on March ۲۰۱۹, Kashkan River, Lorestan Province), <https://civilica.com/doc/۱۶۱۷۶۸۴>. DOI: [10.61186/jeer.14,1,1](https://doi.org/10.61186/jeer.14,1,1)
- Ghouri, A.Y. Ur Rehman, A. Rasheed, F., Miandad, M., & Rehman, G. (۲۰۲۳). Flood Mapping Using the Sentinel-۱ SAR Dataset and Application of the Change Detection Approach Technique (CDAT) to the Google Earth Engine in Sindh Province, Pakistan. Ecological Questions, ۳۵(۲), ۱-۱۸. <https://DOI.org/10.12770/EQ.2024.024>

Jahanbakhshi, F. and Ekhtesasi, M. R. (۲۰۱۹). 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)*. ۲۲(۴): ۲۳۵-۲۴۷. DOI: [۱۰,۲۹۲۰۲/jstnar.۲۲,۴,۲۳۵](https://doi.org/10.29202/jstnar.22,4,235)

Kouassi, Hervé & Alexis, N'go & Anoh, Kouao & Tanoh, Jean-Jacque & Koua, Tanoh & Stoleriu, Cristian Constantin & Rezgallah, Hani & Al-Amoush, Al-Hamed & Al-Bayt, Al & University, Jordan & Reviewers, & Yang, Jianhui. (۲۰۲۰). Contribution of Sentinel ۱ Radar Data to Flood Mapping in the San-Pédro River Basin (South-west Côte d'Ivoire), *Asian Journal of Geographical Research*, ۳(۲): ۱-۸, ۲۰۲۰: article no. AJGR. ۵۵۹۵۹. ISSN: ۲۵۸۲-۲۹۸۵. DOI: [۱۰,۹۷۲۴/ajgr/۲۰۲۰/v3i23.101](https://doi.org/10.9724/ajgr/2020/v3i23.101)

Massari, C., Tarpanelli, A., and Moramarco, T. (۲۰۱۵). A fast simplified model for predicting river flood inundation probabilities conditioned on flood extent data, *Hydrol. Process.*, ۲۹, ۲۲۷۵-۲۲۸۹, [https://doi.org/10,100۲/hyp.1۰۳۶۷](https://doi.org/10.1002/hyp.10367), ۲۰۱۵. [https://doi.org/10,100۲/hyp.1۰۳۶۷](https://doi.org/10.1002/hyp.10367)

Mohamad Nejhad, V. (۲۰۲۱). Flood extent area mapping using sentinel ۱ SAR image (a case study: the flood of Poledokhtar, march ۱۳۹۸). *Geographical Planning of Space*, ۱۱(۴۱), ۶۹-۸۰. DOI: [۱۰,۳۰۴۸۸/gps.۲۰۲۰,۲۲۶۳۸۷,۳۲۲۴](https://doi.org/10.30488/gps.2020,226387,3224).

Namazi Rad, A., Mohseni, N., & Hosseinzadeh, S. R. (۲۰۲۱). Flood inundation monitoring using Sentinel SAR data and hydraulic modeling. *Quantitative Geomorphological Research*, ۱۰(۳), ۴۰-۵۶. DOI: [۱۰,۲۲۰۳۴/gmpj.۲۰۲۱,۳۱۱.۵۳,۱۳۱۱](https://doi.org/10.22034/gmpj.2021,311.53,1311)

panjehkoobi, P., jrayahni parvari, M., javardi, M., & rahmannia, M. R. (۲۰۲۰). Investigation of Intensity- Duration- Area of Rainfall and its Impact on Floods Using Radar Images (Case Study of the Flood on May ۲۰۱۴). *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, ۱۲(۱), ۷۳-۸۶. DOI: [۱۰,۵۲۰۴۷/gisj.۱۲,۱,۷۳](https://doi.org/10.52047/gisj.12,1,73).

Peymankhah, P., Attarchi, S., & Moharrami, M. (۲۰۲۳). Rapid Flood Monitoring Using Sentinel-۱ and Landsat-۸ Images (Case study: Kashkan River, Poldakhter City). *Nivar*, ۴۷(۱۲۲-۱۲۳), ۸۲-۹۴. DOI: [۱۰,۳۰۴۶۷/nivar.۲۰۲۳,۴۱۷۴۱۳,۱۲۶۰](https://doi.org/10.30467/nivar.2023,417413,1260).

Peymankhah, P., Attarchi, S., & Moharrami, M. (۲۰۲۳). Rapid Flood Monitoring Using Sentinel-۱ and Landsat-۸ Images (Case study: Kashkan River, Poldakhter City). *Nivar*, ۴۷(۱۲۲-۱۲۳), ۸۲-۹۴. DOI: [۱۰,۳۰۴۶۷/nivar.۲۰۲۳,۴۱۷۴۱۳,۱۲۶۰](https://doi.org/10.30467/nivar.2023,417413,1260).

Rahman, R., and Thakur, P. (۲۰۱۷). 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*. ۱۰,۲. DOI: [۱۰,۱۰۱۶/j.ejrs.۲۰۱۷,۱۰,۰۰۲](https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017,10,002)

Refice, Alberto and Capolongo, Domenico and Pasquariello, Guido and D'Addabbo, Annarita and Bovenga, Fabio and Nutricato, Raffaele and Lovergine, Francesco P. and Pietranera, Luca, "SAR and InSAR for Flood Monitoring: Examples With COSMO-SkyMed Data," in

IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol. ۷, no. ۷, pp. ۲۷۱۱-۲۷۲۲, July ۲۰۱۴, DOI: ۱۰.۱۱۰۹/JSTARS.۲۰۱۴.۲۳.۰۱۶۰.

REZAEI MOGHADDAM, M.H., SERVATI, M.R., & ASGHARI SARESKANROOD, SAYYAD. (۲۰۱۲). INVESTIGATE OF MEANDER PATTERN OF GEZEL OZAN RIVER BY USE OF CENTRAL ANGEL AND SINUOSITY RATIO INDEXES. GEOGRAPHY, ۱۰(۳۴), ۸۰-۱۰۲. SID. <https://sid.ir/paper/۱۰۰۵۳۳/en>. DOI: ۱۰.۶۱۱۸۶/jwmr.۲۰۱۲.

Roth, F., Bauer-Marschallinger, B., Tupas, M. E., Reimer, C., Salamon, P., & Wagner, W. (۲۰۲۲). Sentinel-۱ based analysis of the Pakistan Flood in ۲۰۲۲ (۱,۰,۰) [Data set]. TU Wien. <https://DOI.org/۱۰.۴۸۴۳۶/zvvmh-nan۷۸>.

SOLAIMANI, KARIM, Sharifipour, Mahdi, & Abdoli Bojani, Sepideh. (۲۰۲۰). Flood Damage Detection Algorithm Using Sentinel-۲ Images (Case study; Golestan Province, March ۲۰۱۹). IRANIAN JOURNAL OF ECOHYDROLOGY, ۷(۲), ۳۰۳-۳۱۲. SID. <https://sid.ir/paper/۳۶۰۷۷۷/en>. DOI: ۱۰.۲۲۰۵۹/ije.۲۰۲۰.۲۹۲۰۰۵.۱۲۳۳.

Soleimani Sardoo, F., Rafiei Sardooi, E., MESBAHZADEH, T., & Azareh, A. (۲۰۲۱). Utilizing Sentinel ۱ Images for Monitoring Damage of Flood Event in March ۲۰۲۰, the South of Kerman Province Based on Random Forest Algorithm. IRANIAN JOURNAL OF WATERSHED MANAGEMENT SCIENCE AND ENGINEERING, ۱۵(۵۳), ۲۳-۳۲. SID. <https://sid.ir/paper/۳۹۳۷۷۳/en>. DOI: ۱۰.۲۲۰۳۴/۲۰۰۸.۹۵۰۴.

Tarpanelli, Angelica & Mondini, Alessandro & Camici, Stefania. (۲۰۲۲). Effectiveness of Sentinel-۱ and Sentinel-۲ for flood detection assessment in Europe. Natural Hazards and Earth System Sciences. ۲۲. ۲۴۷۳-۲۴۸۹. ۱۰.۵۱۹۴/. DOI: ۱۰.۵۱۹۴/nhess-۲۲-۲۴۷۳-۲۰۲۲

Zambon, M. Lawrence, R. Bunn, A. and Powell, S. (۲۰۰۶). Effect of Alternative Splitting Rules on Image Processing Using Classification Tree Analysis. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. ۷۲(۱):۲۵-۳۰. DOI: ۱۰.۱۴۳۵۸/PERS.۷۲.۱.۲۵