

Determining the flood zone of Khordad 1402 in Ardabil Province using SAR radar data

Rahimi, N.¹  | Faraji, A.² 

1. PhD student in Meteorology, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

2. Associate Professor of Meteorology, Department of Physical Geography, Faculty of Humanities, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

Corresponding Author E-mail: Rahimi.nafiseh2@gmail.com

(Received: 12 May 2024, Revised: 24 Nov 2024, Accepted: 02 Dec 2024, Published online: 09 Apr 2025)

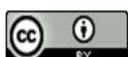
Abstract

Floods are among the most common natural phenomena in different parts of the world and they have claimed many lives over the years and left irreparable destructive effects. The Khordad 1402 rainfall in Ardabil Province has caused extensive damage to property and the lives of people in urban and rural areas by destroying bridges and rural communication roads between northern cities of the province, destroying orchards and livestock farms, and destroying residential houses. Therefore, understanding the flood phenomenon and being aware of its effects are among the most important issues that should be considered in flood monitoring. There are various methods for flood monitoring, among which the use of applied techniques such as satellite remote sensing using synthetic aperture radar (SAR) provides good support for flood monitoring and reducing their effects on a global scale. Therefore, in this study, to determine the flood areas and the extent of the resulting water for Khordad 1402 in Ardabil province, SAR synthetic aperture images were used before and after the flood. For this purpose, in the first step, pre-processing operations were performed on the images in the SNAP software, in the second step, post-processing operations were performed on the classified binary raster data in the ENVI 5.3 environment, and in the last step, and the final map was imported into the ArcGIS environment for conversion to a vector file and analysis. The results showed that based on the rainfall in June 1402, the flooded areas of the province were about 1603 hectares, with the largest area of flooded areas being in the north of the province, especially in Bilehsavar County with 593 hectares. In the study area, the most flooded areas were seen in grasslands and lands with a slope of less than 20 percent and an altitude of less than 1000 meters, which was influenced by various factors such as topographic features such as slope and lowland of the region.

Keywords: Ardabil Province, Flood, Satellite Remote Sensing, SAR Radar

Cite this article: rahimi, N. and Faraji, A. (2025). Determining the flood zone of Khordad 1402 in Ardabil province with SAR radar data. *Journal of the Nivar*, 49(128-129), 34-45. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2024.457140.1290>

E-mail: (2) af1390@yahoo.com



تعیین پهنای سیلاب خرداد ۱۴۰۲ در استان اردبیل با داده‌های رادار SAR

نفیسه رحیمی^۱ | عبدالله فرجی^۲

۱. دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

۲. دانشیار آب‌وهواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: Rahimi.nafiseh2@gmail.com

(دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۳، بازنگری: ۱۴۰۳/۰۹/۰۴، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۲، انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۰۱/۲۰)

چکیده

سیل و سیلاب از متداول‌ترین پدیده‌های طبیعی در نقاط مختلف جهان هستند که در طول سالیان دراز جان انسان‌های زیادی را گرفته و آثار مخرب غیر قابل جبرانی به جا گذاشته‌است. بارش خرداد ماه ۱۴۰۲ استان اردبیل با تخریب پل‌های و راه‌های ارتباطی روستایی بین شهرهای شمالی استان، از بین بردن باغات میوه و دامداری‌های، تخریب منازل مسکونی خسارت‌های فراوانی را به اموال و جان مردم در نواحی شهری و روستایی وارد کرده است و آثار مخرب غیر قابل جبرانی به جا گذاشته‌است. از این رو شناخت پدیده سیلاب و آگاهی از اثرات ناشی از آن، از مهم‌ترین مسائلی است که در پایش سیلاب باید مورد توجه قرار گیرد. روش‌های مختلفی برای پایش سیلاب وجود دارد که از میان آن‌ها بکارگیری روش‌های کاربردی همچون سنجش از دور ماهواره ای با استفاده از رادار دیافراگم مصنوعی (SAR) پشتیبانی خوبی را برای پایش سیلاب و کاهش اثرات آنها در مقیاس جهانی ارائه می‌دهد. لذا در این پژوهش به منظور تعیین مناطق سیلابی و وسعت آب حاصل از آن برای خرداد ماه ۱۴۰۲ در استان اردبیل، از تصاویری دیافراگم مصنوعی SAR برای قبل و بعد از وقوع سیلاب استفاده شد. بدین منظور در گام نخست عملیات پیش‌پردازش بر روی تصاویر در نرم‌افزار SNAP انجام گرفت، در گام دوم عملیات پس‌پردازش برای داده‌های رستر باینری طبقه‌بندی شده در محیط ENVI 5.3 انجام شد و در گام آخر نقشه نهایی به منظور تبدیل به فایل بردار و تحلیل آن به محیط ArcGIS وارد شد. نتایج نشان داد براساس بارش خرداد ماه ۱۴۰۲، مناطق سیلابی استان حدود ۱۶۰۳ هکتار بوده است که بیشترین مساحت مناطق سیل‌زده مربوط به شمال استان بویژه شهرستان بیله‌سوار با ۵۹۳ هکتار می‌باشد. در محدوده مورد مطالعه بیشترین مناطق سیلابی در اراضی علفزار و زمین‌هایی با شیب کمتر از ۲۰ درصد و ارتفاع کمتر از ۱۰۰۰ متر دیده شد که عواملی مختلفی نظیر ویژگی‌های توپوگرافی نظیر شیب و پستی منطقه در آن دخیل بوده است.

کلیدواژه‌ها: استان اردبیل، سیلاب، سنجش از دور ماهواره‌ای، رادار SAR

۱. مقدمه

سیل مورد توجه قرار گیرد. مدیریت جامع سیلاب به مجموعه فعالیت‌هایی گفته می‌شود که در راستای پیشگیری و کاهش خسارات سیلاب به کار برده می‌شود. این فعالیت‌ها در گذشته بیشتر شامل رویکرد سازه‌ای مانند ساخت سیل‌بندها، آبشکن‌ها و غیره بوده است، اما در سال‌های اخیر رویکرد غیرسازه‌ای کنترل و مدیریت سیلاب به عنوان روش بهینه مطرح شده

رشد جمعیت، توسعه شهرنشینی و تغییر کاربری اراضی در دهه‌های اخیر موجب شده تا سیلاب به عنوان یکی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی در جهان شناخته شود. از این رو شناخت پدیده سیلاب و روش‌های مقابله با آن و همچنین اثرات ناشی از آن، از مهم‌ترین مسائلی است که باید در مدیریت جامع

ایران، مطالعات متعددی با استفاده از تکنیک‌های سنجش‌از- دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در زمینه پایش سیلاب در ایران و جهان صورت گرفته است که می‌توان به تحقیقات زیر اشاره نمود.

ریفیک و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از داده‌های SAR و InSAR سیلاب منطقه باسیلیکاتا^۴ جنوب ایتالیا را مورد بررسی قرار دادند، نتایج آنها نشان داد که داده‌های راداری در تشخیص سیلاب از قابلیت بالایی برخوردار است. رحمان و تاکور و همکاران (۲۰۱۷) به کمک سنجش‌ازدور و داده‌های ماهواره‌ای رادار SAR گستردگی سیلاب منطقه کندراپارا^۵ در ایالت اوریسسا^۶ هند را بررسی کردند، نتایج یافته‌های آنها حاکی از آن بود که بکارگیری SAR همراه با GIS کمک فراوانی در کاهش اثرات سیل و افزایش انعطاف‌پذیری در روند مدیریت سیل می‌کند. بورا و همکاران (۲۰۱۸) به کمک داده‌های راداری سنتینل ۱^۲، سیلاب پارک ملی کازیرانگا^۷ هند را در طی بارش‌های 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 می‌تواند به کمک این داده‌ها 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 داده‌های SAR، سیلاب رودخانه رامگانگا^۸ را در منطقه گنگ^۹ بررسی کردند، نتایج آنها حاکی از آن بود که وقوع سیل منجر به تغییراتی در مورفولوژی رودخانه‌ها و دشت‌های سیلابی، تغییر عرض کانال رودخانه و سواحل آن می‌شود. کواسی و همکاران (۲۰۲۰) به کمک باند C از تصاویر GRD داده‌های راداری سنتینل ۱^۲، سیلاب رودخانه سن‌پدرو^{۱۰} ساحل عاج را بررسی کردند، نتایج آنها نشان داد

است (وتانفدا، ۲۰۰۹)، یکی از ساده‌ترین و کم‌هزینه‌ترین این روش‌ها تهیه نقشه‌های سیلابی می‌باشد، که عمده‌ترین هدف از تهیه این نقشه‌ها، مشخص کردن محدوده‌های در معرض خطر سیل است. در حقیقت نقشه‌های سیلاب ارزیابی کلی از میزان خطرات موجود در منطقه، سطح تراز آب در سیلاب-های گذشته، پهنه‌های سیلابی در مقاطع رودخانه و نحوه پخش سیلاب ارائه می‌دهند و در صورتی که با دقت مناسبی تهیه شده باشند، می‌توانند مرجع اولیه برای بررسی و تحلیل سیلاب در منطقه باشند. برای تهیه نقشه‌های سیلاب روش‌های متعددی وجود دارد که هر کدام دارای مزایا و محدودیت-هایی می‌باشد، یکی از این روش‌ها بر پایه استفاده از سنجش از دور فعال و غیرفعال است. رادار دریچه مصنوعی^۱ (SAR) نمونه‌ای از نوع سنجش از دور فعال است که در حالت سنسور از خودش امواج یا پالس تولید کرده و آن را به سمت زمین ارسال می‌کند و پس از برخورد به زمین انرژی برگشتی را ثبت می‌کند. از مزایا شاخص آن امکان تصویربرداری در شب و روز، در شرایط ابری و یا در هوای همراه بارش‌گردها است (ملکی و همکاران، ۲۰۲۰). تصاویر راداری در سال‌های گذشته بدلیل هزینه بالا در تامین این تصاویر، بسیار کم مورد استفاده قرار می‌گرفت اما از سال ۲۰۱۴ به بعد با دسترس عموم قرار گرفتن تصاویر ماهواره سنتینل ۱-۲^۲ امکان استفاده رایگان از این داده‌ها فراهم گردید. ماهواره سنتینل دارای قابلیت‌های متعددی از جمله ردیابی مخاطرات سیل، خرابی‌ها و خسارت‌های ناشی از آن، محاسبه مساحت محدوده سیل‌زده با دقت زمانی و مکانی بالا است که با استفاده از باند C(C- SAR) داده‌های دوگانه پلاریمتری (VH+VV, HV+HH) را در چهار مد تصویربرداری می‌کنند. در مد نواری^۳ تصاویر این ماهواره محدوده ۳۷۵ کیلومتری را بر روی زمین با دقت مکانی ۵ در ۵ متر پوشش می‌دهد (بازی و همکاران ۲۰۲۰). با توجه به وقوع و اهمیت مطالعات سیلاب در سطح جهان و

7 - Kaziranga

8 - Ramganga

9 - Ganga

10- San pedro

1 - Synthetic Aperture Radar

2 - Sentinel-1

3 - Strip Map

4 - Basilicata

5- Kendrapara

6 -Orissa

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 (۲۰۲۰) 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 (۲۰۲۱) 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، و مرتع ۱۲ درصد بود. محمدنژاد آروق (۲۰۲۱)، 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. عمادالدین و قاسمی (۲۰۲۱)، 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 و ۱۱۵ کیلومتر در اثر سیل به زیر آب رفته است. همچنین نتایج بازدید میدانی از این منطقه نشان داد که بارندگی شدید، پرشدن سد و شمشگیر، شیب کم منطقه، عدم لایروبی رودخانه، وجود پل زیاد بر روی رودخانه و ارتفاع کم پل و درصد بالای رس در خاک از عوامل ایجاد سیل در منطقه بوده است. قهرمان و همکاران (۲۰۲۲) مناطق مستعد سیلاب برای رودخانه کشکان استان لرستان را به کمک تصاویر راداری سنتینل ۱- با آستانه‌گذاری Otsu مورد

که در طی سه روز، ۶۰۰۰ هکتار از این منطقه به زیر آب رفته است. دوریس و همکاران (۲۰۲۰) نیز الگوریتمی جهت پایش سریع سیل با استفاده از تصاویر سنتینل-۱ در سامانه گوگل ارث انجین به کمک الگوریتم آستانه‌گذاری ارائه دادند، نتایج آنها بیانگر این بود که این روش عملکرد قابل قبولی برای پایش سریع سیلاب دارد. راث و همکاران (۲۰۲۲) با کمک داده‌های سنتینل-۱ با پوشش زمانی ۱۰ اوت تا ۲۳ سپتامبر سال ۲۰۲۲، سیلاب استان‌های جنوبی پاکستان از جمله پنجاب، سند و بلوچستان را مورد واکاوی قرار دادند، نتایج آنها حاکی از آن بود که الگوریتم نقشه‌برداری سیل (TU Wien) با استفاده از سنتینل-۱ در مقیاس بزرگ تا ۸۰٪ به خوبی عمل می‌کند، بطوری که در بازه زمانی ۶ هفته‌ای با بررسی منطقه‌ای به وسعت ۳۰۴۹۲ کیلومترمربع مشخص گردید که این مناطق حداقل یکبار دچار سیل شده‌اند. غوری و همکاران (۲۰۲۳) با استفاده از مجموعه داده‌های 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. 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.

پنجه کوبی و همکاران (۲۰۲۰) به واکاوی شدت-مدت-مساحت بارش و تاثیر آن در سیل سه حوضه استان گلستان با کمک تصاویر و داده‌های راداری، با پوشش زمانی ۸ خرداد ۱۳۹۳ پرداختند. نتایج مطالعات آنها نشان داد که مقدار

خصوصاً افزایش انعطاف‌پذیری در روند مدیریت حوضه‌های آبریز و منابع آب، تعیین نقاط سیلاب‌خیز، برنامه‌ریزی برای جلوگیری و کاهش خسارت سیلاب آبی و غیره باشد.

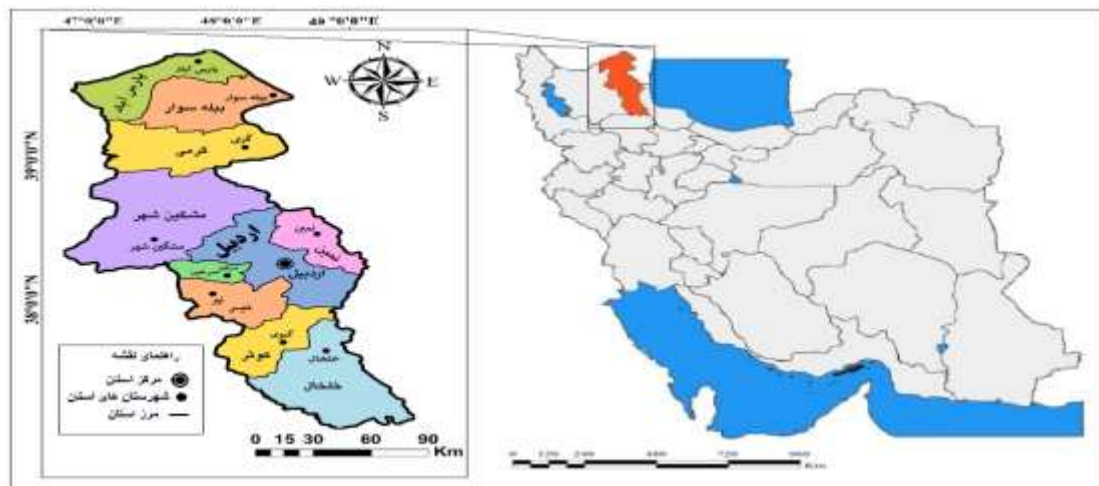
۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

استان اردبیل با مساحتی بالغ بر ۱۷۹۵۳ کیلومتر مربع و مختصات جغرافیایی $37^{\circ}45'$ تا $39^{\circ}42'$ عرض شمالی و $47^{\circ}03'$ تا $55^{\circ}48'$ طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ با ۹ شهرستان، ۲۵ بخش، ۲۱ شهر و ۶۶ دهستان در شمال‌غربی فلات ایران در واقع شده است (شکل ۱). همسایه شمالی، غربی، جنوبی و شرقی این استان به ترتیب جمهوری آذربایجان با ۴۰۰ کیلومتر مرز مشترک، استان آذربایجان شرقی، زنجان و گیلان می‌باشد. مرتفع‌ترین نقطه استان با ۴۸۱۱ متر از سطح دریا کوه سبلان در جنوب شرقی مشکین‌شهر و پست‌ترین نقطه آن دشت مغان است (رحیمی، ۲۰۲۲).

بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که براساس بارش فرودین ماه ۱۳۹۸ در محدوده کشکان رود، با بارش ۴۶ میلی-متر، ۵۱ درصد از منطقه و با بارش ۳۱ میلی‌متر، ۶۹ درصد از منطقه در کلاس سیلابی قرار می‌گیرد، همچنین نشان دادند که محل پیچانوردها از مهمترین مناطق مستعد سیلاب در مسیر رودخانه کشکان به شمار می‌روند. پیمان‌خواه و همکاران (۲۰۲۳) 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 شده است با استفاده از تصاویر راداری SAR، نقشه مناطق سیل‌زده، مساحت و وسعت آبگرفتگی ناشی از سیل خرداد ۱۴۰۲ در محدوده استان اردبیل به کمک روش طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای جنگل تصادفی ارزیابی شود، تا این نقشه‌ها مبنایی برای اتخاذ سیاست‌هایی در



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان اردبیل در ایران

بود (عمادالدین و همکاران، ۲۰۲۱). از قابلیت‌های بسیار برجسته این سنجنده جداسازی پهنه‌های آبی از سایر پهنه‌ها با رنگ تیره می‌باشد، لذا بکارگیری آن در پایش سیلاب می‌تواند بسیار مناسب باشد. لذا در مطالعه پیش‌رو برای شناسایی محدوده سیلابی از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۱ که از سایت

۲-۲. روش تحقیق

آژانس فضایی اروپا در ۳ آوریل ۲۰۱۴ اولین ماهواره از سری ماهواره‌های سنتینل را به فضا پرتاب کرد. این سنجنده خورشید آهنگ در ارتفاع ۶۹۳ کیلومتری از سطح زمین در مدار قطبی قرار گرفت و دارای قدرت تفکیک مکانی $10 * 10$ متر، با سنجنده (A و B) فعال در باند C و رادار روزنه ترکیبی

همچنین سعی شد تا فریم انتخابی سطح وسیعی از مناطقی که مورد هجوم این مخاطره بودند، از جمله مناطق مسکونی، اراضی کاربری شهرستان‌های اردبیل را پوشش دهد، تا مساحت مناطق سیل‌زده و وسعت آبگرفتگی ناشی از سیلاب در سطح منطقه نمایش داده شود.

کوپرنیک^{۱۱} اخذ شده است، استفاده شد. بدین منظور تصاویر این سنجنده با پوشش زمانی ۱۲ روزه برای قبل و بعد از سیل از سایت کوپرنیکوس با پولاریزیشن 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).

جدول ۱- مشخصات تصاویر مورد استفاده

Sentinel 1A (SAR)					
Acquisition Date	Level 1. P	Mode	Orbit	Pixel spacing	Polarization
2023.06.09	GRD	IW	DESCENDING	10*10	VV-VH
2023.05.28	GRD	IW	DESCENDING	10*10	VV-VH

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^{۱۲}، 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. این امر با عبور دادن پیکسل از میان X درخت تصمیم انجام می‌شود. به گونه‌ای که تعلق پیکسل به یکی از کلاس‌ها (Y تعداد کلاس) میان درختان تصمیم به رأی گذاشته می‌شود و هر درخت تصمیم رأی خود را در مورد گنجاندن پیکسل در یک کلاس اعلام می‌کند (جهانبحشی و اختصاصی، ۱۳۹۷). الگوریتم جنگل، پیکسل به رأی گذاشته شده را به کلاسی که دارای بیشترین رأی درختان جنگل باشد، اختصاص می‌دهد. درختان تصمیم‌گیری، به صورت منفرد از مجموعه نمونه آموزشی رشد می‌کنند و با N بار نمونه‌گیری با جایگزینی، دو سوم از مجموعه داده‌های اصلی برای آموزش یک درخت استفاده می‌شود. N تعداد نمونه‌ها در مجموعه داده‌های اصلی می‌باشد. بدین طریق با استفاده از نمونه‌گیری با جایگزینی، یک سوم باقیمانده داده‌ها در

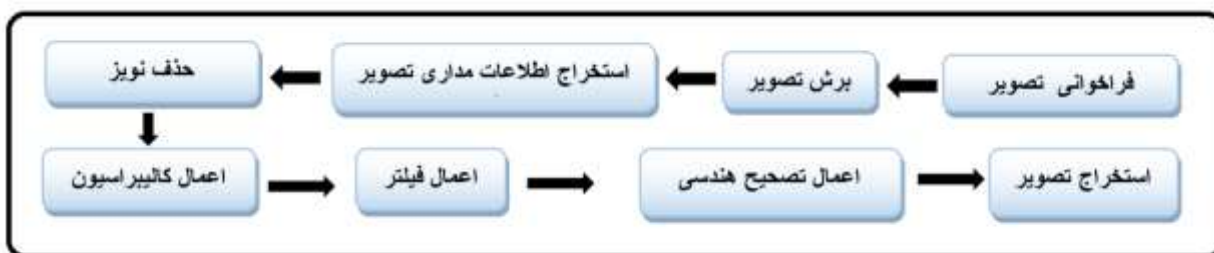
پیش‌پردازش تصاویر در محیط نرم‌افزار SNAP مطابق شکل (۲) صورت گرفت. به منظور اعمال فرآیند پیش‌پردازش ابتدا تصاویر فراخوانی شد و به اندازه حدود منطقه مورد مطالعه برش مکانی یافت سپس با استخراج اطلاعات مداری تصویر و حذف خطاهای ناشی از سنجنده، مقادیر بازپراکنده شده براساس کالیبراسیون سیگما صفر با هدف تبدیل ارزش پیکسل خام به مقدار بازپخش زمینی محاسبه شد. در مرحله بعدی با هدف حفظ وضوح و جزئیات تصویر و حذف نویزهای اسپکل از روی داده‌های بازپراکنده شده از فیلتر حذف لکه استفاده شد تا با حفظ وضوح و جزئیات تصویر، نویز لکه حذف گردد (امینی و همکاران، ۲۰۲۲). در ادامه با توجه به حرکات، ناهمواری و سیستم سنجنده که باعث خطاهای سیستمی و غیرسیستمی داده‌های سنجنش از دور می‌شود، برای رفع آن از تصحیحات هندسی برای تصاویر استفاده شد. در گام بعدی پس 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 بازپراکنش 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 نظارت‌شده منطقه سیلاب را از محیط‌های غیر سیلابی و محیط‌هایی که قبلاً دارای آب بودند با فرمول‌نویسی ساده، از یکدیگر تفکیک شدند. در ادامه تصاویر سیگمانات

12 - Random Forest Algorithm

11 - scihub.copernicus.eu

تحلیل داده‌های ماهواره‌ای در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت و 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-6 تقسیم شدند.

آموزش درخت دخالت نخواهند داشت و کنار گذاشته می‌شوند تا برای صحت‌سنجی درونی الگوریتم مورد استفاده قرار گیرند (بريمن و کاتلر، ۲۰۱۷). کارایی روش جنگل تصادفی در مورد مجموعه‌های بسیار بزرگ به اثبات رسیده است (جهانبجشی و اختصاصی، ۱۳۹۷). از این‌رو در تجزیه و



شکل ۲: مراحل پیش پردازش تصاویر سنتینل-۱

شهرستان گرمی، ۱۵۸ نفر در شهرستان بيله‌سوار و پنج نفر در شهرستان مشکین شهر بوده است. لذا 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 و در نرم‌افزار SNAP عملیات پیش‌پردازش مطابق شکل ۲ بر روی آن 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 نشان‌دهنده پهنه‌های غیرآبی بودند. با بررسی تصاویر سیگما بعد از انجام پیش‌پردازش 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 دارای نقاط تیره کمتر و تصویر بعد از وقوع سیلاب، دارای نقاط تیره بیشتری بود، وجود نقاط تیره رنگ در قسمت‌های شمالی استان بویژه در محدوده دشت مغان 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

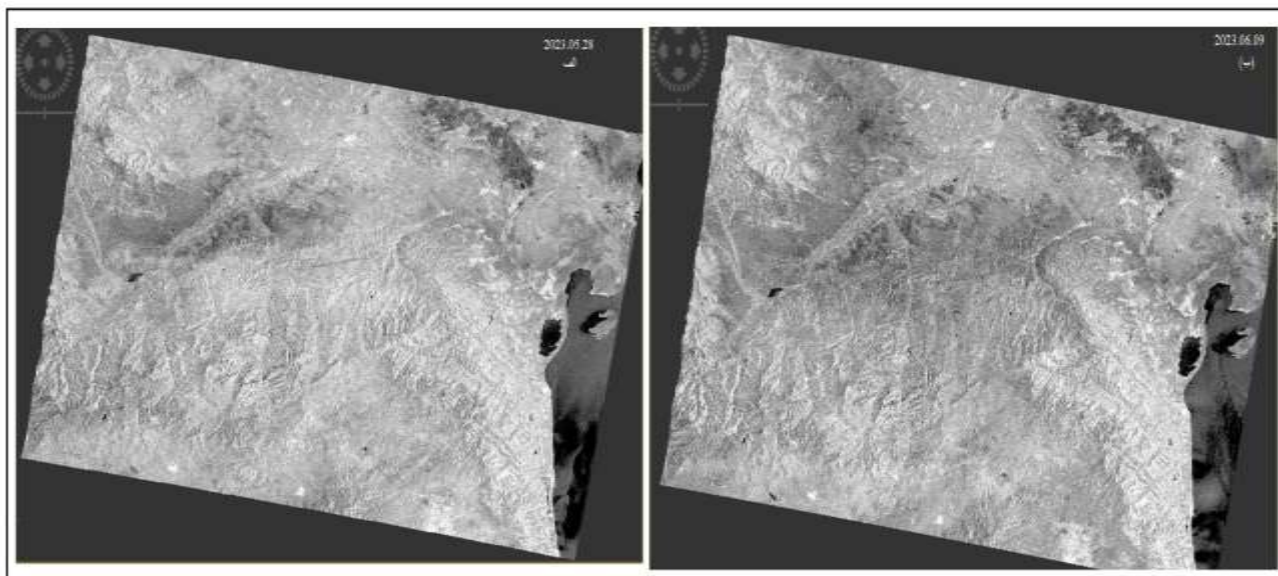
در گام بعدی در محیط ENVI، به کمک الگوریتم درخت که روشی نظارت شده و تحت کنترل کاربر است (زامبودن و همکاران، ۲۰۰۶)، داده‌های رستر باینری طبقه‌بندی شده، پردازش گردید و در گام آخر نقشه نهایی به منظور تبدیل به فایل بردار به محیط ArcGIS وارد شده و داده‌های بردار با نقشه کاربری اراضی اخذ شده از LAND COVER برای 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 و شیب منطقه نیز استفاده شد.

۳. بحث

براساس داده‌های اداره کل هواشناسی استان اردبیل از تاریخ ۱ تا ۳۱ خرداد ۱۴۰۲ بارندگی شدیدی در برخی از شهرستان‌های استان اردبیل اتفاق افتاده بود، بطوری که در یکی از ایستگاه‌ها میزان بارش برابر با ۴۲ میلی‌متر (شهرستان گرمی) بود. رخداد بارش خرداد ماه ۱۴۰۲ باعث آبگرفتگی و وقوع سیل در برخی از مناطق شمال استان اردبیل همچون گرمی، بيله‌سوار و مشکین‌شهر، تخریب پل‌های ارتباطی، تخریب منازل مسکونی در روستاهای دشت مغان این مناطق گردید. براساس گزارش رسمی از خبرگزاری ایرنا در اثر بارش در استان اردبیل ۲۸۵ نفر دچار حادثه شدند که شامل ۱۲۲ نفر در

این تصاویر نیز نقاط تیره رنگ بطور بارزتر در دشت مغان دیده می‌شود (شکل ۳). با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی نظارت شده جنگل تصادفی، نقشه خروجی در سه کلاس پهنه آبی همچون مسیر ورود آب به رنگ آبی، مناطق سیل‌زده با رنگ زرد و سایر با رنگ خاکستری طبقه‌بندی شد.

می‌دهد. در ادامه بعد از انجام فرایندهای 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 گردد، تصویر از سیگمانات به دسیبل تبدیل شد، در



شکل ۳: تصاویر دسیبل قبل (الف) و بعد از وقوع سیلاب (ب).

محدوده قرمز آن ۲۵۵ یا نزدیک به آن بودند و ارزش محدوده سبز و آبی آنها صفر یا نزدیک به صفر بودند انتخاب شد، سپس نقشه خروجی به نرم‌افزار جی‌آی‌اس منتقل گردید و مساحت مناطق سیل‌زده برای هر شهرستان‌ها تفکیک گردید (جدول ۲).

در گام بعد برای بالابردن دقت مطلوب و قابل قبولی کلاس‌ها، طبقه‌بندی مجدد با استفاده از الگوریتم درخت تصمیم‌گیری صورت گرفت، تا پیکسل‌ها محدوده‌های تحت تاثیر سیلاب به صورت دقیق‌تر بر مبنای ارزش پیکسل‌ها استخراج گردد. در این طبقه‌بندی آن دسته از پیکسل‌هایی که ارزش

جدول ۲- مساحت مناطق سیل‌زده

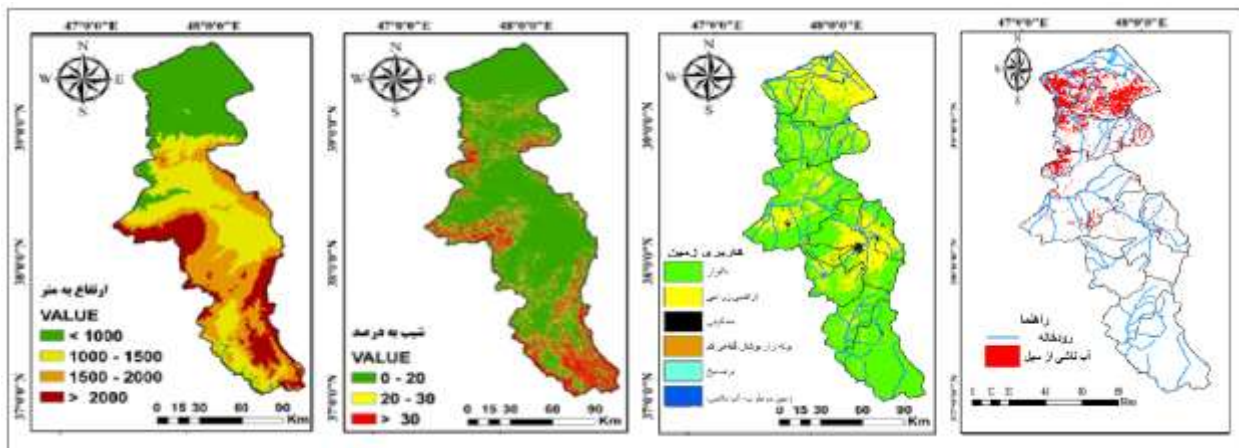
شهرستان	تعداد پلیگون سیل	وسعت آب ناشی از سیل (هکتار)	شهرستان	تعداد پلیگون سیل	وسعت آب ناشی از سیل (هکتار)
اردبیل	40	8.917305	گرمی	1461	192.704177
بيله سوار	3503	593.555918	مشکین شهر	1773	245.402555
پارس آباد	3294	505.031066	نمین	54	60.7

بیشترین محدوده سیلابی در قسمت‌های شمالی استان در محدوده دشت مغان بویژه در شهرستان بيله سوار قرار داشت، پس از آن قسمت غربی منطقه پارس آباد بخش‌هایی

تصویر خروجی نشان‌دهنده وسعت آب ناشی سیلاب بعد از گذشت هفت روز از وقوع سیلاب در منطقه بود. به طور کلی وسعت آب ناشی از سیلاب در استان اردبیل ۱۶۰۳ هکتار بود.

زمین‌های بيله‌سوار، پارس‌آباد، قسمت‌هایی از گرمی و مشکین‌شهر که در ارتفاع کمتر از ۱۰۰۰ متر قرار داشتند، پایین بودن ارتفاع باعث پخش‌شدگی آب سیلاب و آب-گرفتگی گسترده‌ای حتی در مراکز جمعیتی این مناطق شد. یکی دیگر از عوامل مهم و تعیین‌کننده در وسعت آب‌ناشی از سیلاب در خرداد ۱۴۰۲ استان اردبیل شیب و ارتفاع می‌باشد (شکل ۴.ج). در اراضی با شیب بالاتر از ۳۰ درصد، عمده رواناب‌های تولید شده بعد از بارش تحت تاثیر نیروی ثقل با سرعت زیادی در امتداد زمین‌هایی با شیب زیاد به سمت دشت مغان هدایت شده‌اند که به دلیل کم شیب بودن این دشت و ارتفاع پائین آن، این محدوده‌ها را به کانون بحرانی پهنه‌های سیل‌گیر تبدیل کرده‌اند. شیب پایین دشت مغان (کمتر از ۲۰ درصد) باعث تجمع رواناب و گسترش سیلاب در دشت‌های باز و محاصره بیش از ۲۵ روستاها در گوگ تپه و انجیرلوی در شهرستان بيله‌سوار، بیش از ۱۵ روستا در قسمت شمالی انگوت غربی و بخش‌هایی از توابع شهرستان گرمی (همچون آزادلو و زهرا) و بیش از ده روستا در اصلاندوز و قشلاق شمالی و غربی شده است.

از اصلاندوز و قشلاق غربی در محدوده حوضه آبخیز قوری چای (یکی از زیر حوضه های رود ارس) بیشترین آبگرفتگی را داشتند که تاثیر ژئومورفولوژی منطقه در آبگرفتگی بيله-سوار، اصلاندوز و قشلاق غربی بی‌تاثیر نبوده است. بعد از شهرستان پارس‌آباد بیشترین وسعت آب‌ناشی از سیل در قسمت شمالی شهرستان مشکین‌شهر یعنی در یافت، صلوات، مشکین شرقی دیده شد. در شهرستان گرمی نیز بیشترین میزان آبگرفتگی در قسمت انگوت غربی در غرب شهرستان، آزادلو و اجارود شرقی در شرق شهرستان اتفاق افتاده است. در این شهرستان بیشترین وسعت آب سیلاب در اطراف رودخانه دره رود، بالهارود، برزند چایی، دیزی چای، گرمی چای و مسیل قره قوچ قرار داشت (شکل ۴-الف). در سیلاب خرداد ۱۴۰۲ استان اردبیل بررسی‌ها نشان داد که ارتفاع یک عامل کلیدی در کنترل جهت حرکت سیلاب و ماندگاری آب بر روی سطح زمین به شمار می‌آید (شکل ۴-ب). میزان عقب‌نشینی آب سیلاب در ارتفاعات کمتر از ۱۰۰۰ متر در مقایسه با ارتفاعات بالاتر بسیار کم بوده است، به نحوی که در ارتفاع ۱۰۰۰ متر به بالا ماندگاری آب دیده نشد، در



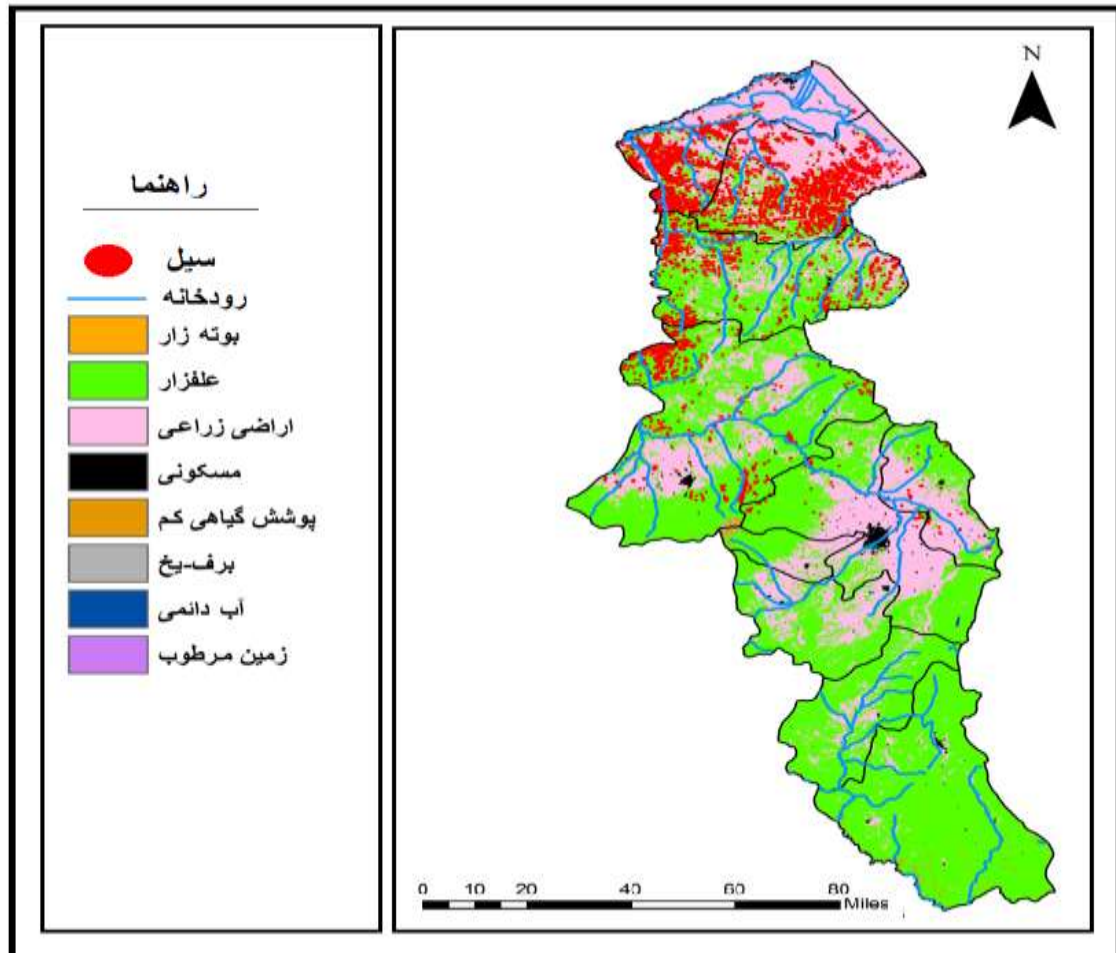
شکل ۴- نقشه سیلاب (الف)، کاربری اراضی (ب) و شیب (ج) ارتفاع (د) منطقه مورد مطالعه

روی زمین‌های زراعی و پس از آن بر روی علفزارها قرار داشتند. در حقیقت وجود این نوع پوشش گیاهی منجر به نارسایی در نفوذپذیری نزولات جوی این مناطق شده است و پتانسیل سیل‌خیزی این مناطق را افزایش داده است. بطوری که زمین‌های زراعی شهرستان بيله‌سوار در مجاورت

تصویر (شکل ۴-د) نشان‌دهنده اثرات چشمگیر کاربری اراضی بر وسعت مناطق سیل و بازه‌ی زمانی ماندگاری آبگرفتگی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. بعبارتی دیگر بعد از هفت روز از وقوع سیلاب بسیاری از مناطق از آبگرفتگی خارج شده‌اند، با این وجود بیشترین وسعت آب سیلاب بر

و مشکین شهر و تا حدودی بیله سوار نیز بدلیل پوشش گیاهی فقیر و نفوذپذیری کمتر، رواناب‌های تولید شده است (شکل ۵).

رودخانه‌های اصلی و فرعی بعد از ۷ روز همچنان مغروق از آب باقی مانده است. در بین کاربری‌های حوضه مورد مطالعه، در محدوده علفزارها نیز با مساحت کمتر در شهرهای گرمی



شکل ۵- مناطق سیل زده حاصل از طبقه‌بندی جنگل تصادفی

۴. نتیجه‌گیری

گسترش سیلاب ناشی از بارش خرداد ماه استان اردبیل استخراج شد. براساس نتایج حاصله مشاهده شد که بکارگیری داده‌های راداری، محدودیت‌های زمانی و مکانی در برآورد سیل را از بین می‌برد و در هر شرایط آب و هوایی ابزار مفیدی در آشکارسازی و پایش دائمی سیلاب‌ها می‌باشد که با یافته‌های قهرمان و همکاران (۱۴۰۱) و پیمان‌خواه و همکاران (۱۴۰۲) یکسان می‌باشد. همچنین بررسی نتایج نشان داد که آستانه آشکارسازی پهنه‌های آبی و مناطق سیل زده، ضریب بازپراکنش ۰.۰۱ برای منطقه مورد مطالعه می‌باشد که

امروزه با توسعه علوم سنجش از دور امر پایش و بررسی مخاطرات طبیعی بویژه سیلاب به کمک تصاویر ماهواره میسر شده است. تصاویر ماهواره‌ای با دارا بودن قابلیت‌های برجسته امکان پایش دقیق مناطق سیلابی و روند پیشروی سیلاب را بطور دقیق فراهم می‌سازند. در این مطالعه هدف ما تهیه نقشه مناطق سیل زده و مساحت آبرگرفتنی ناشی از سیل خرداد ۱۴۰۲ در محدوده استان اردبیل با استفاده از تصاویر راداری SAR می‌باشد، لذا در گام نخست با کمک تصاویر راداری و پردازش‌های صورت گرفته و تحلیل‌های انجام شده، نقشه

۴. جهانبختی، ف.، اختصاصی، م.، (۱۳۹۷)، ارزیابی عملکرد سه روش طبقه‌بندی تصویر (جنگل تصادفی، ماشین‌بردار پشتیبان و بیشترین شباهت) در تهیه نقشه کاربری اراضی، علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، دوره، ۲۲، شماره ۴، صفحات ۲۳۵ تا ۲۴۷. SID.

۵. رحیمی، ن.، جلالی، م.، رحیم‌پور، ت.، (۱۴۰۱)، امکان‌سنجی اقلیمی کاشت گردو در اراضی روستایی استان اردبیل، اقتصاد فضا و توسعه روستایی، دوره ۱۱، شماره ۴۰، صفحات ۹۵ تا ۱۱۲.

۶. سلیمانی ساردو، ف.، رفیعی ساردوئی، ا.، مصباح‌زاده، ط.، آذره، ع. (۱۳۹۹)، استفاده از تصاویر سنتینل-۱ جهت پایش خسارت سیلاب فروردین ۱۳۹۹، جنوب استان کرمان براساس الگوریتم جنگل تصادفی، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دوره ۱۵، شماره ۵۳، صفحات ۲۳ تا ۳۲.

URL: <http://jwmsei.ir/article-1-976-fa.html>

۷. سلیمانی، ک.، شریفی‌پور، م.، عبدلی بوژانی، س.، (۱۳۹۹)، الگوریتم آشکارسازی پهنه‌ی خسارت سیل با استفاده از تصاویر سنتینل ۲ (مطالعه‌ی موردی: سیلاب فروردین ۱۳۹۸ استان گلستان)، اکوهیدرولوژی، دوره ۷، شماره ۲، صفحات ۳۰۳ تا ۳۱۲. SID.

<https://sid.ir/paper/360777/fa>

۸. عمادالدین، س.، محمد قاسمی، م.، (۱۴۰۰)، پایش نقشه‌های گسترش سیلاب با استفاده از تصاویر راداری (SAR) مطالعه موردی: سیل فروردین ۱۳۹۸، شهرستان (آق قلا)، پژوهش‌های تغییرات آب‌وهوایی، دوره ۲، شماره ۶، صفحات ۷۹ تا ۹۶. doi: 10.30488/cer.2021.308697.1053

۹. قهرمان، ک.، زنگنه اسدی، م.، ع.، (۱۴۰۱)، تعیین مناطق مستعد سیلاب با استفاده تصاویر راداری Sentinel-۱ (مطالعه موردی، سیلاب فروردین ۱۳۹۸، رودخانه کشکان، استان لرستان)، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، دوره ۹، شماره ۳، صفحات ۱۰۳ تا ۱۱۸.

با نتایج سلیمانی و همکاران (۱۴۰۰) و کاظمی و همکاران (۱۳۹۸) همسو می‌باشد. همچنین آنالیز دقیق‌تر پهنه‌های سیلابی و میزان گسترش آن بیانگر این بود که بیشترین حجم سیلاب وارد شده به استان اردبیل در زمان مورد مطالعه عمدتاً مربوط به شهرستان‌های شمالی استان (دشت مغان) با شیب بسیار ملایم (حتی در برخی از شهرستان‌ها شیب کمتر از ۵ درصد)، با کاربری اراضی زراعی و علفزار (به مقدار کم) و با ارتفاع کمتر از ۱۰۰۰ متر، می‌باشد که مجموع این عوامل در پتانسیل سیل‌خیزی این مناطق دخیل بوده است. تمامی نتایج حاصله گویای محدوده‌های در معرض خطر سیلاب می‌باشند که مجموع این عوامل می‌تواند به مدیران اجرایی در پیشگیری و کاهش اثرات مخرب سیلاب‌ها، کمک کند تا بتوانند بهترین تصمیمات را برای مقابله با سیل‌های احتمالی آینده اتخاذ نمایند.

منابع

۱. امینی، ل.، ارگانی، م.، عبدلهی کاکرودی، ع.، (۱۴۰۱)، شناسایی پهنه‌های آبی ناشی از سیل استان گلستان با استفاده از قطبش‌های VV, VH و VV+VH تصاویر سنتینل-۱ و لندست-۸، جغرافیا و مطالعات محیطی، دوره ۱۱، شماره ۴۳، صفحات ۹۴ تا ۱۰۷. SID. <https://sid.ir/paper/1034827/fa>
۲. پنجه‌کوبی، پ.، ریحانی‌پور، م.، جاوردی، م.، رحمن‌نیا، م.، (۱۳۹۹)، واکاوی شدت-مدت-مساحت بارش و تأثیر آن در سیل با استفاده از تصاویر و داده‌های رادار (مطالعه موردی: سیل هشتم خرداد ۱۳۹۳)، نشریه سنجش از دور و GIS ایران، دوره ۱۲، شماره ۱، صفحات ۷۳ تا ۸۶. doi: 10.52547/gisj.12.1.73
۳. پیمان‌خواه، پ.، عطارچی، س.، محرمی، م.، (۱۴۰۲)، پایش سریع سیل با استفاده از تصاویر سنتینل-۱ و لندست-۸ (مطالعه موردی: رودخانه کشکان شهرستان بلدختر)، نیوار، دوره ۴۷، شماره ۱۲۲-۱۲۳، صفحات ۸۲ تا ۹۴. doi: 10.30467/nivar.2023.417413.1265

- d'Ivoire), *Asian Journal of Geographical Research*, 3 (2):1-8, 2020: article no. AJGR. 55959. ISSN: 2582-2985.
19. 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.
 20. Refice, A., Capolongo, D., Pasquariello, G., D'Addabbo, A., Bovenga, F., Nutricato, R., Lovergine, F., Pietranera, L., 2014. "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. 7, no. 7, pp. 2711-2722, July 2014, doi: 10.1109/JSTARS.2014.2305165.
 21. 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/zvwmhnan78>.
 22. Vatanfada, J., 2009. "Flood management of Iran (country report)", Flood Prevention Committee.
 23. 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*, vol. 72(1):25-30.
 ۱۰. محمدنژاد آروق، و، (۱۴۰۰)، تهیه نقشه گسترش سیلاب با استفاده از تصاویر راداری سنتینل ۱ (مطالعه موردی: سیل فروردین ۱۳۹۸، شهرستان پلدختر)، مجله آمایش جغرافیایی فضا، دوره ۱۱، شماره ۴۱، صفحات ۶۹ تا ۸۰. doi: 10.30488/gps.2020.226387.3224.
 ۱۱. ملکی، س.، راهداری، و.، بغدادی، ن.، پهلوانروی، ا. (۱۳۹۹)، استفاده از داده‌های رادار دهانه مصنوعی سنتینل-۱ به منظور مطالعه اکوسیستم‌های آبی، تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۱۶، شماره ۲، صفحات ۲۵۹ تا ۲۷۰.
 12. Agnihotri, A. K., Ohri, A., Gaur, S., Das, N. and 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), 1-16.
 13. Bazzi, H., Ienco, D., Baghdadi, N., Zribi, M., Demarez, V., 2020. Distilling before refine: Spatio-temporal transfer learning for mapping irrigated areas using. *Sensors remote sensing*. 17(4):769-777.
 14. 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): 520.
 15. Breiman, L., Cutler, A., 2017. Avalaibe online at: Random Forests. From [http://www. Stat. berkeley .edu/~breiman /RandomForests /cc_home. htm](http://www.Stat.berkeley.edu/~breiman/RandomForests/cc_home.htm).
 16. DeVries, B., Huang, C., Armston, J., Huang, W., Jones, J. W., & Lang, M. W., 2020. Rapid and robust monitoring of flood events using Sentinel-1 and Landsat data on the Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 240, 111664.
 17. 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), 1–18. <https://doi.org/10.12775/EQ.2024.024>.
 18. Kouassi, H., Alexis, N., Anoh, K., Tanoh, J.-J., Koua, T., Stoleriu, C.-C., Rezgallah, H., Al-Amoush, Al-H., Al-Bayt, Al., Jordan, R., Yang, J., 2020. Contribution of Sentinel 1 Radar Data to Flood Mapping in the San-Pédro River Basin (South-west Côte