



Novel Flood Management Strategies: Evaluation of Flood Zoning and Identification of Flood-Prone Areas in Mashhad County Using Satellite Imagery

Parsa Afzali Kord Mahalleh

M.Sc. Student, Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil Engineering,
Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran.

Email: parsa_afzalikord@yahoo.com

Saeed Behzadi

Assistant Professor, Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil
Engineering, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

(Corresponding Author).

Email: behzadi.ru@gmail.com

Abstract

Natural disasters have always been among the most hazardous events affecting human societies. Given that natural hazards often occur suddenly and without a predetermined time, preparedness and effective management require predictive approaches supported by advanced technologies and interdisciplinary sciences such as remote sensing. Flooding is one of the most significant natural disasters and has posed serious human and financial threats to Iran in recent years. This study aims to evaluate novel flood management strategies with an emphasis on flood zoning and the identification of flood-prone areas through the analysis of satellite imagery using the Google Earth Engine platform. The study area is Mashhad County, which experienced a sudden flood event in May 2024. NASA SRTM Digital Elevation Model (30 m) and JRC Global Surface Water products were employed to generate the flood hazard zoning map, while Sentinel-1 SAR satellite imagery was used to identify flooded areas. Five key variables distance from water bodies, elevation, regional topography, vegetation cover, and moisture level (water-related areas) were selected as the main criteria for flood hazard zoning. These variables were ranked and integrated to produce the final flood hazard map. To delineate flooded areas, satellite images acquired before and after the flood event were analyzed, and flooded zones were identified by examining their differences and applying appropriate threshold values. The results of both maps indicate that the southeastern part of Mashhad County is exposed to the highest flood risk and experienced the most severe flooding. In addition, the western and southwestern areas of Mashhad were more severely affected due to unauthorized construction and inadequate infrastructure. The findings demonstrate that satellite imagery can serve as an efficient tool for the rapid and accurate identification of flood-prone areas, supporting decision-makers in adopting more effective flood management and control strategies. This study highlights the importance of employing advanced technologies to improve disaster management processes and enhance the protection of human communities.

Keywords: Flood Management, Satellite Imagery, Flood Zoning, Remote Sensing, Satellite Data Analysis





سال هشتم، شماره یکم (پیاپی ۲۵)، بهار ۱۴۰۴، صص. ۱۸۹-۲۱۸
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۲۲ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۹

مقاله پژوهشی

راهبردهای نوین مدیریت سیلاب: ارزیابی پهنه‌بندی و شناسایی مناطق سیلابی شهرستان مشهد با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

پارسا افضلی کُرد محله

دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران.
Email: parya_afzalikord@yahoo.com

سعید بهزادی

استادیار، گروه نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران (نویسنده مسئول).
Email: behzadi.ru@gmail.com

چکیده

بلایای طبیعی همواره از جمله خطرناک‌ترین اتفاقات در جامعه بشری هستند. از آنجا که وقوع حوادث طبیعی به‌صورت ناگهانی بوده و زمان مشخصی ندارد، آمادگی و مدیریت در برابر آن‌ها لازمه پیش‌بینی با استفاده از تکنولوژی و علوم بین رشته‌ای همچون سنجش از دور است. یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی سیل است که در چند سال اخیر کشور ایران را از لحاظ جانی و مالی تهدید کرده است. مقاله حاضر به بررسی و ارزیابی راهبردهای نوین مدیریت سیلاب با تأکید بر پهنه‌بندی و شناسایی مناطق سیلابی از طریق تحلیل تصاویر ماهواره‌ای در سامانه گوگل ارث انجین می‌پردازد. منطقه مورد مطالعه شهرستان مشهد است که در اردیبهشت سال ۱۴۰۳ درگیر سیل ناگهانی شد. پروداکت‌های NASA SRTM و JRC Global Surface Water و Digital Elevation 30m جهت تولید نقشه خطر پهنه‌بندی و تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-1 SAR برای شناسایی مناطق سیلابی به‌کار برده شده است. پنج متغیر «فاصله از آب»، «ارتفاع»، «توپوگرافی منطقه»، «پوشش گیاهی» و «میزان رطوبت (مناطق آبی)» ملاک اصلی تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر انتخاب شدند که با رتبه‌بندی و ادغام تصاویر، نقشه نهایی تولید می‌گردد. برای تعیین مناطق سیلابی نیز تصاویر قبل و بعد از سیلاب اخذ شده و با بررسی تفاوت میان آن‌ها و تعیین حد آستانه مناطق سیلابی را نمایان می‌سازد. نتایج هر دو نقشه نشان می‌دهد که قسمت جنوب شرق شهرستان مشهد بیشترین خطر و منطقه سیل‌زده را شامل می‌شود. همچنین مناطق غرب و جنوب غرب شهر مشهد به‌دلیل ساخت‌وساز غیرمجاز و زیرساخت نامناسب بیشتر از دیگر مناطق دچار حادثه شدند. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند به‌عنوان ابزاری کارآمد در شناسایی دقیق‌تر و سریع‌تر مناطق سیلابی به کار گرفته شود و به تصمیم‌گیران کمک کند تا راهبردهای بهتری برای مدیریت و کنترل سیلاب‌ها اتخاذ کنند. این مطالعه بر اهمیت به‌کارگیری فناوری‌های پیشرفته در بهبود فرایندهای مدیریت بحران و حفاظت از جوامع انسانی تأکید دارد.

کلیدواژه‌ها: مدیریت سیلاب، تصاویر ماهواره‌ای، پهنه‌بندی سیلابی، سنجش از دور، تحلیل داده‌های ماهواره‌ای

دانشگاه عالی دفاع ملی ♦ پژوهشکده آماد، فناوری دفاعی و عرصه‌های نوپدید / فصلنامه آماد و فناوری دفاعی



20.1001.1.28212606.1404.8.1.3.8

<https://amfad.sndu.ac.ir/> E-ISSN: 2980-8073



صحت مطالب بر عهده نویسنده مقاله است و بیانگر دیدگاه دانشگاه عالی دفاع ملی نیست.

مقدمه

یکی از مهم‌ترین عوامل تخریب محیط زندگی انسان بلایای طبیعی است. روش زندگی، ساخت‌وسازهای متعدد، افزایش جمعیت شهرها و تغییرات اقلیمی باعث شده است که بروز سوانح طبیعی امکان ایجاد یک فاجعه را ممکن سازد. سیل و زلزله محتمل‌ترین خطر طبیعی در جامعه بشری امروزه است.

بلایای طبیعی هم از نظر اقتصادی و هم از نظر اجتماعی تأثیر عمیقی بر جوامع دارند. پس از یک فاجعه بزرگ، بسیاری از کشورها با بحران‌های اقتصادی طولانی‌مدت، تلفات جانی و انسانی، آسیب دائمی به محیط‌های اجتماعی و استانداردهای زندگی روبه‌رو می‌شوند (علی‌دادی و همکاران، ۱۴۰۳). بسیاری از خسارات ناشی از بلایای طبیعی، به‌ویژه تلفات انسانی قابل جبران نیستند؛ اما با اقدامات پیشگیرانه و مدیریت راهبردی می‌توان خسارات آن‌ها را به حداقل ممکن کاهش داد (زمانی و همکاران، ۱۴۰۳). وجود آمادگی قبلی برای مقابله با خطرات طبیعی می‌تواند از طریق برنامه‌ریزی‌های بهینه و اصولی تا حد زیادی عملی گردد. یکی از رایج‌ترین اتفاقات طبیعی در کشور ایران، سیلاب‌ها هستند که سالانه خسارات زیادی را به بار می‌آورند که در لغت‌نامه دهخدا به‌عنوان «آب بسیار که روان است» از آن یاد شده است. سیل در حقیقت افزایش ارتفاع آب رودخانه و بیرون زدن آب از آن و اشغال بخشی از دشت‌های حاشیه رودخانه است. در مواردی نیز سیل می‌تواند ناشی از افزایش سطح آب دریاچه و یا دریا باشد که در این موارد جریان بادهای شدید تأثیر زیادی خواهد داشت. در واقع سیل زمانی رخ می‌دهد که خاک و پوشش گیاهی یک منطقه توانایی جذب کامل آب را نداشته باشد. وقوع بارش‌های شدید با دوره بازگشت کوتاه‌مدت منجر به آب‌گرفتگی معابر و رواناب‌های شهری و در نتیجه مختل شدن زندگی شهروندان در برخی از مناطق شهر خواهد شد (اکبری اصفهانی و همکاران، ۱۴۰۲). سیل یکی از حوزه‌های مورد مطالعه در رشته هیدرولوژی است. در مطالعات انجام شده می‌توان آن را به ۵ نوع «طغیان رودخانه»، «سیل ساحلی»، «موج طوفان»، «سیل داخلی» و «سیل ناگهانی» تقسیم‌بندی کرد. طغیان رودخانه زمانی اتفاق می‌افتد که سطح آب از بالای سواحل رودخانه بالا می‌رود. این سیل می‌تواند در تمام کانال‌های



رودخانه و جویبار اتفاق بیفتد. از دلایل وقوع می‌توان به بارش شدید به همراه ذوب شدن برف اشاره کرد. سیل ساحلی عبارت است از غرق شدن مناطق خشک معمولی در امتداد ساحل با آب دریا که معمولاً پس از سونامی، جزر و مد و طوفان‌های استوایی تشکیل می‌گردد. موج طوفان افزایش غیرعادی سطح آب در نواحی ساحلی بیش از جزر و مد معمولی است که به دلیل باد و امواج شدید ایجاد می‌شود. سیلاب داخلی که به سیل شهری نیز معروف است در داخل یک منطقه اتفاق می‌افتد. این نوع سیلاب می‌تواند با بارندگی ثابت در طی چند روز اتفاق بیفتد یا ممکن است به دلیل یک دوره کوتاه و شدید بارندگی رخ دهد. یکی دیگر از راه‌های وقوع سیلاب داخلی زمانی است که راه‌های آبی توسط آوار، زباله، یخ یا سدها مسدود می‌شوند. از طرفی تشکیل این نوع سیل در مناطق شهری به علت وجود جاده‌ها و خیابان‌های آسفالت شده، تجهیزات زهکشی کم‌ظرفیت، ساختمان‌های متراکم و فضای سبز کم خطرناک‌تر از همیشه است. سیل ناگهانی نیز به جاری شدن سیل گفته می‌شود که در عرض ۶ ساعت و اغلب در عرض ۳ ساعت به دلیل بارندگی شدید (یا دلایل دیگر) شروع می‌شود. علاوه بر این‌ها در دید وسیع‌تر، سیل خطرات دیگری روی اکوسیستم می‌گذارد. سیل می‌تواند بر حیات وحش اثر منفی داشته باشد و باعث غرق شدگی، تکثیر بیماری‌ها و تخریب زیستگاه‌ها شود. همچنین فرسایش و رسوب‌گذاری تأثیر منفی بیشتری بر اکوسیستم‌هایی دارد که قبلاً تخریب شده یا به شدت تغییر یافته‌اند. آب سیل می‌تواند با آلاینده‌هایی مانند آفت‌کش‌های کشاورزی، مواد شیمیایی صنعتی، زباله‌ها و فاضلاب آلوده شود. اگر آب سیل آلوده وارد اقیانوس شود، می‌تواند کیفیت آب را تحت تأثیر قرار دهد و اکوسیستم‌های ظریف مانند صخره‌های مرجانی را مختل کند. از طرفی سیل‌ها عامل اصلی شیوع بیماری‌های عفونی مرتبط با آب و هوا هستند. با این حال سیل‌های فصلی می‌توانند اکوسیستم‌ها را تجدید کنند و آب‌های حیات‌بخش را به روش‌های مختلف فراهم کنند. می‌توان دریافت که مضرات سیل بسیار بیشتر از فواید آن است. بنابراین پایش و شناسایی مناطق سیل‌خیز قبل از وقوع سیل در مدیریت بحران امکان برنامه‌ریزی و مدیریت بهتر را فراهم می‌کند. برای مقابله با این عامل، مخرب دانستن اطلاعاتی از قبیل میزان حجم آب، زمان تقریبی وقوع و

نقشه پهنه‌بندی سیل ضروری به نظر می‌رسد. علم نوین و بین رشته‌ای سنجش از دور با به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای قادر است تا بسیاری از کارهای حیطه منابع طبیعی را بررسی کند. با پردازش تصاویر در نرم‌افزارهای مختلف تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب و تعیین مناطق پرخطر قبل از سیل امکان‌پذیر است. علاوه بر این موارد بعد از وقوع سیل نیز می‌توان مناطق سیلابی را شناسایی و نقشه آن را ایجاد کرد. همان‌طور که گفته شد مدیریت راهبردی در کاهش میزان تلفات سیلاب از جمله مالی، جانی، اقتصادی و منابع طبیعی نقش استراتژیکی دارد. در همین رابطه در بهار ۱۴۰۳ سیل ناگهانی در شهرستان مشهد رقم خورد. این سیل روز ۲۶ اردیبهشت ۱۴۰۳ در پی بارش شدید باران و تگرگ جاری شد. این بارندگی شدید باعث شد نهرهای بسیاری در خراسان رضوی طغیان کنند و سیل در مشهد به راه افتاد و در مسیر سیل خسارات فراوان جانی و مالی ایجاد کرد. باران سیل‌آسا همراه با رعد و برق منجر به آب‌گرفتگی در خیابان‌های این کلان‌شهر شد. بر اساس اعلام سرپرست مدیریت بحران خراسان رضوی، در مشهد ظرف یک ساعت ۳۸ میلی‌متر باران بارید. در واقع علت اولیه سیل مشهد این حجم از بارش اعلام شد. تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیل از اقدامات اولیه و ضروری در مدیریت مناطق سیل‌گیر است (اکرمی مقدم و همکاران، ۱۴۰۳). در ایران به دلیل شرایط اقلیمی منحصر، توزیع بارندگی از نظر زمانی و مکانی دارای ریتم مشخصی نیست. امروزه تصاویر ماهواره‌ای یکی از ابزارهای سریع و دقیق برای پایش سیلاب محسوب می‌شود (سلیمانی و همکاران، ۱۴۰۳).

«نقشه پهنه‌بندی سیلاب» اطلاعات مفیدی را به سازمان‌ها و مدیران جامعه می‌دهد که می‌توانند برنامه‌ریزی مناسبی جهت جلوگیری یا کاهش خطرات انجام بدهند. به‌طور مثال کجای شهر نیاز به لایروبی جوی‌ها دارد، در کدام منطقه باید وسایلی جهت امداد رسانی قرار بگیرد و چه مناطقی نباید در آن ساخت‌وساز صورت گیرد. این اطلاعات در واقع بینش قابل قبولی را برای سازمان‌ها قبل از وقوع سیل ایجاد می‌کند. پس از وقوع سیلاب نیز «شناسایی مناطق سیل‌زده» امکان کمک‌رسانی بیشتر را به مناطقی که خسارت بیشتری در آن صورت گرفت فراهم می‌کند. با توجه به مقدمه گفته شده، هدف این پژوهش ابتدا تهیه نقشه پهنه‌بندی سیل شهرستان مشهد



توسط داده‌های ماهواره‌ای و سپس تعیین مناطق سیلابی پس از سیل ناگهانی شهرریور سال ۱۴۰۳ است.

۱. پیشینه پژوهش

امروزه با پیشرفت تکنولوژی و ورود علوم بین رشته‌ای، پردازش‌های پیچیده داده‌های خام و تبدیل آن‌ها به اطلاعات مفید در سامانه‌های مخصوص بسیار آسان‌تر و سریع‌تر از قبل شده است. علومى چون سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی در بیشتر رشته‌ها قابلیت اجرا دارند و در واقع بین رشته‌ای هستند. به تازگی تلفیق این دو علم در حل بسیاری از مسائل کلان کشور، همچنین بررسی مناطق وسیع و منابع طبیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آنجا که بلایای طبیعی همواره در کمین هستند، پایش مناطق کشور در کنار مدیریت راهبردی به شیوه جدید قادر خواهد بود تا مشکلات را پیش‌بینی کرده و در صورت وقوع برنامه‌ریزی برای مدیریت بحران را تسهیل کند. یکی از حوادث طبیعی که در این چندساله کشورمان درگیر آن است، سیل است. سیلاب‌ها پیامدهایی منفی به دنبال دارند. سنجش از دور و سیستم اطلاعات مکانی قادر به بررسی این مسئله هستند. داده‌های سنجش از دور تصاویر ماهواره‌ای است که با تحلیل‌های زمانی- مکانی می‌تواند اطلاعات مفیدی درباره پهنه‌بندی سیل و میزان سیل به صورت منطقه به منطقه را نمایش دهد.

سیل هشتم خرداد ۱۳۹۳ در سه حوضه سرمو، زرین گل و رامیان با استفاده از تصاویر و داده‌های رادار هواشناسی، با تفکیک مکانی پانصد متر و تفکیک زمانی پانزده دقیقه، محاسبه شد. نتایج نشان داد شدت، مدت و پراکنش بارش تعیین کننده مقدار رواناب حوضه بود. اگر مجموع و پراکنش بارش هم‌سو بودند، شدت سیلاب افزایش و اگر شدت و مجموع بارش ناهم‌سو بودند، شدت سیلاب کاهش داشت. در پیش‌بینی زمان سیلاب و رواناب بیشینه، استفاده از داده‌های رادار دقتی بیشتر از روش‌های تجربی داشت (پنجه‌کوبی و همکاران، ۱۳۹۹).

برای نمایش نواحی مستعد سیلاب در حوضه سیمینه‌رود مدل ترکیبی شامل لایه‌های رطوبت خاک سطحی، پوشش گیاهی، بارش و شاخص رطوبت توپوگرافی

استفاده شده است. پس از همسان‌سازی نقشه‌ها و وزن دهی، همپوشانی لایه‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام و نقشه پتانسیل سیل‌زایی حوضه استخراج شد. از کل ۳۲۷۹ کیلومترمربع منطقه، حدود ۸۱/۶ کیلومترمربع (۲/۵ درصد) مستعد سیلاب بوده و ۱/۹ درصد از منطقه با میزان خطر متوسط برای سیلاب شناسایی شد. محدوده‌های مستعد سیلاب بیشتر در نواحی دشتی مرکزی و شمال حوضه در زمین‌های مسطح حاشیه‌ای رود سیمینه قرار گرفته است (یوسف‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸). شناسایی مناطق سیل‌زده شهرستان آق‌قلا و روستاهای اطراف، همچنین تولید نقشه گسترش سیلاب توسط تصاویر راداری (SAR) در فروردین ۱۳۹۸ نشان می‌دهد بدین منظور از نرم‌افزار SNAP، ARCGIS و ENVI به‌عنوان ابزارهای تحقیق استفاده شده است. نتایج نشان داد در محدوده مورد مطالعه در تاریخ ۲۳ مارس، ۱۱۵ کیلومترمربع و در تاریخ ۲۹ مارس، ۱۰۷ کیلومترمربع در اثر سیل فروردین ۹۸ به زیر آب رفته است. همچنین نتایج بررسی تصاویر راداری و بازدیدهای میدانی نشان داد دلایل اصلی سیلابی‌شدن منطقه، بارندگی شدید طی چند روز، پر شدن سد و شمشگیر، شیب کم منطقه و عدم لایروبی رودخانه بوده است (عمادالدین و همکاران، ۱۴۰۰).

کلاس‌بندی نظارت شده تصاویر و استفاده از قابلیت‌های شاخص‌های ترکیبی برای شناسایی پهنه‌های سیل‌زده گلستان در سال ۱۳۹۸ با داده‌های «ماهواره لندست ۸» مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا الگوریتم خوشه‌بندی Kmeans و پس از آن، به اجرای طبقه‌بندی‌های ANN، SVM، ML، MD و BE، برای پایش تغییرات سیل اقدام شد. نتایج در مقایسه با روش طبقه‌بندی مبتنی بر کاربر، نشان داد که رویکرد مورد مطالعه علاوه بر تأمین سطح اتوماسیون بالا در پایش تغییرات، کارایی و دقت زیادی نیز داشت. به علت ماهیت شاخص‌های مختلف آب، انتخاب و ترکیب مناسب آن‌ها علاوه بر کاهش نویزهای موجود در تصویر شاخص آب، در افزایش قابلیت شناسایی پهنه‌های آبی ناخالص نیز مؤثر بود (دودانگه و همکاران، ۱۴۰۰).

در پژوهشی تکنیکی در زمرة سنجش از دور راداری معرفی شد تا در کمترین زمان پهنه دقیق سیلاب را در صورت نزدیک بودن تاریخ تصویر سنجنده به زمان رخداد سیلاب به‌وسیله تصاویر راداری «سنجنده ستینل-۱» در اختیار کاربران بگذارد.



نتایج نشان داد دریاچه سد و شمشگیر قبل از شدت گرفتن بارندگی و جاری شدن سیل طبیعی، باز و آب آن در مجاری رودخانه و در مسیر مناطق روستایی و شهری رهاسازی شده است. این تکنیک با توجه به اخذ و پردازش سریع در زمان‌های با شرایط جوی نامساعد می‌تواند مفید واقع گردد (مرادی و همکاران، ۱۴۰۰).

مقاله‌ای با هدف تعیین مناطق سیل‌زده و برآورد میزان سیل استان گلستان در بازه زمانی اسفند ۹۷ و فروردین ۹۸ به وسیله تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۱ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین مناطق درگیر سیل، شمال غرب استان گلستان است که شهرستان‌های آق‌قلا، گمیشان و بندر ترکمن را شامل می‌شود. میزان سیلاب در این مناطق نیز ۱۱۶ کیلومترمربع تخمین زده شده است. سیستم اطلاعات مکانی و سنجش از دور علمی هستند که می‌توانند اطلاعات بسیار کارآمد و مفیدی را در بحث محیط زیست و منابع طبیعی، در اختیار سازمان‌های مربوطه قرار دهند. استفاده از این اطلاعات راهگشای بسیاری از مسائل زیست‌محیطی است (فضلی کُرد محله و همکاران، ۱۴۰۲).

در پژوهشی تولید نقشه گسترش سیلاب فروردین ۱۳۹۸ در شهرستان پلدختر توسط تصاویر راداری (SAR) در نرم‌افزارهای SNAP و ArcGIS مورد بررسی قرار گرفت. پهنه رودخانه کشکان با استفاده از شاخص آبی NDWI استخراج گردید. این تصویر به عنوان تصویر مرجع استفاده شد، سپس تصاویر قبل و بعد از سیلاب با استفاده از روش آستانه‌گذاری اتسو تحلیل گردید و در نهایت محدوده سیلاب از طریق طبقه‌بندی تصاویر استخراج شد. نتایج نشان داد که ۷/۹۹ کیلومترمربع از اطراف رودخانه در اثر سیل فروردین ۱۳۹۸ به زیر آب رفته است که نشان‌دهنده تغییرات ژئومورفولوژیک شدید این بخش‌هاست (محمدنژاد آروق، ۱۴۰۰).

مطالعه‌ای دیگر برآورد میزان آب‌گرفتگی کاربری‌های مختلف حین رخ دادن سیل استان خوزستان در سال ۱۳۹۸ است. به منظور تهیه نقشه مناطق تحت تأثیر سیلاب نیز اقدام به طراحی شبکه عصبی کانولوشنی شد. نقشه سیلاب در کاربری‌های مختلف به صورت متوالی در دوران سیلاب برآورد شده است. نقشه‌های کاربری قبل از سیل توسط روش پیشنهادی دقت ۷۳ و نقشه‌های کاربری پس از سیل به ترتیب زمانشان،

دقت‌های ۷۵، ۷۷/۵ و ۷۹ را کسب نمودند (دودانگه و همکاران، ۱۴۰۰).

در مطالعه‌ای پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی حوضه آبریز طبس مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا معیارهای مؤثر شناسایی و لایه‌های مربوطه تهیه شد. در مرحله بعد استانداردسازی با استفاده از توابع عضویت فازی انجام گرفت، سپس وزن دهی با استفاده از روش سلسله‌مراتبی و در نهایت همپوشانی لایه‌ها با استفاده از اپراتورهای فازی انجام شد. نتایج نشان داد، معیارهای فاصله از رودخانه، شیب، کاربری اراضی، بارش، خاک، ارتفاع و NDVI به ترتیب بالاترین وزن را به خود اختصاص دادند. پهنه‌های با خطر بسیار زیاد سیل در بخش شرقی منطقه مورد مطالعه واقع گردیده‌اند. نواحی با خطر کم نیز اغلب در دشت‌ها خط‌القعرها واقع گردیده‌اند. از بین عملگرهای فازی، عملگر گاما ۰/۹ بهترین و منطقی‌ترین نتیجه را نشان می‌دهد (کفاش و همکاران، ۱۴۰۱).

در مطالعه دیگر وضعیت خطر سیل شهرستان کنارک با استفاده از مدل AHP-WLC بررسی شد و نقشه سیل بهار ۱۳۹۸ این منطقه با استفاده از تصاویر سنتینل ۱ و با اعمال الگوریتم Random forest تهیه شد. مطابق بررسی انجام شده حدود ۴۱,۲۷۹۵ کیلومترمربع از مساحت شهرستان کنارک در بخش‌های جنوبی و حاشیه خلیج فارس در وضعیت خطر بالای سیل و ۶۳,۴۰۱۰ کیلومترمربع نیز از بخش‌های مرکزی دارای وضعیت متوسط سیل هستند. همچنین نقشه سیل ۱۳۹۸ شهرستان کنارک نشان داد که این سیل بیشتر در بخش‌های جنوبی شهرستان کنارک که دارای وضعیت خطر بالای سیل هستند رخ داده است. علاوه بر بخش‌های جنوبی، قسمت‌های جنوبی شرقی شهرستان کنارک نیز تحت تأثیر سیل ۱۳۹۸ بودند اما شدت سیل بیشتر در نیمه جنوبی شهرستان کنارک بود (شهناوی و همکاران، ۱۴۰۲). در مقاله‌ای تشخیص سیل در زمان واقعی با کمک تصاویر چند طیفی و داده‌های SAR با استفاده از تکنیک یادگیری عمیق شبکه عصبی کانولوشنال (CNN) پیشنهاد شده است که تصاویر ماهواره‌ای از مجموعه داده سنتینل ۲ و داده‌های SAR از سنتینل ۱ هستند. نتایج شبیه‌سازی، عملکرد بسیار خوبی را در طبقه‌بندی، تقسیم‌بندی و استخراج ویژگی نشان داده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، یادگیری عمیق می‌تواند نقش بسیار



مؤثری در شناسایی و پیش‌بینی نقاط حادثه‌خیز داشته باشد (دریگوند و همکاران، ۱۴۰۲). در تحقیقی از سری زمانی تصاویر سنتینل ۱ در پلتفرم گوگل ارث انجین استفاده شد تا بتوان نسبت به شناسایی سریع و راحت‌تر مناطق سیلابی در گوگل ارث انجین اقدام کرد. مناطق سیل‌زده برای شهرستان دشت آزادگان است و این مناطق مورد شناسایی قرار گرفتند. استفاده از تصاویر راداری و ترکیب با تصاویر نوری می‌تواند دارای نتایج بهتری باشد. پلتفرم گوگل ارث انجین هم برای بحث‌های سری زمانی می‌تواند خیلی کمک‌کننده‌تر از استفاده از نرم‌افزارهای سنجش از دوری باشد (قربانی و همکاران، ۱۳۹۹).

در این تحقیق، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۱، خسارات ناشی از سیل در استان خوزستان استخراج گردید. برای تشخیص مناسب حد آستانه‌ها و تدقیق نتایج، تصاویر ماهواره لندست ۸ استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد با توجه به عدم قطعیت بالا در تعیین حد آستانه‌های تغییرات در تصاویر راداری، استفاده هم‌زمان از تصاویر اپتیک برای بخش‌هایی از منطقه سیلابی که پوشش ابری ایجاد مزاحمت نمی‌کند موجب افزایش دقت خروجی نهایی می‌شود (باقری هارونی و همکاران، ۱۴۰۰). در این پژوهش پایش و آشکارسازی رخداد سیل ۱۳۹۸ استان لرستان با استفاده از داده‌های ماهواره‌های سنتینل ۱ و لندست ۸ در سامانه گوگل ارث انجین است. داده‌های سری زمانی ماهواره‌های trmm و gpm برای دوره یک ساله و یک ماهه فروردین ماه ۱۳۹۸ نیز استخراج گردید. بررسی مکانی نواحی سیلابی در تصاویر مربوطه نشان می‌دهد که شهرهای نورآباد، الشتر، بروجرد، دورود، ازنا و خرم‌آباد بیشترین و مستعدترین نواحی سیل‌گیر در استان لرستان بوده‌اند و بیشتر از سایر شهرها دچار سیل شده‌اند. همچنین مقدار مساحت سطحی مناطق سیل‌زده برای ماه فروردین ۱۳۹۸ در استان لرستان معادل ۶۷۳/۸۲ کیلومتر مربع برآورد گردید. در نهایت، نتایج بررسی‌های کاربری اراضی نشان داد که پیشروی سیل در نواحی دارای علفزار، زمین‌های زراعی و مناطق شهری و ساخته شده، بیشتر بوده است (میرموسوی و همکاران، ۱۴۰۲).

مطالعه‌ای به برآورد مساحت ابرهای باران‌زا و غیر باران‌زا موجود در منطقه

شمال غرب ایران جهت پیش‌بینی سیل توسط تصاویر ماهواره‌ای AVHRR و داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک در روزهای بارانی ۲۰۰۶ پرداخته است. روش به‌کار رفته در این تحقیق، طبقه‌بندی به روش شیء‌گرا است. برای اعمال تصحیحات، تغییر سیستم تصویر و جدا کردن منطقه مورد مطالعه تصاویر دریافتی AVHRR از نرم‌افزار PciGeomatic استفاده شد و در نهایت طبقه‌بندی شیء‌گرا در نرم‌افزار eCognition انجام گرفت. نتایج نشان‌دهنده دقت بالای طبقه‌بندی بوده و ضریب کاپای به دست آمده ۰/۹۶۲۷ است. دقت کلی طبقه‌بندی نیز که بیانگر میزان اعتبار طبقه‌بندی است در تحقیق حاضر برابر ۰/۹۸۳۴ گردید (حاجی میررحیمی، ۱۳۸۶).

مطالعه‌ای دیگر تلاشی برای محاسبه وسعت سیل‌های گذشته و طبقات کاربری زمین/پوشش زمین LULC تحت تأثیر سیل با استفاده از GIS و تکنیک سنجش از دور در منطقه پرایاگراج هند است. نقشه‌برداری خطر سیل با ادغام GIS به روش تصمیم‌گیری چندمعیاره به نام فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) انجام می‌شود. پارامترهای مؤثر بر سیل از قبیل تراکم زهکشی، ارتفاع، تجمع جریان، LULC، ناهمواری، شیب و شاخص رطوبت توپوگرافی شناسایی می‌شوند. نقشه خطر سیل از طریق AHP تولید شده و با روش منحنی ROC اعتبارسنجی می‌شود. نقشه خطر سیل نشان داد که در منطقه مورد مطالعه ۷۰۱,۷۱ کیلومترمربع (۱۲/۸۰ درصد) منطقه در معرض خطر بالا و منطقه ۱۲۷۳۰ کیلومترمربع (۲۳/۲۲ درصد) در معرض خطر متوسط قرار دارد (sasha et.al, 2020).

در پژوهشی یک روش نقشه‌برداری سریع برای شناسایی مناطق سیلابی بر اساس افزایش مقدار شاخص آب بین تصاویر ماهواره‌ای قبل و بعد از سیل پیشنهاد شد. مقادیر شاخص تفاوت نرمال شده آب (NDWI) و (NDWI) اصلاح شده (MNDWI) در تصویر پس از سیل برای مناطق سیل‌زده در مقایسه با تصویر قبل از سیل بالاتر خواهد بود. بر اساس مقدار آستانه، پیکسل‌های مربوط به مناطق سیل‌زده را می‌توان از مناطق غیرسیل‌زده جدا کرد. مزایای روش پیشنهادی این است که مناطق تحت تأثیر سیل را می‌توان به سرعت شناسایی کرد و اینکه آب‌های از قبل موجود را می‌توان از نقشه‌های سیل حذف کرد (Sivanpillai et.al, 2021).



در مطالعه‌ای دیگر بررسی و آشکارسازی شرایط اقلیمی، همدیدی و ترمودینامیکی حاکم بر رخداد سیل اسفند ۱۳۹۷ در استان گلستان به‌منظور شناسایی سامانه‌هایی جوی مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج آماری نشان داد که ایستگاه‌های گرگان و گنبد کاووس هرکدام با بیشترین بارش از نوع حدی در اسفند ۱۳۹۷، دارای دوره برگشت ۸۰۰ و ۴۰۰ سال بودند. تحلیل نقشه‌های همدیدی مبین افت شدید فشار سطح دریا و ارتفاع تراز میانی به همراه یک ناوه عمیق در منطقه مورد مطالعه در اواخر اسفند ۹۷ بوده که در نهایت منجر به بارش و رخداد سیلاب در منطقه شده است (هدایتی دزفولی، ۱۴۰۳). در تحقیقی دیگر، برای بررسی و پهنه‌بندی نقشه پتانسیل سیل‌گیری در استان کردستان از روش تحلیل سلسله‌مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی و متغیرهایی همچون بارش، شیب، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، کاربری اراضی و شاخص رطوبت توپوگرافی استفاده شد. نتایج نشان داد که معیارهای بارش، شیب و فاصله از رودخانه به ترتیب از بیش‌ترین اهمیت در پتانسیل سیل‌گیری برخوردار بوده‌اند (اکرمی مقدم و دیگران، ۱۴۰۳).

در مطالعه‌ای نقشه سیل بهار ۱۳۹۸ شهر آق‌قلا با استفاده از تصاویر لندست-۸ تهیه شد و سپس با استفاده از مدل ترکیبی AHP-OWA نقشه خطر آن در چهار کلاس «خطر بالا»، «خطر متوسط»، «خطر کم» و «بدون خطر» تهیه گردید. بر اساس نتایج به دست آمده بخش‌های شمال و شمال شرقی این منطقه در وضعیت خطر بالای سیل و بخش‌های غربی و جنوبی هم در وضعیت خطر کم و بدون خطر سیل هستند (سلیمانی و همکاران، ۱۴۰۳).

۲. روش‌شناسی

این پژوهش از منظر هدف، تحقیقی کاربردی است چرا که سعی شده است تا نتایج حاصل به‌صورت عملی به‌کار گرفته شود. اطلاعات مفید جهت مدیریت راهبردی برای بسیاری از مدیران و سازمان‌ها ارزشمند است. سازمان‌هایی چون منابع طبیعی، استانداری‌ها، شهرداری‌ها، مدیریت بحران، هلال احمر و ... نیازمند ایجاد نقشه‌های خطر سیل با دقت و سرعت بالا و هزینه پایین می‌باشند. از طرفی شناسایی مناطق

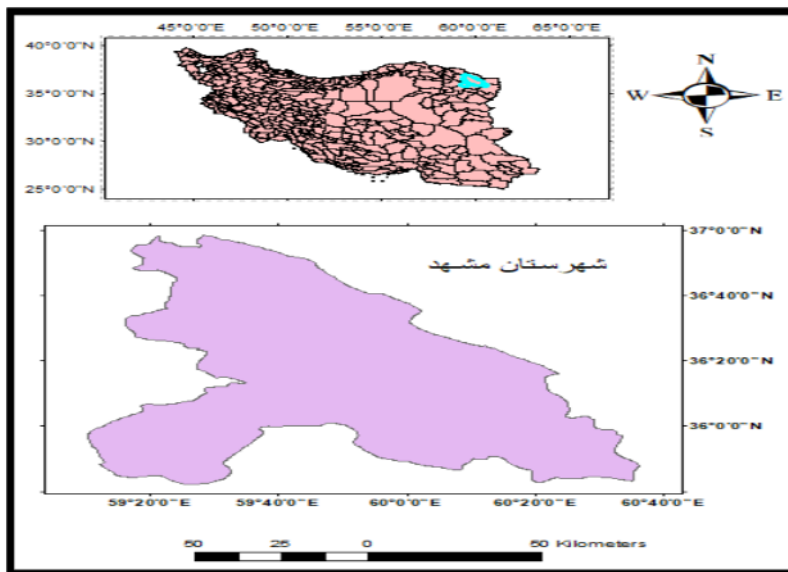
سیلابی پس از وقوع سیل کار امداد رسانی و تعیین خسارات را آسان تر می کند. امروزه تصاویر ماهواره ای از داده های بسیار مفیدی است که برای پایش و بررسی مناطق با وسعت زیاد مورد استفاده قرار می گیرد. سامانه مورد استفاده برای این تحقیق گوگل ارث انجین است. این سامانه مزایای بسیاری برای کار با تصاویر ماهواره ای دارد، از جمله این مزایا می توان به داشتن یک پایگاه داده قدرتمند از اطلاعات، پروداکت و تصاویر ماهواره ای مختلف دنیا، امکان تجزیه و تحلیل به وسیله کد نویسی و نمایش نتایج به صورت گرافیکی، نمودار و عدد اشاره کرد و با کد نویسی امکان فیلتر تصاویر، تعیین منطقه و بازه زمانی را مشخص کرد. داده های اصلی مطالعه حاضر تصاویر ماهواره ای Sentinel-1 SAR برای شناسایی مناطق سیلابی و NASA SRTM Digital Elevation 30m و پروداکت JRC Global Surface Water جهت تولید نقشه خطر پهنه بندی سیلاب استفاده شده است. یکی از سری تصاویر راداری که به صورت رایگان ارائه می شود، تصاویر ماهواره سنیتل ۱ است. این ماهواره در سال ۲۰۱۴ در مدار زمین قرار گرفته است که دارای دو پلاریزه VV و VH است و توانایی تصویربرداری در طول روز و شب و حتی در شرایط ابری و شرایط جوی مختلف را دارد. پولاریزاسیون به جهت موج رادار از آنتن SAR اشاره دارد و از یک آنتن استفاده می کند که امواج آن به صورت افقی یا عمودی فرستاده می شود. وقتی موج پراکنده می شود حالت پولاریزاسیون می تواند تغییر کند. وقتی سنسور موج برگشتی را دریافت می کند آن درجه تغییر را از پولاریزاسیون در منبع اندازه گیری می کند. قطبش های VV معمولاً انرژی بیشتری را از لحاظ رادیومتریکی نسبت به VH دارند.

جدول ۱: باندهای Sentinel-1 SAR GRD

نام باند	پیکسل سائز (متر)	توضیحات
HH	۱۰	تک قطبی، ارسال افقی/دریافت افقی
HV	۱۰	قطبش متقاطع دو باند، ارسال افقی/دریافت عمودی
VV	۱۰	تک قطبی، ارسال عمودی/دریافت عمودی
VH	۱۰	قطبش متقاطع دو باند، ارسال عمودی/دریافت افقی



مجموعه داده‌های JRC Global Surface Water شامل نقشه‌هایی از مکان و توزیع زمانی آب‌های سطحی از سال ۱۹۸۴ تا ۲۰۲۱ است و آماری از گستردگی و تغییر آن سطوح آب ارائه می‌دهد. این داده‌ها توسط ۴۷۱۶۴۷۵ صحنه از ماهواره‌های لندست ۵، لندست ۷ و لندست ۸ تولید و هر پیکسل به‌طور جداگانه به آب و غیر آب طبقه‌بندی شده است. همچنین این تصاویر شامل ۷ باند است که مهم‌ترین باند آن که مورد استفاده قرار گرفته است occurrence نام دارد که وجود آب در منطقه را بررسی می‌کند. دیگر داده استفاده شده در تحقیق NASA SRTM Digital Elevation 30m است. مأموریت توپوگرافی رادار شاتل (SRTM) تحقیقاتی بین‌المللی است که مدل‌های ارتفاعی دیجیتال را در مقیاس تقریباً جهانی به دست می‌آورد. این مجموعه داده با استفاده از داده‌های منبع باز ASTER GDEM، GMTED و NED تولید شده است و دارای باند elevation است که ارتفاع ۱۰ تا ۶۵۰۰ متر را در خود جای داده است. همچنین قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متری دارد. از آنجا که اخیراً، سیل ناگهانی در شهر مشهد اتفاق افتاد، منطقه مورد مطالعه پژوهش مشهد انتخاب شده است. شهر مشهد مرکز استان خراسان رضوی واقع در شرق کشور ایران، یکی از استان‌های تاریخی و مذهبی ایران محسوب می‌شود. این کلان‌شهر در تاریخ ۱۳۱۶ در دومین قانون تقسیمات کشوری ایران ایجاد گردید. در ۳۶ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقه و ۴۵ ثانیه طول شرقی قرار دارد. وسعت شهرستان مشهد ۱۷۳۵۸ کیلومتر مربع است و در حوضه آبریز کشف رود و در انتهای جنوبی دشت رسوبی توس واقع است. همچنین ارتفاع آن از سطح دریا حدود ۹۷۰ متر است.



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه (شهرستان مشهد) بر روی نقشه

برای تولید نقشه خطر سیل و شناسایی مناطق سیلابی مشهد در سامانه گوگل ارث انجین ابتدا باید در آن ثبت نام کرده و پس از آن وارد محیط برنامه نویسی سامانه شد. در محیط برنامه نویسی شپ فایل منطقه را به صورت زیپ در قسمت Assets بارگذاری کرده و در فایل کدنویسی، به وسیله گزینه Import وارد می کنیم.

تهیه نقشه پهنه بندی خطر سیلاب در دستور کار قرار گرفت. پنج متغیر فاصله از آب، ارتفاع، توپوگرافی منطقه، پوشش گیاهی و میزان رطوبت (مناطق آبی) ملاک اصلی تهیه نقشه می باشند. ابتدا تصاویر JRC Global Surface Water و NASA SRTM Digital Elevation 30m با دستور ee.Image و دیتاست لندست ۸ با فیلترهای مربوط به وسیله ee.FeatureCollection فراخوانی شدند. با استفاده از ویژگی occurrence پروداکت GSW مناطق آبی که به صورت دائمی هستند در منطقه شناسایی شد. سپس به وسیله fastDistanceTransform حریم هایی در اطراف مناطق آبی ایجاد گردید. توسط پروداکت SRTM مدل ارتفاع دیجیتال (DEM) منطقه نیز استخراج گردید. از طرفی با تفریق ارتفاع هر پیکسل از میانگین ارتفاع منطقه، شاخص موقعیت توپوگرافیک (TPI)



تعیین گردید.

$$TPI = elevation - mean\ elevation \quad \text{فرمول (۱)}$$

همچنین با استفاده از فرمول‌های ۲ و ۳ شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) و شاخص آب تفاضلی نرمال‌شده (NDWI) توسط باندهای سبز (B3)، قرمز (B4) و مادون‌قرمز نزدیک (B5) لندست ۸ محاسبه شد.

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad \text{فرمول (۲)}$$

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \quad \text{فرمول (۳)}$$

در ادامه هریک از نقشه‌های فاصله از مناطق آبی، ارتفاع، TPI، پوشش گیاهی و رطوبت براساس میزان تأثیرگذاری رتبه‌بندی می‌شوند. ترکیب این پنج نقشه با دستور Add امکان ایجاد نقشه خطر سیل را فراهم می‌کند. برای نمایش گرافیکی بهتر نیز می‌توان از پالت رنگی بهره گرفت.

جدول ۲: نحوه رتبه‌بندی نقشه‌ها

رتبه نقشه	بسیار کم ۱	کم ۲	متوسط ۳	زیاد ۴	بسیار زیاد ۵
فاصله از آب	Red	Yellow	Green	Blue	Purple
ارتفاعی	Purple	Blue	Green	Yellow	Red
توپوگرافی	Purple	Blue	Green	Yellow	Red
پوشش گیاهی	Purple	Blue	Green	Yellow	Red
رطوبت	Purple	Blue	Green	Yellow	Red
خطر سیل	Purple	Blue	Green	Yellow	Red

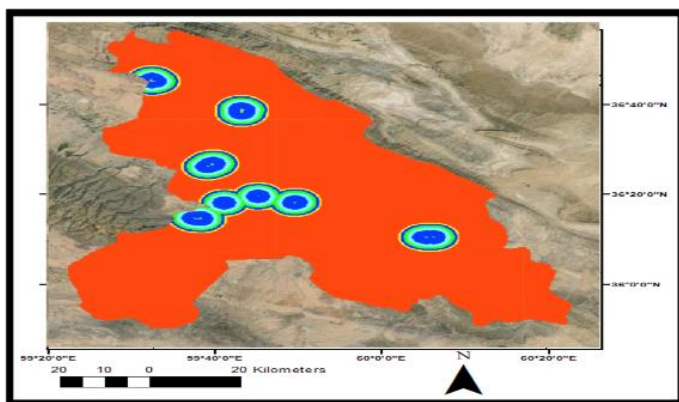
پس از تهیه پهنه‌بندی خطر سیل، در گام بعدی شناسایی مناطق سیل‌زده مورد بررسی قرار گرفت. برای این کار نیاز است که تصاویر ماهواره‌ای قبل و بعد از وقوع سیل گردآوری شود و پردازش‌های لازم جهت تعیین تغییرات میان دو تصویر شکل

گیرد. با دستور ee.ImageCollection تصاویر مربوط به ماهواره‌ای Sentinel-1 SAR به برنامه معرفی می‌شود. سپس با filter فقط تصاویری که شهر مشهد در آن است و همچنین برای نوع قطبش نیز با دستور select پولاریزاسیون VV انتخاب می‌شوند. پس از فیلتر تصاویر، مهم‌ترین بخش که فیلتر زمانی است آغاز می‌شود. بنابراین دو متغیر برای قبل از سیل و بعد از سیل ایجاد می‌گردد. از آنجا که سیل مشهد ۲۶ اردیبهشت رخ داد، تصاویر ۲۰ روز قبل و ۲۰ روز بعد این تاریخ به میلادی مورد ارزیابی قرار گرفت. تمام تصاویر انتخابی توسط دستور clip, mosaic, median در محدوده شیپ‌فایل ابتدایی تبدیل به تک‌تصویر شد. حال، دو تصویر قبل و بعد از سیلاب ایجاد شد. برای تعیین میزان تغییرات نیاز است تا دو تصویر را از یکدیگر کم کنیم. بدان معنا که تمام پیکسل‌های مشابه از یکدیگر کم می‌شود و پس از تعیین حد آستانه، تصویر نهایی که معروف به change detection است، تشکیل می‌شود.

در انتها با بررسی تصاویر قبل و بعد از سیل، می‌توان مساحت پیکسل‌های قسمت سیلابی را با ایجاد تابعی در قسمت کدنویسی ارث انجین محاسبه کرد. بدین منظور تصاویر ۱۵ روز قبل از سیل و ۱۵ روز بعد از سیل گردآوری شده و هر کدام تبدیل به تک‌تصویر شدند. سپس تفاوت دو تصویر ارزیابی شد و مساحت منطقه سیلابی محاسبه گردید.

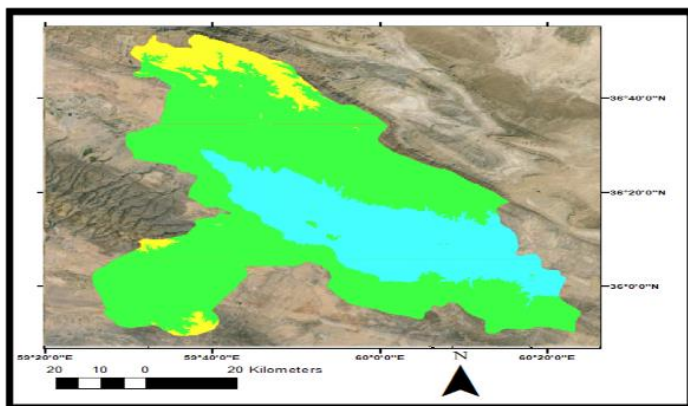
۳. تجزیه و تحلیل یافته‌ها

جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر سیل می‌بایست تصاویر پنج متغیر به‌کار برده شده ایجاد شود. برای تشخیص مناطق آبی در منطقه از خصوصیت occurrence پروداکت GSW استفاده شد. سپس با ایجاد تابع و تعیین حریم، مناطق از بیشترین خطر تا کمترین خطر در شکل (۲) تولید شد.



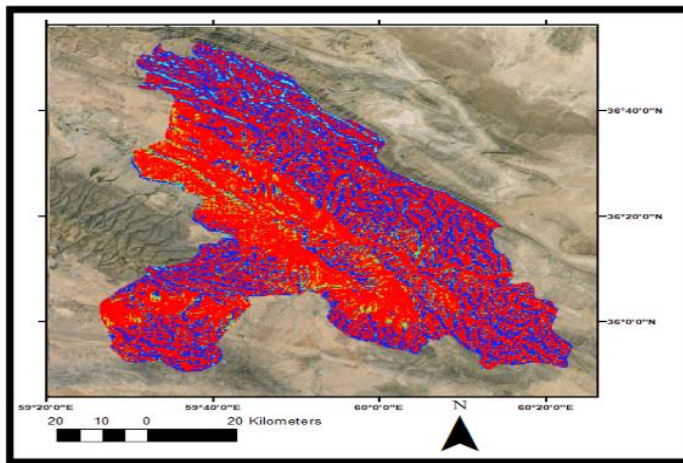
شکل ۲: نقشه فاصله از آب

متغیر بعدی در تعیین نقشه خطر، ارتفاع است. بدین منظور نقاط ارتفاعی از پروداکت SRTM استخراج گردید که شکل (۳) تغییرات ارتفاعی را با رنگ‌های مناسب نمایش می‌دهد.



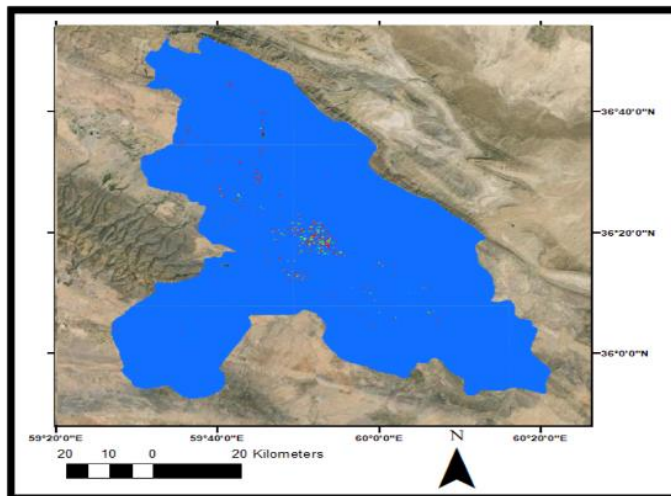
شکل ۳: نقشه ارتفاعی

در قسمت بعدی، متغیر شاخص توپوگرافی به‌وسیله فرمول (۱) که تفاضل ارتفاع هر پیکسل از میانگین ارتفاع منطقه است، تعیین شد (شکل ۴).



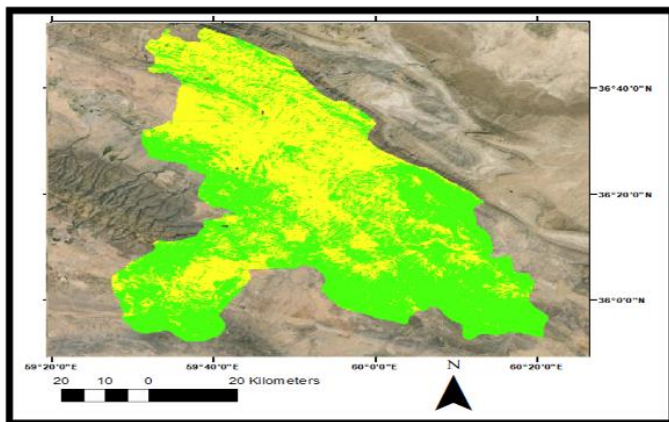
شکل ۴: نقشه شاخص توپوگرافی

برای تعیین مناطقی که دارای پوشش گیاهی هستند نیز با استفاده از فرمول (۲) شاخص NDVI منطقه مورد محاسبه قرار گرفت. تصویر نهایی پوشش گیاهی منطقه در شکل (۵) قابل مشاهده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، پوشش گیاهی کمی در مشهد دیده می‌شود.



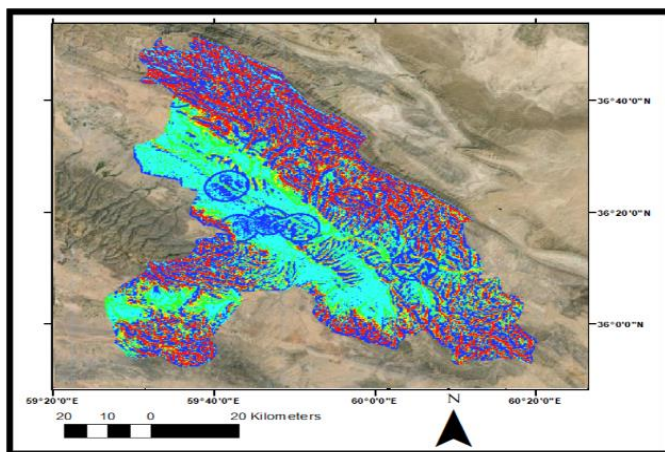
شکل ۵: نقشه پوشش گیاهی NDVI

همچنین برای تعیین میزان رطوبت و آب با فرمول (۳) شاخص NDWI محاسبه گردید که در شکل (۶) نقشه آن دیده می‌شود.



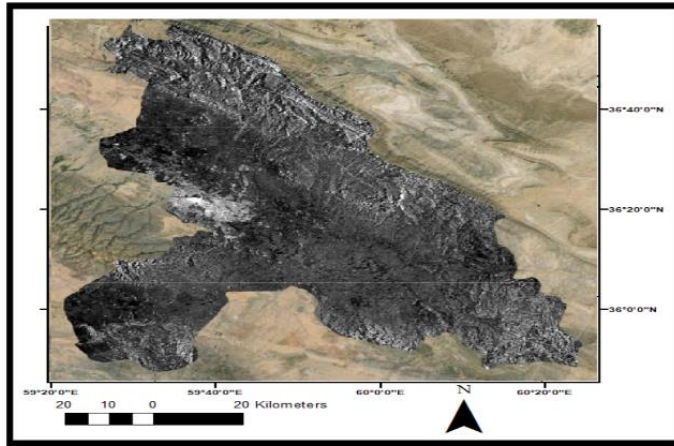
شکل ۶: نقشه رطوبت NDWI

پس از تعیین تصاویر پنج متغیر اصلی که همگی از داده‌های موجود در سامانه گوگل ارث انجین اخذ شد، رتبه‌بندی بر اساس جدول شماره (۲) انجام شد و با ایجاد مدل، این پنج تصویر با هم ادغام شدند. ترکیب این تصاویر نقشه پهنه‌بندی خطر سیل شهر مشهد را تولید می‌کند.

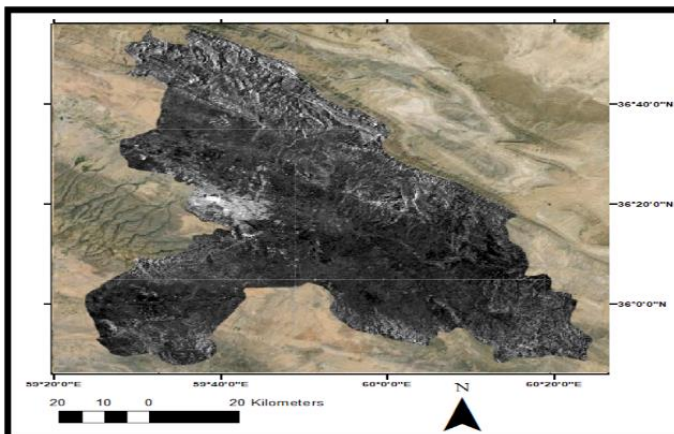


شکل ۷: نقشه پهنه‌بندی خطر سیل

بعد از تعیین نقشه پهنه‌بندی خطر سیل به بررسی مناطق سیل‌زده مشهد در زمان سیلاب ناگهانی اردیبهشت ۱۴۰۳ پرداخته می‌شود. همان‌طور که در قسمت روش تحقیق بیان شد، ابتدا چند تصویر در بازه ۲۰ روزه قبل از سیلاب جمع‌آوری و با دستور میانه تبدیل به تک تصویر شد (شکل ۸). همین عمل برای تصاویر ۲۰ روزه پس از سیلاب هم انجام گردید که در شکل (۹) قابل مشاهده است.

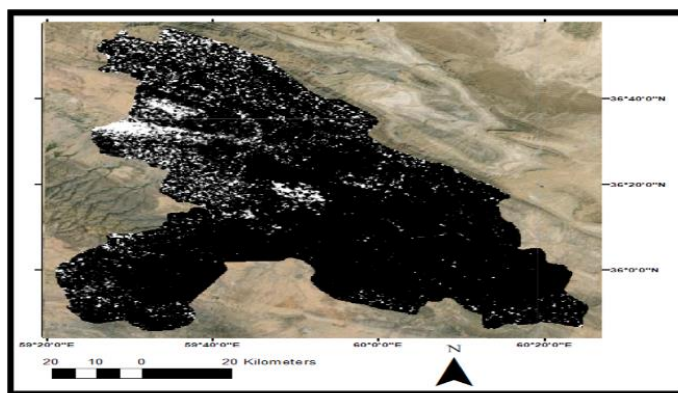


شکل ۸: تصویر شهرستان مشهد قبل از سیل



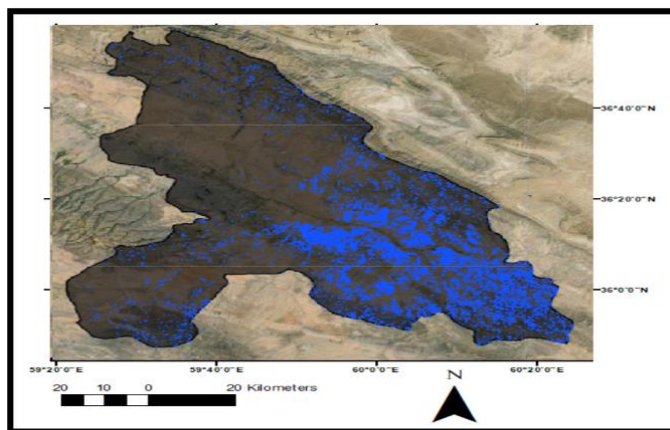
شکل ۹: تصویر شهرستان مشهد بعد از سیل

پس از تعیین تصاویر قبل و بعد از سیلاب، نیاز به بررسی میزان تغییرات میان دو تصویر است. با ایجاد مدل و استفاده از دستورات ریاضی در سامانه ارث انجین، تفاوت دو تصویر در شکل (۱۰) پدیدار گشت.



شکل ۱۰: تفاوت تصاویر قبل و بعد از سیل

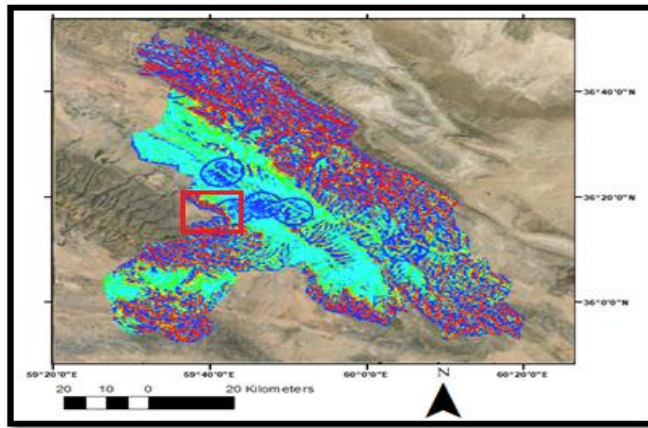
پس از تعیین حد آستانه و استفاده از رنگ آبی به منظور فهم بهتر، مناطق سیل‌زده مشهد در شکل (۱۱) نمایش داده شده است.



شکل ۱۱: شناسایی مناطق سیلابی

برای محاسبه میزان سیلاب در منطقه به وسیله تصاویر ماهواره‌ای سنتینل، در قسمت کدنویسی سامانه ارث انجین، مدلی ایجاد شد. با توجه به تصاویر جمع‌آوری شده قبل و بعد

از سیل، مناطق سیلابی مشخص گردیدند. پس از تعیین نقاط سیلابی، پیکسل‌های مربوط به این مناطق تعیین شد. با جمع مساحت پیکسل‌ها و استفاده از ضریب مناسب، مساحت منطقه سیلابی حدود ۳۵ کیلومترمربع برآورد شد. همان‌طور که نقشه خطر پهنه‌بندی سیلاب شهرستان مشهد نشان می‌دهد، قسمت غرب و جنوب غربی شهر مشهد خطر بیشتری برای بروز سیلاب را داراست. در گزارش‌های اولیه سیلاب، مناطقی همچون بلوار نماز، کوی سیدی و خیابان سپاه با بیشترین خسارت مالی و حتی جانی مواجه شدند. مناطق یادشده همگی در محدوده خطرناک سیلاب تهیه شده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل قرار داشتند که در شکل (۱۲) نمایان شده است.



شکل ۱۲: محدوده مناطق سیلابی شهر مشهد

یکی از مهم‌ترین دلایل وقوع سیلاب در شهر مشهد بارش بیش از حد در روز ۲۶ اردیبهشت است. بر اساس گزارشات در یک ساعت حدود ۴۰ میلی‌متر باران باریده است که بیشتر از آن چیزی بود که تصور می‌شد. اگر میزان بارش در حدود ۲۵ میلی‌متر در ساعت بود، امکان وقوع سیل به‌شدت پایین می‌آمد. با این حال می‌بایست برنامه‌ای ایجاد شود تا با بارش‌های بیشتر از این نیز سیلاب کنترل شود. علاوه بر میزان بارش شدید، بسیاری از ساخت‌وسازها در مناطق ممنوعه‌ای همچون مسیر رود و سیلاب در بروز این حادثه نقش داشتند. از طرفی بلوار نماز با از بین بردن برخی از ارتفاعات شهر مشهد ایجاد شده است. این بلوار تازه تأسیس باعث شد تا سیلاب تغییر جهت داده و به برخی دیگر از مناطق شهری



نیز آسیب برسانند. لذا کوه خواری برای ساخت جاده نیز یکی از علل وقوع سیل می‌تواند باشد. علاوه بر این، زیرساخت مناسب برای مدیریت سیلاب نیز وجود نداشت. به‌عنوان مثال در زیرگذر میدان انقلاب دریاچه‌های تخلیه آب با دبی ۱۰۰۰ وجود داشت اما به‌خوبی کار نکرده و ایراداتی داشت.

همان‌گونه که در شکل (۷) مشاهده می‌شود مناطق با رنگ قرمز، زرد، سبز، فیروزه‌ای و آبی به ترتیب نشان‌دهنده مناطق بسیار پرخطر، پرخطر، با خطر متوسط، کم‌خطر و بسیار کم‌خطر است. بیشترین خطر مربوط به قسمت شرق مشهد است که از شمال شرق تا جنوب شرق را فراگرفته است. کمترین خطر نیز مربوط به قسمت مرکزی شهر است.

همچنین در مرحله دوم که شناسایی مناطق سیلابی است، با توجه به مناطق آبی‌رنگ در نقشه ارزیابی سیلاب در شکل (۱۱) می‌توان دریافت که بیشترین مناطق سیلابی مربوط به جنوب شرق شهرستان مشهد است. گزارش‌های اولیه در منابع رسمی نیز ابتدا سیل را در قسمت غرب و شمال شرق اعلام کرده و پس از مدتی با افزایش میزان آب‌گرفتگی سیل در این مناطق به سمت جنوب شرقی روانه شد. می‌توان درستی این نقشه را با استفاده از گزارش‌های موجود تأیید کرد. همچنین نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب نیز احتمال سرریز شدن سیل به قسمت جنوب شرقی هشدار داده بود. از طرفی در شهر مشهد نیز مناطق غربی و جنوب غربی بیشترین خسارت را داشتند که در نقشه پهنه‌بندی نمایش داده شده‌اند. درنهایت پس از شناسایی مناطق سیلابی میزان مساحت سیلاب نیز برآورده شد.

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

در این مقاله، راهبردهای نوین مدیریت سیلاب با تأکید بر استفاده از تحلیل تصاویر ماهواره‌ای برای پهنه‌بندی و شناسایی مناطق سیلابی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهند که تکنیک‌های سنجش از دور و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای می‌توانند به‌عنوان ابزارهای قدرتمندی در مدیریت سیلاب‌ها به کار گرفته شوند. این روش‌ها، با دقت و سرعت

بالا، قابلیت شناسایی مناطق مستعد سیلاب و تحلیل الگوهای سیلابی را فراهم می‌کند که می‌تواند به بهبود برنامه‌ریزی و واکنش به بحران‌های سیلابی منجر شود.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، استفاده از فناوری‌های نوین در مدیریت سیلاب‌ها می‌تواند خسارات جانی و مالی ناشی از سیلاب‌ها را به‌طور قابل توجهی کاهش دهد. این امر نیازمند سرمایه‌گذاری در فناوری‌های پیشرفته و آموزش متخصصان در استفاده از این ابزارهاست. همچنین، همکاری بین‌المللی و تبادل دانش در این حوزه می‌تواند به ارتقای راهبردهای مدیریت سیلاب کمک کند.

برای جلوگیری از بروز این نوع بلایا، نیاز است تا از اتفاقات گذشته درس گرفت. به‌طور مثال بارش‌های چندین ساله را بررسی کرده و با ایجاد مدلی، تاریخ حدودی یک بارش شدید را پیش‌بینی کرده و جلوی وقوع سیلاب شدید را گرفت. علاوه بر این ممنوعیت ساخت‌وساز غیرمجاز می‌تواند بسیاری از خسارات مالی و جانی را کاهش داد. از طرفی استفاده از مجهزترین امکانات برای لایروبی جوی‌ها و مسیل‌ها و همچنین ایجاد مسیری برای عبور سیل می‌تواند کمک شایانی به مدیریت بحران در هنگام وقوع سیل در منطقه کند. در نهایت، این مطالعه بر اهمیت به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل داده‌های سنجش از دور در مدیریت بحران‌های طبیعی تأکید دارد و پیشنهاد می‌کند که سیاست‌گذاران و مدیران بحران به‌منظور بهبود کارایی و اثربخشی راهبردهای مدیریت سیلاب، می‌بایست از این فناوری‌ها بهره‌برداری کنند.



فهرست منابع

- علی دادی، آیدین؛ علی دادی، آسیه (۱۴۰۳). *تأثیر سوانح و بلایای طبیعی و غیرطبیعی بر امر آموزش و چگونگی مدیریت آن*، هفدهمین همایش ملی پژوهش‌های مدیریت و علوم انسانی در ایران.
- زمانی، مریم؛ احدی، حمیدرضا (۱۴۰۳). *مکان‌یابی مراکز امداد و نجات با استفاده از مدل ترکیبی AHP-GIS مطالعه موردی: شهر تهران*. پژوهشنامه حمل و نقل، دوره ۲۱، شماره ۷۹.
- اکبری اصفهانی، زهرا؛ ملکزاده، مسعود (۱۴۰۲). *بررسی ابعاد تأثیرگذار بر تاب‌آوری مسکن در برابر سیل و آب‌گرفتگی (نمونه مطالعاتی: شهر قم)*، هفتمین کنفرانس بین‌المللی مطالعات جهانی در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی.
- اکرمی مقدم، بهار؛ ایلخانی پور زینالی، رسول؛ نیک مهر، سامان (۱۴۰۲). *پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌گیری با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در استان کردستان*، فصلنامه محیط زیست و مهندسی آب، دوره ۱۰، شماره ۱.
- سلیمانی، کریم؛ درویشی، شادمان؛ زاغی، هادی (۱۴۰۳). *بررسی خطر سیل ۱۳۹۸ شهر آق‌قلا با استفاده از سنجش‌ازدور و مدل‌های تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره*. مجله آمایش جغرافیایی فضا، دوره ۱۴، شماره ۱.
- پنجه کوبی، پرویز؛ ریحانی پروری، محمد؛ جاوردی، مهدی؛ رحمن نیا، محمدرضا (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.
- یوسف زاده و دیگران (۱۳۹۸). *استخراج پتانسیل سیل‌خیزی حوضه سیمینه‌رود با کمک تصاویر ماهواره‌ای، شاخص رطوبت توپوگرافی و ویژگی‌های مورفولوژیکی*. فصلنامه جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۳۲.
- عمادالدین و دیگران (۱۴۰۰). *پایش نقشه‌های گسترش سیلاب با استفاده از تصاویر راداری (SAR) مطالعه موردی: سیل فروردین ۱۳۹۸، شهرستان آق‌قلا*. پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، شماره ۶.
- دودانگه و دیگران (۱۴۰۰). *آشکارسازی تغییرات ناشی از سیل با تأکید بر سطح اتوماسیون بالای تفسیر تصاویر و مبتنی بر تولید خودکار داده آموزشی*، پژوهش آب ایران، دوره ۱۵،

شماره ۲.

- مرادی و دیگران (۱۴۰۰). پایش خطر سیل فروردین ۱۳۹۸ استان گلستان با استفاده از تصاویر راداری سنتینل - ۱ (روستاهای حد فاصل سد وشمگیر و شهر آق‌قلا)، هشتمین همایش ملی ژئومورفولوژی، کارکردها و ضرورت‌ها.
- افضل‌کرده‌محله، پارسا؛ بهزادی، سعید (۱۴۰۲). ارزیابی مناطق سیل‌زده توسط داده‌های ماهواره‌ای (مطالعه موردی: استان گلستان)، سومین همایش ملی راهبردهای مدیریت منابع آب و چالش‌های زیست‌محیطی.
- محمدنژاد و دیگران (۱۴۰۰). تهیه نقشه گسترش سیلاب با استفاده از تصاویر راداری سنتینل ۱. مطالعه موردی: سیل فروردین ۱۳۹۸، شهرستان پلدختر. آمایش جغرافیایی فضا، دوره ۱۱، شماره ۴۱.
- دودانگه و دیگران (۱۴۰۰). استخراج محدوده‌های سیل‌زده بر پایه ادغام تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ و مادیس و مبتنی بر شبکه یادگیری عمیق، محیط‌شناسی، دوره ۴۷، شماره ۲.
- کفاش و دیگران (۱۴۰۱). تحلیل فضایی خطر سیل‌خیزی در حوضه آبخیز طبس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سامانه اطلاعات جغرافیایی، اولین همایش بین‌المللی و دومین همایش ملی مدل‌سازی و فناوری‌های جدید در مدیریت آب.
- شهنوازی و دیگران (۱۴۰۲). استخراج و پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از تصاویر راداری Sentinel-1 مطالعه موردی: منطقه کنارک در استان سیستان و بلوچستان، سومین کنفرانس ملی تغییرات محیطی با تأکید بر مدیریت منابع آب در مناطق ساحلی.
- دریگوند و دیگران (۱۴۰۲). تحلیل تصاویر ماهواره‌ای در تشخیص و پیش‌بینی سیل با یادگیری عمیق، اولین همایش ملی بازآفرینی شهری، ایمنی و مدیریت بحران.
- قربانی و دیگران (۱۳۹۹). استخراج مناطق سیل‌زده دشت آزادگان با استفاده از تصاویر سنتینل ۱ در پلتفرم گوگل ارث انجین، چهارمین همایش ملی کاربرد مدل‌های پیشرفته تحلیل فضایی، سنجش از دور و GIS در آمایش سرزمین.
- باقری‌هارونی و دیگران (۱۴۰۰). برآورد بهنگام خسارت سیلاب با استفاده از سنجش از دور در محیط ارث انجین منطقه مطالعاتی: خوزستان سیل فروردین ماه ۱۳۹۸، هشتمین کنفرانس جامع مدیریت و مهندسی سیلاب.
- میرموسوی و دیگران (۱۴۰۲). پایش و آشکارسازی رخداد سیل ۱۳۹۸ لرستان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در گوگل ارث انجین.
- حاجی میرحیمری و دیگران (۱۳۸۶). کاربرد تصاویر ماهواره‌ای AVHRR در پیش‌بینی



- باران‌های سیل‌آسا (مطالعه موردی: شمال غرب کشور)، سومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت جامع بحران در حوادث غیرمترقبه طبیعی. ۱۳۸۶.
- هدایتی دزفولی (۱۴۰۳). بررسی سیل استان گلستان از دیدگاه هم‌دیدگی و آماری (مطالعه موردی: اسفند ۱۳۹۷). تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره ۲۴، شماره ۷۳.

References

- Saha, A.K. and S.J.N.f.E.E. Agrawal, Mapping and assessment of flood risk in Prayagraj district, India: a GIS and remote sensing study. 2020.
- Sivanpillai, R., et al., Rapid flood inundation mapping by differencing water indices from pre-and post-flood Landsat images. 2021. 15: p.