

**Web site:**

<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

Email:

iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

**Vol. 15
No. 3 (59)**

Received:
2025-03-17

Accepted:
2025-10-25

Pages: 1-15

Evaluation and Comparison of Radar and Optical Remote Sensing Methods for Flood Zone Extraction (Case Study: Agh Ghala 2019 Flood)

Azam Mirjalili¹, Seyyed Nasser Bashi-Azghadi^{*2}, Ali Ghadiri³, Ghazal Dehghani Sanij⁴

- 1) Remote Sensing Expert, Statistics Department, Agricultural Jihad Organization of Khorasan Razavi Province, Mashhad, Iran.
- 2) Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Khavaran Institute of Higher Education, Mashhad, Iran.
- 3) PhD Student, Remote Sensing and Geographic Information System, Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science, Tehran, Iran.
- 4) Master of Science in Water Resources Management, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran.

*Corresponding author emails: bashinasser64@gmail.com

Abstract:

Background and Aim: Natural disasters are adverse events caused by geophysical, hydrological, climatic, meteorological, or biological hazards, including earthquakes, floods, storms, and fires. They lead to casualties, and injuries, and negatively impacts on public well-being and healthcare systems. Floods are among the most common and devastating natural disasters, affecting countries worldwide and causing significant economic losses. Due to its climatic and topographic conditions, Iran faces annual flood risks, particularly in Golestan Province. Extensive deforestation and unique geography have intensified flooding in this region. This study aims to compare optical and radar methods for mapping the flooded areas in Golestan Province during the 2019 inundation.

Method: Extraction of flooded zones is crucial for water resource management and flood damage reduction. Various methods exist for floodplain extraction, and the Kappa agreement method is used to evaluate their accuracy. Required data includes 1) satellite images, which remote sensing researchers use to translate spectral patterns into real-world values, and 2) reference data, independent sources used for validation results. For assessing the 2019 flood in Golestan Province, Landsat 8, Sentinel 1, and Sentinel 2 satellite data were utilized. Landsat 8 and Sentinel 2 provide optical imagery, while Sentinel 1 is radar-based. Pre- and post-flood maps were created to determine water-covered areas. Optical and radar indices such as NWI, MNDWI, AWEInsh, AWEIsh, EWI, NDWI, NDWI-B, NDVI, NDPI, and NDMI were applied. A land use map, generated through supervised classification and machine learning models, assessed flood damage. Sentinel-2 images and the Otsu self-thresholding algorithm in Google Earth Engine were used to extract affected areas. To compare indices, 162 water and non-water training samples were collected and evaluated using the Kappa agreement coefficient.

Results: The results of this study show that the fusion of optical and radar images can complement each other's limitations. This is because of the limitations of temporal resolution and temporal events such as floods limit the availability of satellite images. Finally, the NDPI and MNDWI indices achieve the highest accuracy in extracting flooded areas with a high overall accuracy. Examination of the flooded areas and damaged land uses also show that 22.49% of the area was affected by the flood. Analysis of each land use reveal that 17.46% of agricultural land, 12.62% of residential land, and 14.42% of rangeland are flooded.

Conclusion: Remote sensing is a crucial method for flood management, providing detailed satellite imagery for analyzing flood events and water distribution. This study visualized the spatial distribution of satellite indices and compared the Kappa index and overall accuracy of MNDWI and NDPI. With high accuracy, these indices were selected as the most suitable for flood zone extraction and land use comparison. Accuracy assessment showed that most optical methods, except NWI, NDMI, and NDWI_B, exceeded 90% accuracy, confirming their reliability when cloud-free imagery is available. Due to the flood's prolonged duration, cloud-free optical images were accessible, ensuring accurate flood zone extraction. Sentinel-1 radar imagery also achieved over 90% accuracy, making it a reliable alternative when cloud cover obstructs optical imagery. Results indicate that 71.87% of the region is agricultural land, with 17.46% affected by floods. Additionally, 39.65% of barren lands were flooded, totaling 70744 hectares in the flood zone.

Keywords: Agh Ghala, Flood, MNDWI, NDPI, Remote Sensing



شاپا چاپی: ۷۴۸۰-۲۲۵۱
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۰-۲۲۵۰

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:

<https://wsrj.srbiau.ac.ir>

پست الکترونیک:

iauwsrj@srbiau.ac.ir
iauwsrj@gmail.com

سال پانزدهم

شماره ۳ (۵۹)

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۱۲/۲۷

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۰۸/۰۳

صفحات: ۱۵-۱

ارزیابی و مقایسه روش‌های سنجش از دور راداری و اپتیکی در استخراج پهنه سیلابی (مطالعه موردی: سیل ۱۳۹۸ آق قلا)

اعظم میرجلیلی^۱، سیدناصر باشی ازغدی^{۲*}، علی قدیری^۳ و غزل دهقانی سانج^۴

(۱) کارشناس سنجش از دور، اداره آمار، سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان رضوی، مشهد، ایران.

(۲) استادیار، گروه مهندسی عمران، مؤسسه آموزش عالی خاوران، مشهد، ایران.

(۳) دانشجوی دوره دکتری سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، تهران، ایران.

(۴) کارشناسی ارشد مدیریت منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: bashinasser64@gmail.com

چکیده:

زمینه و هدف: بلایای طبیعی رویدادهای نامطلوبی هستند که بر اثر مخاطرات ژئوفیزیکی، هیدرولوژیکی، اقلیمی، هواشناسی یا بیولوژیکی از جمله زلزله، سیل، طوفان و آتش‌سوزی رخ می‌دهند. این بلایا منجر به تلفات جانی، آسیب‌های جسمی و تأثیرات منفی بر سلامت عمومی و سیستم‌های بهداشتی و درمانی می‌شوند. سیلاب‌ها یکی از رایج‌ترین و ویرانگرترین بلایای طبیعی هستند که کشورهای مختلف را تحت تأثیر قرار داده و خسارات اقتصادی قابل توجهی ایجاد می‌کند. ایران به دلیل شرایط اقلیمی و توپوگرافی خود، هر ساله با خطر وقوع سیل به‌ویژه در استان گلستان مواجه است. جنگل‌زدایی گسترده و ویژگی‌های جغرافیایی خاص این منطقه، وقوع سیل‌های مخرب را تشدید کرده است. هدف این مطالعه مقایسه روش‌های اپتیکی و راداری برای نقشه‌برداری از مناطق سیل‌زده در استان گلستان طی سیل سال ۲۰۱۹ است.

روش پژوهش: استخراج مناطق سیل‌زده برای مدیریت منابع آب و کاهش خسارات سیل ضروری است. روش‌های مختلفی برای استخراج دشت‌های سیلابی وجود دارد و روش توافق کاپا برای ارزیابی دقت آن‌ها استفاده می‌شود. داده‌های مورد نیاز شامل (۱) تصاویر ماهواره‌ای که برای تبدیل الگوهای طیفی به مقادیر واقعی به کار می‌برند و (۲) داده‌های مرجع که منابع مستقل برای اعتبارسنجی نتایج هستند. برای ارزیابی سیل ۲۰۱۹ در استان گلستان، از داده‌های ماهواره‌ای Landsat 8، Sentinel 1 و Sentinel 2 استفاده شد. تصاویر Landsat 8 و Sentinel 2 اپتیکی هستند، در حالی که Sentinel 1 مبتنی بر رادار است. نقشه‌های پیش و پس از سیل برای تعیین مناطق تحت پوشش آب تهیه شدند. شاخص‌های اپتیکی و راداری مانند NDVI، NDWI-B، NDWI، AWEIsh، AWEInsh، MNDWI، NWI، NDMI و NDPI برای مقایسه استفاده شدند. برای مقایسه شاخص‌ها، ۱۶۲ نمونه آموزشی از مناطق آبی و غیرآبی جمع‌آوری و با استفاده از ضریب توافق کاپا ارزیابی شدند. یافته‌ها: نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که ترکیب تصاویر اپتیکی و راداری می‌تواند محدودیت‌های یکدیگر را تکمیل کند. این امر به دلیل محدودیت‌های دقت زمانی و رویدادهای زمانی مانند سیل است که دسترسی به تصاویر ماهواره‌ای را محدود می‌کند. در نهایت، شاخص‌های NDPI و MNDWI بالاترین دقت را در استخراج مناطق سیل‌زده با دقت کلی بالا بدست آوردند. بررسی مناطق سیل‌زده و استفاده‌های اراضی آسیب‌دیده نشان می‌دهد که ۲۲/۴۹ درصد از منطقه تحت تأثیر سیل قرار گرفته است. تحلیل هر نوع استفاده از زمین نشان می‌دهد که ۱۷/۴۶ درصد از اراضی کشاورزی، ۱۲/۶۲ درصد از اراضی مسکونی و ۱۴/۴۲ درصد از اراضی مرتعی دچار سیلاب شده‌اند.

نتایج: سنجش از دور یک روش حیاتی برای مدیریت سیلاب است که تصاویر ماهواره‌ای دقیق برای تحلیل رویدادهای سیلاب و توزیع آب فراهم می‌کند. این مطالعه توزیع فضایی شاخص‌های ماهواره‌ای را بررسی کرده و شاخص کاپا و دقت کلی شاخص‌های MNDWI و NDPI را مقایسه کرده است. این شاخص‌ها با دقت بالا به عنوان مناسب‌ترین گزینه‌ها برای استخراج مناطق سیل‌زده و مقایسه استفاده از زمین انتخاب شدند. ارزیابی دقت نشان داد که بیشتر روش‌های اپتیکی، به جز شاخص‌های NWI، NDMI و NDWI_B، دقتی بالای ۹۰ درصد دارند. به دلیل طولانی بودن مدت زمان سیل، تصاویر اپتیکی بدون ابر در دسترس بودند و امکان استخراج دقیق مناطق سیل‌زده فراهم شد. تصاویر راداری Sentinel-1 همچنین دقتی بیش از ۹۰ درصد داشتند و به عنوان جایگزینی قابل اعتماد در صورت پوشش ابری، استفاده شدند. نتایج نشان دادند که ۷۱/۸۷ درصد از منطقه کشاورزی است و ۱۷/۴۶ درصد از آن تحت تأثیر سیلاب قرار گرفته‌اند. افزون بر این ۳۹/۶۵ درصد از اراضی خشک به مساحت ۷۰۷۴۴ هکتار دچار سیل شدند.

کلید واژه‌ها: آق قلا، سنجش از دور، سیلاب، MNDWI، NDPI

مقدمه

پیش‌نیاز و نخستین گام در مهار و مدیریت سیلاب‌ها استفاده از داده‌های بروز و مناسب منطقه‌ای است؛ چرا که اکثر سناریوها و مطالعات مربوط به خطرات سیل نیازمند اطلاعات مکانی و زمانی دقیق در مورد خطرات و آسیب‌های احتمالی سیل است. در روش‌های سنتی، بررسی سیلاب‌ها با استفاده از داده‌های هیدرولوژیکی و تاریخی تعیین می‌شوند. علاوه بر این، نقاط پایش داده‌ها پراکنده هستند، استانداردهای مجموعه، یکپارچه نیستند و مشکلاتی مانند دقت کم و مقیاس کوچک وجود دارد (زیمبا^۱ و همکاران، ۲۰۱۸). در مقایسه با روش‌های تحقیقاتی سنتی مبتنی بر داده‌های هیدرولوژیکی و تاریخی، تصاویر سنجش از دور ماهواره‌ای دارای مزایای مقیاس فضایی در شناسایی پهنه‌های سیلابی هستند. بنابراین، استفاده از سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند ابزار مناسبی جهت استخراج پهنه‌های سیلابی باشد (هوانگ و همکاران، ۲۰۲۱؛ سونگ^۲ و همکاران، ۲۰۲۲). توانایی ارزیابی دقیق و به موقع سیل ابزاری مهم و ایمن جهت کاهش سیل و واکنش به این مخاطره می‌باشد (باقری هارونی و همکاران، ۱۴۰۱). امروزه، مشاهدات ماهواره‌ای به ابزاری عملی برای توسعه روش‌های مقرون‌به‌صرفه برای پیش‌بینی هیدرولوژیکی وقوع سیلاب‌ها در سراسر جهان، بدون توجه به مرزهای سیاسی تبدیل شده‌اند (بلاسکو^۳ و همکاران، ۱۹۹۲؛ بیرکت^۴ و همکاران، ۲۰۰۲). روش‌های اپتیکی و راداری هر دو در شناسایی پهنه‌های سیلابی کاربرد گسترده‌ای دارند، اما مزایا و معایب متفاوتی دارند. روش‌های اپتیکی با وضوح بالا، جزئیات دقیقی از سطح زمین ارائه می‌دهند و برای شناسایی پوشش گیاهی و تغییرات کاربری اراضی بسیار مفید هستند. با این حال، این روش‌ها به شرایط آب و هوایی حساس هستند و در حضور ابر و مه، کارایی خود را از دست می‌دهند. از طرف دیگر، روش‌های راداری توانایی نفوذ در ابرها و پوشش گیاهی را دارند و به طور مداوم می‌توانند داده جمع‌آوری کنند. اما وضوح مکانی تصاویر راداری معمولاً کمتر از تصاویر اپتیکی است و تفسیر آن‌ها پیچیده‌تر است. ترکیب این دو روش می‌تواند مزایای هر دو را به همراه داشته باشد. با استفاده همزمان از تصاویر اپتیکی و راداری، می‌توان به اطلاعات دقیق‌تر و کامل‌تری در مورد پهنه‌های سیلابی دست یافت (لین و همکاران، ۲۰۱۶). از این‌رو در این پژوهش، روش‌های مختلف تفکیک پهنه سیلابی مبتنی بر تصاویر اپتیکی و راداری مورد مقایسه قرار گرفت و برای این منظور رخدادهای سیلابی بهار ۱۳۹۸ منطقه آق‌قلا استان گلستان به دلیل پهنه مکانی قابل توجه انتخاب شد.

حجاریان و همکاران (۱۴۰۰) تغییرات فصلی تالاب میقان را با استفاده از داده‌های سنجش از دور رادار، حرارتی و اپتیکی

مورد پایش قرار دادند. برای این منظور از تصاویر ماهواره‌ای راداری سنتینل ۱ و لندست ۸ در بازه زمانی ماه می ۲۰۱۹ تا ماه ژانویه ۲۰۲۰ استفاده کردند. پهنه تالاب با استفاده از شاخص MNDWI، دمای سطح زمین و تصاویر راداری سنتینل ۱ استخراج شده است. نتایج پژوهش ایشان بیانگر تغییر شدید پهنه‌ی آبی در فصل‌های مختلف است. در ماه‌های گرم سال، مساحت پهنه‌ی آبی تالاب حاصل از طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان و اعمال شاخص MNDWI با هم تطابق داشته که نشان‌دهنده کارایی مناسب این شاخص طیفی است.

باقری هارونی و همکاران (۱۴۰۱) به توسعه روش‌شناسی برآورد سیلاب مبتنی بر سنجش از دور پرداختند. برای این منظور دو واقعه سیلابی ۱۳۹۸ خوزستان و ۱۴۰۰ کنارک و چابهار مد نظر قرار دادند و از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۱ و لندست ۸ استفاده نمودند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد، با توجه به محدودیت‌های استفاده از تصاویر ماهواره‌ای اپتیکی، استفاده از ماهواره‌های راداری، می‌تواند به تنهایی نقش مؤثری در شناسایی پهنه سیلابی و متعاقباً برآورد خسارت حاصل از سیلاب داشته باشد.

میرقاسمی و همکاران (۱۴۰۲) از سنجش از دور در مدل‌سازی هیدرولیکی و تعیین حد بستر رودخانه ارداک مشهد استفاده کردند. برای این منظور از تصاویر ماهواره‌ای ASTER و نرم‌افزار HEC-GeoHMS استفاده کردند. نتایج نشان داد استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با کیفیت ۲۸×۲۸ متر در تعیین حد بستر رودخانه با میانگین خطای نسبی و ضریب همبستگی رگرسیون به ترتیب ۱۳/۲ و ۹۲ درصد همراه است که این خطا را با مقطع‌برداری زمینی می‌توان تا ۸ درصد کاهش داد.

معصومی و همکاران (۱۴۰۱) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، میدانی و آماری، مدل تلفیقی زنجیره مارکف و سلول‌های خودکار، و نتایج تحقیقات گذشته تغییرات مورفولوژی گراگنرود و عوامل محیطی مؤثر بر آن را بررسی کردند و روند تغییرات و عوامل تأثیرگذار، برای افق سال ۲۰۳۰ را پیش‌بینی کردند.

بهزادی و افضلی کردمحله (۱۴۰۴) 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 پرداختند. نتایج این تحقیق که برای شهر مشهد مورد توجه قرار گرفته است حاکی از آن است که قسمت غرب و جنوب غربی شهر مشهد خطر بیشتری برای بروز سیلاب را داراست.

عید^۵ و همکاران (۲۰۲۰) تغییرات رقومی سری زمانی تالاب داخلی در دریاچه‌های وادی الریان مصر را با استفاده از شاخص‌های SAVI و NDWI مورد بررسی قرار دادند. برای

این منظور از تصاویر لندست سال‌های ۱۹۹۰، ۱۹۹۹ و ۲۰۱۰ و تصویر ۲۰۱۹ سنجنده OLI استفاده کردند. نتایج نشان داد در طول ده سال گذشته پهنه آبی افزایش معنی داری داشته است و پوشش گیاهی کاهش یافته است.

بکله و همکاران (۲۰۲۲) یک روش جدید مبتنی بر سنجش از دور را جهت نقشه‌برداری سیل در مناطق شهری و حومه آن در منطقه آدیس آبابا و حوضه آبریز آکاکی در اتیوپی مورد ارزیابی قرار دادند. برای این منظور روش‌های تشخیص تغییر و آستانه هیستوگرام را با استفاده از تصاویر هم قطبی (VV) و قطبش متقاطع (VH) مقایسه کردند و روش جدیدی به نام RNID برای تشخیص تغییرات توسعه دادند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد بیشترین فراوانی سیل از ماه ژوئن تا سپتامبر به وقوع پیوسته است. بررسی کاربری‌های پهنه‌های آبگرفته نیز نشان داده است، اراضی کشاورزی آبی و ساخته شده به ترتیب با ۱۰۵۷ هکتار و ۵۴۴ هکتار بیشترین سطح کاربری‌های آبگرفته را به خود اختصاص داده‌اند.

بانیاء و همکاران (۲۰۲۳) مهاجرت کانال رودخانه کوشی در نپال را با استفاده از سنجش از دور و GIS مورد ارزیابی قرار دادند. برای این منظور از تصاویر تاریخی لندست ۵ در سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹ و همین‌طور تصویر لندست سنتینل ۲ سال ۲۰۱۹ رودخانه کوشی از چاتارا به نگال- هند استفاده کردند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که رودخانه کوشی بین سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۱۹، مساحت آب ۲۴/۰۸ کیلومتر مربع کاهش یافته است.

لاهسینی^۷ و همکاران (۲۰۲۴) یک رویکرد خودکار نوآورانه، SAR-RST-FLOOD، برای نقشه‌برداری از مناطق سیل‌زده ارائه دادند که بر اساس تجزیه و تحلیل چندزمانه داده‌های Sentinel 1، امکان شناسایی قوی و خودکار مناطق سیل‌زده را فراهم می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که دقت کاربر برای هر نقشه آزمایشی در مقایسه با داده‌های مشاهده‌شده سیل بیش از ۰٫۷۸ است. علاوه بر این، مقادیر دقت کلی از ۰٫۹۶ فراتر رفته و مقادیر شاخص کاپا در مقایسه با فرآیندهای نقشه‌برداری از داده‌های مشاهده‌شده یا سایر مجموعه داده‌های مرجع از سیستم مدیریت اضطراری کوپرنیک بیش از ۰٫۷۸ است.

کاسترو-ملگار^۸ (۲۰۲۵) به رفع یک شکاف شناسایی‌شده در ادبیات ریسک سیل در مورد ارزیابی یکپارچه اثرات سیل در مناطق بزرگ شهری مدیران‌های پرداختند. این مطالعه داده‌های ماهواره‌ای چند حسگری (Sentinel-1، Sentinel-2 و Landsat 8) را با مجموعه داده‌های اجتماعی-اقتصادی، کاربری زمین و زیرساخت‌ها ترکیب می‌کند تا وسعت و پیامدهای سیل اکتبر ۲۰۲۴ در منطقه کلان‌شهری والنسیا را نقشه‌برداری و تجزیه و تحلیل کند.

نتایج بررسی پژوهش‌های متعدد در داخل و خارج از کشور نشان می‌دهد اگرچه از فناوری سنجش از دور در پژوهش‌های

متعددی جهت شناسایی پهنه‌های سیلابی بهره گرفته شده است ولی مقایسه روش‌های مختلف تفکیک این پهنه‌ها (اپتیک و راداری) به کمک سنجش از دور کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از دیگر نوآوری در پژوهش حاضر به آستانه‌گذاری‌های خودکار همانند (Otsu Dynamic Thresholding) بر روی نسبت‌های باندی و همچنین استفاده از فیلترگذاری همانند (RefinedLee) برای حذف و بهبود spackle noise تصاویر راداری استفاده خواهد شد. همچنین عملیات تهیه نتایج و پردازش اطلاعات در محیط سامانه گوگل ارث انجین برنامه نویسی خواهد شد که از جدیدترین و پرکاربردترین تکنولوژی-های سنجش از دوری پشتیبانی کرده و سامانه‌ای به‌روز و بسیار قوی با قابلیت پردازشی بالا جهت دانلود، پردازش، تلفیق و خروجی گرفتن از تصاویر ماهواره‌ای مختلف در دنیا است. لذا هدف اصلی این پژوهش ارزیابی و مقایسه توانایی داده‌های اپتیک (Sentinel-2 و Landsat 8) و راداری (Sentinel-1) در استخراج پهنه‌های سیلابی و تحلیل دقت شاخص‌های مختلف در سیلاب سال ۱۳۹۸ شهرستان آق‌قلا با در محیط نرم‌افزار GEE است.

مواد و روش‌ها

در این فصل پس از معرفی استان گلستان و مناطق تحت مدیریت آن، روش تحقیق شرح داده شد.

منطقه مورد مطالعه

استان گلستان با مرکزیت شهر گرگان در شمال ایران واقع شده است. مساحت استان ۲۰۸۹۳ کیلومتر مربع می‌باشد. این استان در موقعیت جغرافیایی ۵۳ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۱۹ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۰۸ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. شهرستان آق قلا در سال ۱۳۷۹ از شهر گرگان جدا شد. آق‌قلا از شمال به بخش اترک، از غرب به بخش مرکزی بندر ترکمن و گمیشان، از جنوب به بخش مرکزی گرگان و دهستان ملک و از شرق به دهستان کتول و بخش مرکزی شهرستان گنبد کاووس محدود است. موقعیت منطقه مورد مطالعه نسبت به استان گلستان در شکل ۱ مشخص شده است.

۵ حوضه آبریز گرگانرود، اترک، قره سو، خلیج گرگان و نکارود در بر گیرنده ۴۵ رشته رودخانه با طول تقریبی ۲۷۰۰ کیلومتر در استان گلستان می‌باشند. بررسی آمارهای دراز مدت بارندگی ایستگاه‌های شرکت آب منطقه ای گلستان میانگین متوسط بارندگی سالانه ۴۵۰ میلی متری را ارائه می‌دهد. بارندگی‌های منجر به سیلاب روزهای پسین سال ۱۳۹۷ و آغازین ۱۳۹۸، در مقایسه با بارندگی سال قبل و دراز مدت در همین بازه زمانی بیانگر افزایش ۸۳ تا ۹۲ درصدی (بترتیب

تصاویری زمستانه و تابستانه به دلیل اینکه شرایط فنولوژیکی ثابت است، مناسب‌تر است. حتی بهتر است تصویر تابستان یا بسته به اقلیم منطقه دوره خشک سال که تفکیک‌پذیری طیفی افزایش یافته و شباهت طیفی به حداقل می‌رسد، انتخاب شود؛ که البته بستگی به امکان دسترسی به نوع داده ماهواره‌ای نیز دارد (گیبسون، ۲۰۱۳؛ چویکو، ۲۰۲۰). با توجه به ماندگاری طولانی سیلاب گلستان در مقطع زمانی مورد مطالعه تصاویر راداری و اپتیک در تاریخ‌هایی که در جدول ۱ بیان شده است، در دسترس بوده که مورد استفاده قرار گرفته است.

علاوه بر تصاویر لندست ۸، از تصاویر اپتیک ماهواره سنتینل-۲ نیز برای محاسبه شاخص‌های طیفی و استخراج پهنه‌های سیل‌زده با استفاده از الگوریتم آستانه‌گذاری اتسو در محیط گوگل ارث انجین استفاده شد. تمامی تصاویر اپتیک مورد استفاده (لندست ۸ و سنتینل-۲) قبل از محاسبه شاخص‌ها، تحت تصحیح اتمسفری سطح بازتاب (Surface Reflectance) قرار گرفتند. داده‌های لندست ۸ از مجموعه LC08/C01/T1_SR و داده‌های سنتینل-۲ با استفاده از الگوریتم Sen2Cor در محیط گوگل ارث انجین پردازش شدند تا اثرات اتمسفری حذف گردند. این تصحیح ضروری است تا مقادیر طیفی قابل مقایسه بوده و شاخص‌های محاسبه شده (مانند NDVI که باید در محدوده ۱- تا ۱+ باشد) از دقت لازم برخوردار باشند

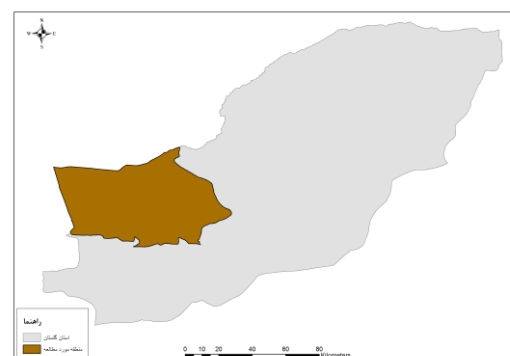
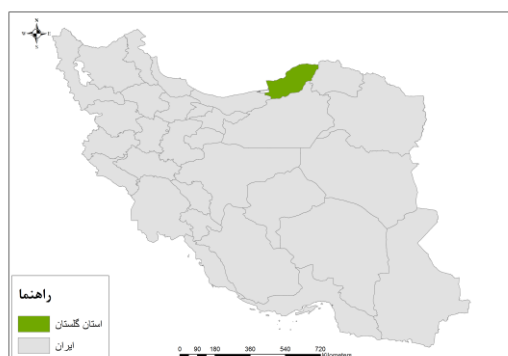
نسبت به مدت مشابه آمار دراز مدت و سال قبل) است. متوسط بارندگی از ۲۷ اسفند تا ۷ فروردین ۱۳۹۸ حدود ۱۷۸ میلی متر برای کل استان برآورد شده است. با توجه به این حجم از بارندگی، حجم سیلاب برآورد شده در امتداد رودخانه گرگانرود به بیش از ۳۲۰ میلیون متر مکعب برآورد می‌گردد که با توجه به حجم ۱۱۸ میلیون متر مکعبی سدهای اجرای شده استان، حجم سیلاب، بیش از ۲،۵ برابر ظرفیت سدهای استان بوده است. طبق برآورد استانداری گلستان (تا تاریخ ۱۳۹۸/۱/۱۵) هزینه کلی خسارت بالغ بر ۴۸ هزار میلیارد ریال تخمین زده شده است. حدود ۱۰۰۰ کیلومتر از راه‌های استان، ۷۸۵ دستگاه ابنیه راهی، ۱۸۰۰۰ واحد مسکونی در این سیلاب آسیب دیدند. ۱۷ مرکز جمعیتی شهری و روستائی دچار آبگرفتگی و ۲۷ روستا دچار زمین لغزش گردیدند (بیت‌اللهی و همکاران، ۱۳۹۸).

جمع‌آوری داده

داده‌های مورد نیاز در این مرحله شامل (۱) تصاویر ماهواره-ای موجود می‌شود که محقق سنجش از دور می‌تواند الگوهای موجود در فضای طیفی را به مقادیر واقعی یا پدیده‌های موجود در روی زمین تبدیل کند و (۲) داده‌های مرجع که منابع مستقل از داده‌های نوع اول هستند و برای ارزیابی نتایج آنها به کار می‌روند. نوع تصویر مورد استفاده بستگی به هدف مطالعه، زمان و هزینه دارد. جهت آشکارسازی تغییرات پهنه‌های سیلابی، تغییرات شرایط هیدرولوژیکی در دو زمان متفاوت در این مقاله در نظر گرفته شده است. بنابراین برای اهداف پایش تغییرات،

جدول ۱. مشخصات تصاویر اپتیک و راداری مورد استفاده

نوع داده	نام سنجنده	نام مجموعه داده در گوگل ارث انجین	تاریخ تصویر
تصاویر اپتیک	Landsat 8	ee.ImageCollection("LANDSAT/LC08/C01/T1_SR")	۲۰۱۹/۰۴/۰۳
	Sentinel 2	ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2")	۲۰۱۹/۰۴/۰۶
تصاویر راداری	Sentinel 1	ee.ImageCollection("COPERNICUS/S1_GRD")	۲۰۱۹/۰۳/۲۹



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

تهیه نقشه شاخص‌های طیفی

برای آشکارسازی تغییرات هیدرولوژیکی ناشی از سیلاب، انتخاب تصاویر پیش از وقوع سیل و پس از آن حیاتی است. تصاویر پیش از سیل باید شرایط عادی منطقه (بدون سیل) را نشان دهند، در حالی که تصاویر پس از سیل باید در زمانی انتخاب شوند که اثرات سیلاب به وضوح در تصاویر قابل مشاهده باشد. در این مطالعه، با توجه به ماندگاری طولانی سیلاب، تصاویری از بازه‌های زمانی مناسب پیش و پس از سیل جهت مقایسه و استخراج دقیق پهنه‌های سیل زده انتخاب شدند.

جذب شدید اشعه الکترومغناطیسی توسط کلروفیل در طول موج‌های آبی و قرمز و همچنین عبور نسبتاً بالا در این محدوده باعث پایین بودن میزان انعکاس می‌گردد. در محدوده مادون قرمز نزدیک (۰/۷ تا ۳/۱ میکرومتر) مقدار جذب و عبور، کاهش و در نتیجه میزان انعکاس به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش پیدا می‌کند. ساختمان برگ، فضای بین سلولی و آب داخل سلولی در ساختار اسفنجی مزوفیل برگ، انعکاس‌های این محدوده را کنترل می‌کند. باند مادون قرمز نزدیک در سنجنده‌ها به تاج پوشش و بیوماس گیاهان خیلی حساس است.

شاخص پوشش گیاهی (NDVI) برای نمایش توده حیاتی (بیوماس) پوشش گیاهی، شاخص سطح برگ، تولیدات گیاهی و تفکیک پوشش گیاهی بسیار مناسب بوده و همچنین در ارتباط با مسائل مرتبط با پوشش گیاهی از این شاخص استفاده می‌گردد. در طول زمان تغییرات مشاهده شده در NDVI بیان کننده تیپ پوشش گیاهی، فنولوژی و حالات محیطی منطقه است. این شاخص بیشترین رابطه را با حجم زنده گیاهی در میان مشخصه‌های پوشش گیاهی دارد.

با افزایش پوشش گیاهی، میزان ارزش حاصل از این نسبت‌گیری نیز افزایش می‌یابد. کاهش اثرات اتمسفری، توپوگرافی و همچنین تصحیح تغییرات تابش ورودی خورشید، از قابلیت‌های این شاخص بوده ولی تداخل بین خاک و گیاه در محدوده مادون قرمز را برطرف نمی‌کند. از طرفی چون اختلاف بازتاب پوشش گیاهی در این دو باند بیشتر از اختلاف بازتاب خاک در آن‌ها است، خاک بسیار کمتر از پوشش گیاهی تحت تاثیر این فرآیند قرار می‌گیرد.

مطالعه رفتار زمانی پوشش گیاهی، مدل‌سازی آب و هوایی، طبقه‌بندی پوشش گیاهی در سطح جهانی، پایش محصولات کشاورزی، مطالعات بیابان‌زدایی و خشکسالی، حفاظت محیط‌زیست، بررسی تعادل میزان انرژی و آب در سطح جهانی از جمله کاربردهای شاخص NDVI می‌باشد. دامنه تغییرات این شاخص بین ۱+ و ۱- است.

فرض اساسی ورای توسعه و استفاده از این شاخص‌ها این است که برخی ترکیبات جبری از باندهای طیفی سنجش از دور می‌تواند اطلاعات ارزشمندی از آب و خاک و گیاه را آشکار

سازد (جنسن، ۲۰۰۷؛ لیانگ، ۲۰۰۵). ترکیب جبری باندهای طیفی باید به یک یا چند فاکتور حساس باشد. شاخص پوشش گیاهی مناسب باید به فاکتورهایی که بر انعکاس طیفی مانند خصوصیات خاک، شرایط اتمسفری، روشنایی خورشیدی و هندسه دید سنجنده تأثیر می‌گذارند، حساسیت کمتری داشته باشد (جنسن، ۲۰۰۷؛ لیانگ، ۲۰۰۵). ساختار برگ‌ها نشان می‌دهد، پوشش گیاهی چطور با نور خورشید تعامل می‌کند. دو فرآیند در برگ‌ها اتفاق می‌افتد: جذب و پراکندگی نور خورشید. رنگ‌دانه‌های گیاهی (کلروفیل و کاروتنوئیدها) و آب، طول موج‌های خاص نور را جذب می‌کنند. پراکندگی به علت ساختار داخلی برگ‌ها می‌باشد که در آن داخل برگ فضاهای هوا و سلول‌های پر شده با آب به شکل نامنظم می‌باشد. برگ‌های سبز نور را در مناطق قرمز و آبی به شدت جذب می‌کنند و در مناطق سبز کمتر جذب کنند (جنسن، ۲۰۰۷). هیچ جذبی بیش‌تر از حداکثر مشاهده در ۷۰۰ تا ۱۳۰۰ نانومتر که در آن آب مایع شروع به جذب می‌کند، اتفاق نمی‌افتد. عدم جذب به معنای سطوح بالاتر قابلیت بازتاب از پوشش سبز می‌باشد (نوازکی، ۲۰۰۴). شاخص‌های طیفی مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۲ تفکیک شده‌اند.

شاخص اتسو (Otsu)

برای تعیین آستانه بهینه جهت تفکیک پیکسل‌های آبی از غیرآبی، از الگوریتم آستانه‌گذاری اتسو (Otsu, 1979) استفاده شد. این روش یک تکنیک خودکار است که با بیشینه‌سازی واریانس بین کلاسی (بین پیکسل‌های آب و پس‌زمینه)، مقدار آستانه‌ای را انتخاب می‌کند که بهترین جداسازی را بین دو کلاس فراهم می‌نماید. این روش زمانی بسیار کارآمد است که هیستوگرام تصویر دو قله متمایز داشته باشد. یکی از روش‌های مبتنی بر شاخص در استخراج پوشش اراضی روش آستانه‌گذاری است که می‌تواند نقش تأثیرگذاری در خروجی‌ها داشته باشد. ایده‌ی اصلی رویکرد به عنوان یکی از تکنیک‌های آستانه‌گذاری شناخته شده و کاربردی تصویر، بر مبنای جداسازی پیکسل‌ها (ω_0) و متوسط سطح خاکستری (μ_0) است. به‌طور مشابه پس‌زمینه تصویر نیز شامل دو پارامتر ω_1 و μ_1 است. از این رو میانگین کل سطح خاکستری تصویر به‌صورت زیر تعریف می‌شود. رابطه‌ی ۱ (هانگ، ۲۰۱۸) و رابطه‌ی ۲ تابع مربوط به باینری کردن تصویر است (هانگ، ۲۰۱۸).

$$\mu = \omega_0(t)\mu(t) + \omega_1(t)\mu(t) \quad (1)$$

$$Arg \max f_s(t) = \omega_1(t)\mu(t) \quad (2)$$

t ، سطح خاکستری تصویر است و مقدار بالای سطح خاکستری مربوط به حداکثر مقدار f_s به‌عنوان مقدار حد آستانه‌گذاری برای باینری کردن تصویر انتخاب می‌شود.

جدول ۲. رابطه شاخص‌های اپتیکی مورد استفاده

شاخص	نام کامل	رابطه	کاربرد
NWI	New Water Index	$\frac{Blue - SWIR2}{Blue + SWIR2}$	استخراج مناطق شهری
MNDWI	Modified Normalized Difference Water Index	$\frac{Green - SWIR1}{Green + SWIR1}$	استخراج پهنه‌های آبی (مناسب برای مناطق شهری)
AWEInsh	Automated water extraction index for urban background	$4 \times (Green - SWIR1) - (0.25 \times NIR + 2.75 \times SWIR2)$	جداسازی منابع آبی از سایر پوشش‌های زمینی
AWEIsh	Automated Water Extraction Index for Shadows	$Blue + 2.5 \times Green - 1.5 \times (NIR + SWIR1) - 0.25 \times SWIR2$	جداسازی منابع آبی از سایر پوشش‌های زمینی
EWI	Enhanced Water Index	$\frac{(Green - NIR - SWIR1)}{Green + NIR + SWIR1}$	نسبت آب
NDWI	Normalized Difference Water Index	$\frac{(Green - NIR)}{Green + NIR}$	استخراج پهنه‌های آبی
NDWI-B	Normalized Difference Blue-ice Index	$\frac{Blue - NIR}{Blue + NIR}$	استخراج مناطق شهری
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	$\frac{NIR - Red}{NIR + Red}$	پایش پوشش گیاهی
NDPI	Normalized Difference Pond Index	$\frac{SWIR1 - Green}{SWIR1 + Green}$	مخازن یا بدنه‌های آب کوچک
NDMI	Normalized Difference Moisture Index	$\frac{NIR - SWIR1}{NIR + SWIR1}$	برآورد رطوبت خاک سطحی

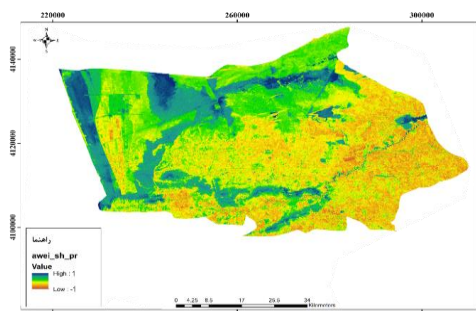
شاخص‌های اپتیکی استخراج پهنه‌های سیلابی

در فرایند استخراج سیلاب، استفاده از شاخص‌های اپتیکی تصاویر ماهواره‌ای از اهمیت بالایی برخوردار است. شاخص‌های اپتیکی، پارامترهایی هستند که بر اساس بازتاب نور در طیف الکترومغناطیسی، اطلاعاتی درباره ویژگی‌های محیطی را ارائه می‌دهند. این شاخص‌ها معمولاً بر مبنای ترکیب مقادیر طیفی در باندهای مختلف طیف الکترومغناطیسی محاسبه می‌شوند و می‌توانند اطلاعات مفیدی درباره تغییرات پوشش زمین، رطوبت خاک، گیاهان، آب و سایر عوامل محیطی را فراهم کنند. استخراج سیلاب با استفاده از شاخص‌های اپتیکی تصاویر ماهواره‌ای، این امکان را فراهم می‌کند تا با مشاهده تغییرات در بازتاب نور و ویژگی‌های محیطی در طی زمان، ناهنجاری‌های مربوط به سیلاب شناسایی گردد. برای مثال، با تغییرات در بازتاب نور در باندهای مختلف طیف الکترومغناطیسی، می‌توان تغییرات در رطوبت خاک، رواناب، سطح آب و سایر عوامل مرتبط با سیلاب را تحلیل کرد. در این پژوهش شاخص‌های اپتیکی مختلفی چون NDWI، NDVI، AWEI و ... استفاده شدند تا با استخراج پهنه‌های سیلابی تغییرات محیطی آن مورد بررسی قرار گیرد. شکل‌های ۲ تا ۱۱ توزیع مکانی شاخص‌های مذکور را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که شناسایی پهنه‌های آبی و غیرآبی در شاخص‌های مختلف متفاوت است که در ادامه با توجه به نمونه‌های آبی و غیرآبی موجود، دقت آنها صحت‌سنجی خواهد شد. به عنوان مثال، شاخص‌هایی مانند NDMI در شناسایی پهنه‌های آبی از دقت کمتری برخوردار است.

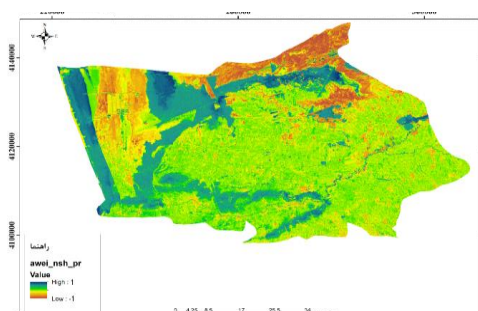
الگوریتم Otsu به دنبال حد آستانه بهینه t می‌گردد تا واریانس بین کلاسی را پیشینه کند (سگال و همکاران، ۲۰۱۷). اگر هیستوگرام سطح خاکستری پدیده‌های تصویر دو قله قابل تفکیک داشته باشد، روش Otsu می‌تواند به راحتی مقدار آستانه بهینه بین دو قله که حاصل از واریانس بین کلاسی و حداقل واریانس درون کلاسی است را تعیین کند (اسرینیواس و همکاران، ۲۰۱۹؛ اصغری سراسکانرود و همکاران، ۱۴۰۰).

نتایج و بحث

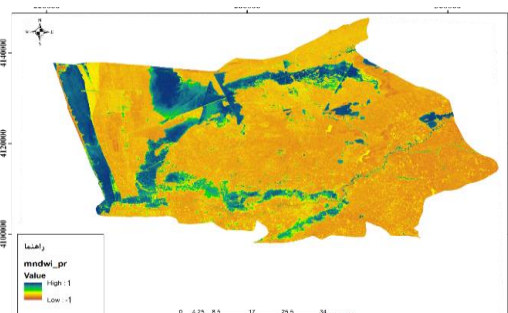
بعد از تبیین روش تحقیق و جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز، با استفاده از روش‌ها و شاخص‌های مناسب ماهواره‌ای، به تحلیل و بررسی داده‌ها پرداخته خواهد شد تا در نهایت فرضیات مطرح شده تأیید یا رد گردد و پاسخ مناسبی برای پرسش‌های تحقیق بیان گردد. تحلیل داده‌ها فرآیندی چند مرحله‌ای است که در آن داده‌هایی که به روش‌های مختلف جمع‌آوری شده‌اند، خلاصه، دسته‌بندی و در نهایت پردازش می‌شوند تا زمینه برقراری روابط بین داده‌ها و انجام تحلیل‌های علمی برای آزمون فرضیه‌ها فراهم شود. در این فرآیند، داده‌ها به لحاظ مفهومی و تجربی تصفیه می‌شوند و تکنیک‌های آماری مختلف نقش مهمی در تعمیم یافته‌ها ایفا می‌کنند. فرآیندهای تحلیل و تجزیه با توجه به نوع تحقیق، ماهیت فرضیه‌ها، نوع نظریه‌سازی، ابزارهای استفاده شده برای جمع‌آوری اطلاعات و غیره متفاوت هستند.



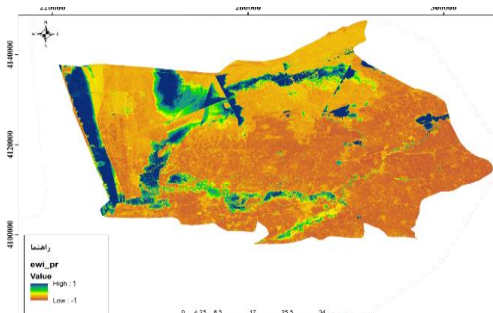
شکل ۳. نقشه توزیع مکانی شاخص AWEI_SH منطقه مورد مطالعه



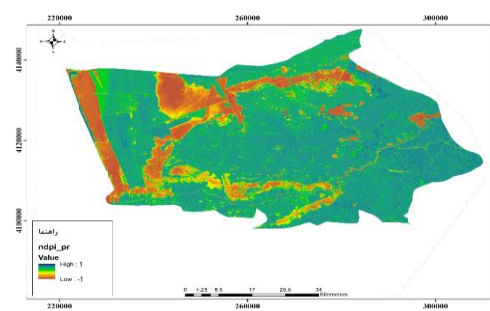
شکل ۲. نقشه توزیع مکانی شاخص AWEI_NSH منطقه مورد مطالعه



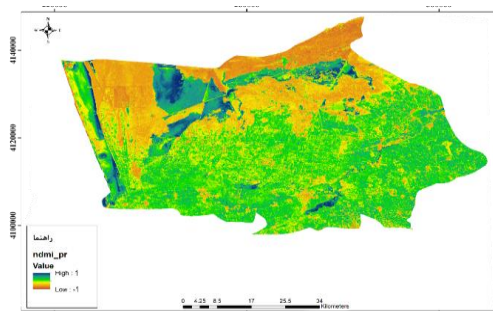
شکل ۵. نقشه توزیع مکانی شاخص MNDWI منطقه مورد مطالعه



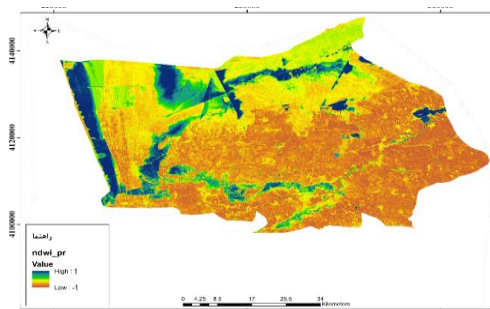
شکل ۴. نقشه توزیع مکانی شاخص EWI منطقه مورد مطالعه



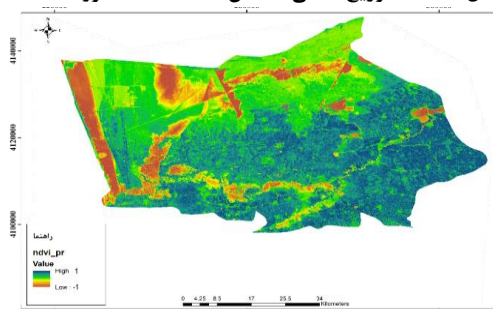
شکل ۷. نقشه توزیع مکانی شاخص NDPI منطقه مورد مطالعه



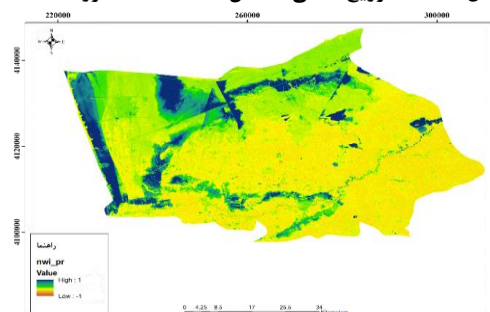
شکل ۶. نقشه توزیع مکانی شاخص NDMI منطقه مورد مطالعه



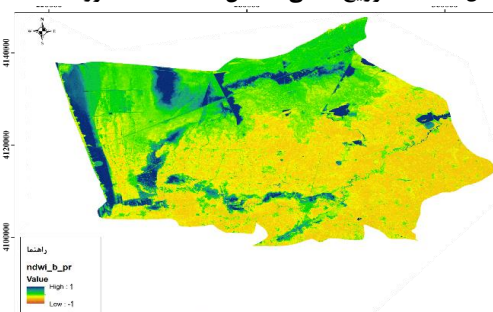
شکل ۹. نقشه توزیع مکانی شاخص NDWI منطقه مورد مطالعه



شکل ۸. نقشه توزیع مکانی شاخص NDVI منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۱. نقشه توزیع مکانی شاخص NWI منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۰. نقشه توزیع مکانی شاخص NDWI-B منطقه مورد مطالعه

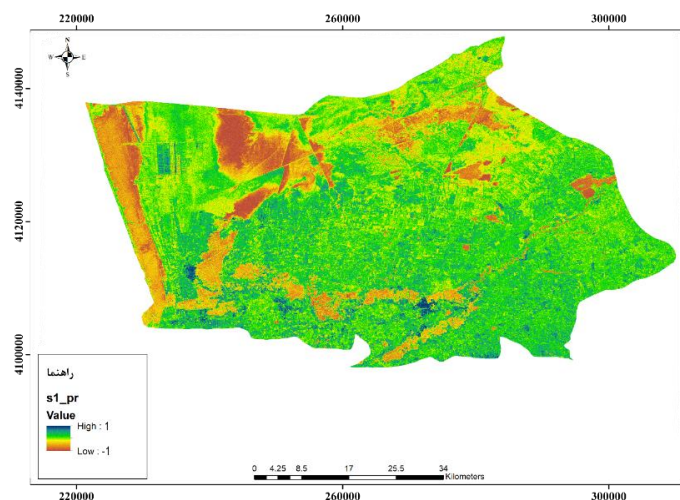
شاخص‌های راداری استخراج پهنه‌های سیلابی

استفاده از تصاویر راداری ماهواره‌ای در سنجش از دور، به عنوان روشی قدرتمند برای استخراج اطلاعات جغرافیایی، در حوزه‌های مختلف از جمله استخراج پهنه‌های سیلابی اهمیت بالایی دارد. سنجش از راه دور رادار می‌تواند در همه شرایط آب و هوایی مانند باران، برف، مه و تاریکی عمل کند. این به این دلیل است که سیگنال‌های میکروویو مورد استفاده توسط رادار می‌توانند از پوشش ابرها و سایر شرایط جوی نفوذ کنند. در شرایط سیلابی که پدیده ابرناکی شدیدی وجود دارد، تصاویر راداری ابزاری کارآمد در شناسایی پهنه‌های سیلابی محسوب می‌گردند. تصاویر راداری، با استفاده از امواج راداری، اطلاعاتی درباره سطح زمین و ویژگی‌های محیطی را فراهم می‌کنند. از شاخص‌های راداری مورد استفاده در استخراج پهنه‌های سیلابی می‌توان به شاخص براگ یا بازتاب پراکندگی (Backscatter) اشاره کرد. این شاخص، میزان بازتاب نور راداری از سطح زمین را نشان می‌دهد. تغییرات در مقادیر بازتاب پراکندگی می‌تواند نشان دهنده تغییرات در رطوبت خاک، سطح آب و سایر

ویژگی‌های زمین باشد که در استخراج پهنه‌های سیلابی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با استفاده از این شاخص‌های راداری و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای راداری، می‌توان پهنه‌های سیلابی را شناسایی کرد و اطلاعات مفیدی درباره تغییرات سطح آب، رطوبت خاک و سایر عوامل مرتبط با سیلاب‌ها را استخراج کرد. این اطلاعات می‌توانند به محققان و مدیران منابع آب کمک کنند تا سیلاب‌ها را پیش‌بینی کرده و اقدامات احتیاطی و مدیریتی مناسب را برای کاهش خسارت‌های سیلابی انجام دهند. شکل ۱۲ توزیع مکانی شاخص راداری منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

استخراج پهنه‌های سیلابی با استفاده از تصاویر اپتیک

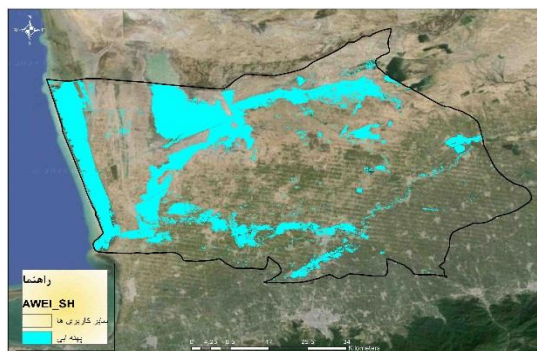
آستانه‌های هر شاخص با آزمون و خطا و مقایسه با نقشه-های مرجع و همچنین تفسیر بصری تعیین می‌شوند. در ادامه برای استخراج پهنه‌های سیلابی برای هر یک از شاخص‌ها کلاس‌بندی شدند به کلاس‌های پهنه آبی و غیر آبی تقسیم شدند که در شکل‌های ۱۳ تا ۲۲ مشخص شده است.



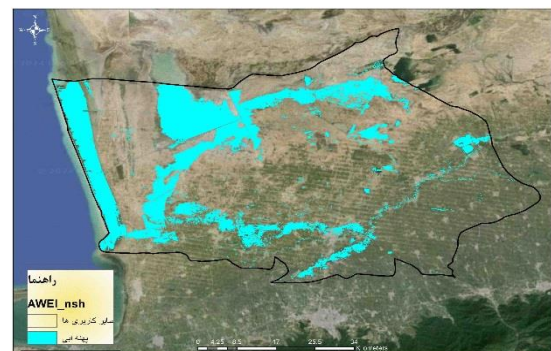
شکل ۱۲. نقشه توزیع مکانی شاخص S1 منطقه مورد مطالعه

استخراج پهنه‌های سیلابی با استفاده از تصاویر راداری

شاخص راداری سنتینل ۱ نیز کلاس‌بندی شد و به دو کلاس آبی و غیر آبی تقسیم شد که در شکل ۲۳ مشخص شده است.

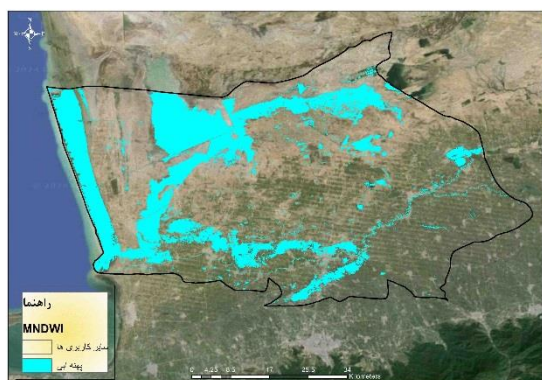


شکل ۱۴. پهنه سیلابی منطقه مورد مطالعه با استفاده از شاخص



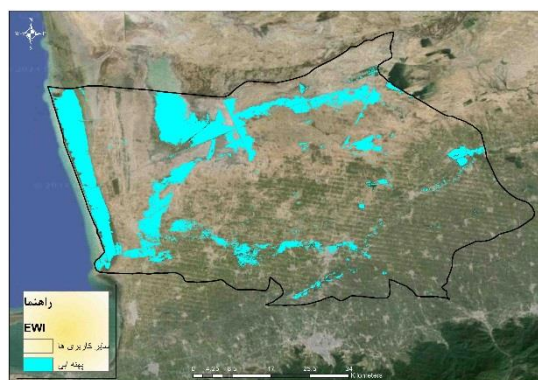
شکل ۱۳. پهنه سیلابی منطقه مورد مطالعه با استفاده از شاخص

AWEI_SH

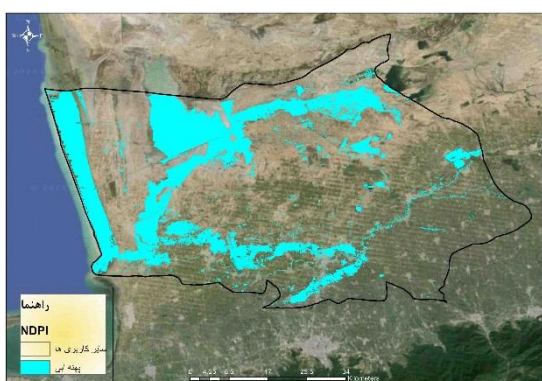


شکل ۱۶. پهنه سیلابی منطقه مورد مطالعه با استفاده از شاخص MNDWI

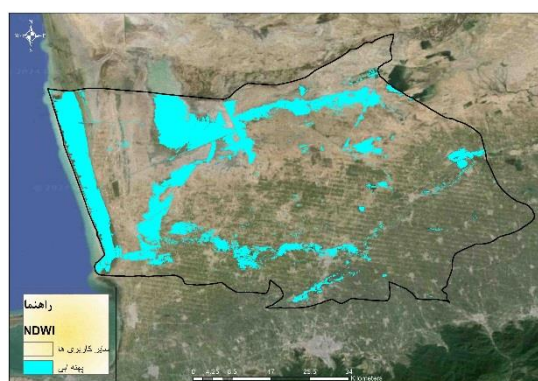
AWEI_NSH



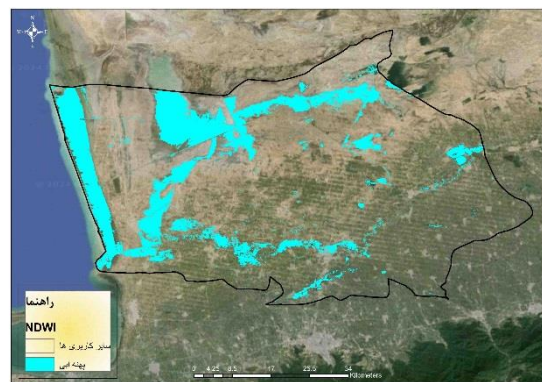
شکل ۱۵. پهنه سیلابی منطقه مورد مطالعه با استفاده از شاخص EWI



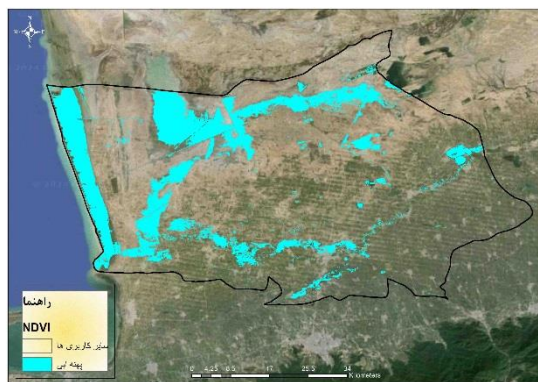
شکل ۱۸. پهنه سیلابی منطقه مورد مطالعه با استفاده از شاخص NDPI



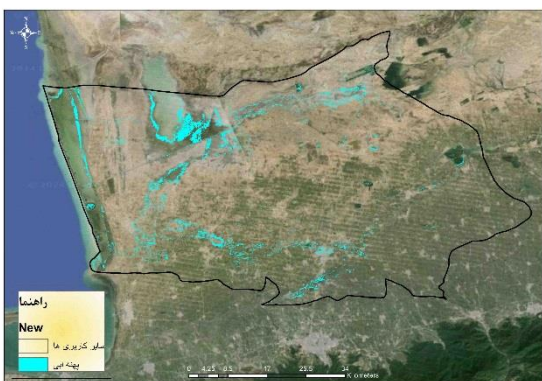
شکل ۱۷. پهنه سیلابی منطقه مورد مطالعه با استفاده از شاخص NDMI



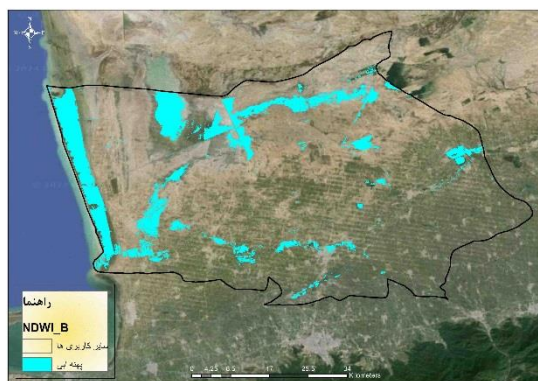
شکل ۲۰. پهنه سیلابی منطقه مورد مطالعه با استفاده از شاخص NDWI



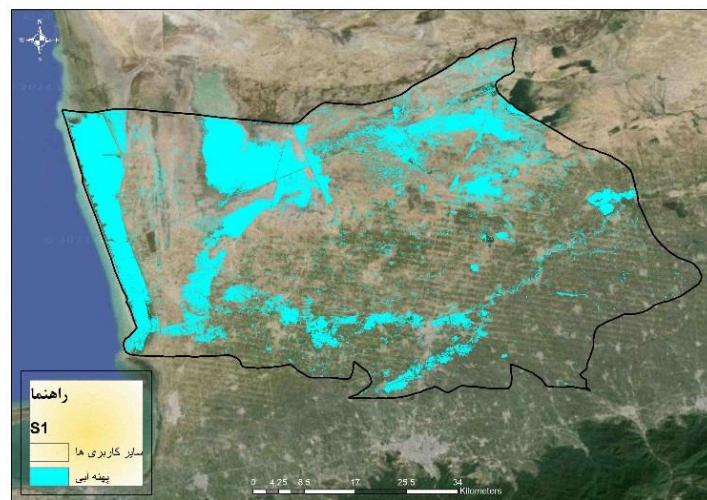
شکل ۱۹. پهنه سیلابی منطقه مورد مطالعه با استفاده از شاخص NDVI



شکل ۲۲. پهنه سیلابی منطقه مورد مطالعه با استفاده از شاخص NWI



شکل ۲۱. پهنه سیلابی منطقه مورد مطالعه با استفاده از شاخص NDWI_B

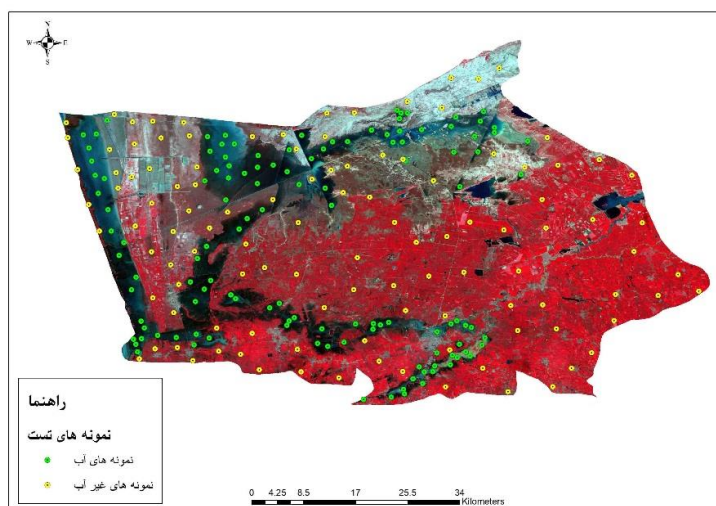


شکل ۲۳. پهنه سیلابی منطقه مورد مطالعه با استفاده از تصاویر راداری ماهواره S1

مقایسه دقت روش‌های استخراج سیلاب

استخراج پهنه‌های سیلابی، یعنی شناسایی و تعیین محدوده‌های سیلاب در مناطق مختلف، امری بسیار حیاتی برای مدیریت منابع آب و کاهش خسارات سیلابی است. روش‌های مختلفی برای استخراج پهنه‌های سیلابی وجود دارند که پیشتر بیان شد. برای ارزیابی دقت و مقایسه روش‌ها از روش توافق کاپا (Kappa Agreement) استفاده شد. کاپا یک روش آماری است که برای اندازه‌گیری میزان توافق بین دو یا بیشتر ارزیاب در ارزیابی یک ویژگی یا مشاهده استفاده می‌شود. این روش به عنوان یک اندازه‌گیری از توافق که بین ارزیابان وجود دارد، استفاده می‌شود و قابلیت مقایسه توافق بین روش‌ها و داده‌ها را فراهم می‌کند. در اصل، روش توافق کاپا بر اساس ترکیبی از احتمال توافق و احتمال توافقی تصحیح شده توسط اتفاقات تصادفی از مقدار تصحیح شده تصادفی توافق بین ارزیابان استفاده می‌کند. مقیاس توافق کاپا در بازه‌ای بین -۱ تا ۱ قرار دارد. مقدار صفر برای کاپا یعنی طبقه‌بندی و استخراج موضوع هدف بدون هیچ ضابطه و کاملاً تصادفی انجام شده است. مقادیر بزرگتر از صفر تا یک، سطحی از دقت استخراج موضوع را نشان می‌دهد. مقدار یک به معنی طبقه‌بندی و استخراج کاملاً صحیح موضوع براساس نمونه‌های آزمایشی می‌باشد. مقادیر منفی نیز به معنی نتایج ضعیف در استخراج موضوع تفسیر می‌شود. در رابطه دقت کاربر و دقت تولید کننده نیز تعریف می‌گردند. دقت کاربر (User Accuracy) و دقت تولید کننده (Producer's Accuracy) دو مفهوم آماری هستند که در زمینه تصاویر ماهواره‌ای و تشخیص الگوها مورد استفاده قرار می‌گیرند. این مفاهیم به ما کمک می‌کنند تا درک بهتری از عملکرد الگوریتم‌ها و مدل‌های تشخیص الگو داشته باشیم. دقت کاربر نسبت تعداد نمونه‌هایی است که به درستی توسط الگوریتم یا مدل تشخیص الگو شناسایی شده‌اند به تعداد کل

نمونه‌هایی که در واقع از آن‌ها الگو وجود دارد. به عبارت دیگر، دقت کاربر نشان می‌دهد که الگوریتم یا مدل چقدر در تشخیص درست الگوها موفق بوده است. دقت تولید کننده به عنوان نسبتی تعریف می‌شود که تعداد نمونه‌هایی که به درستی توسط الگوریتم یا مدل تشخیص الگو شناسایی شده‌اند را به تعداد کل نمونه‌هایی که توسط الگوریتم یا مدل به عنوان الگو شناسایی شده‌اند، نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، دقت تولید کننده نشان می‌دهد که الگوریتم یا مدل چقدر در تشخیص واقعی الگوها موفق بوده است. اهمیت این دو مفهوم در تشخیص الگوها این است که نشان می‌دهند که الگوریتم یا مدل چقدر قادر به تشخیص واقعی الگوها هستند و آیا تشخیص‌هایشان صحیح و قابل اعتماد هستند. شکل ۲۴ نمونه‌های تست آب و غیر آب در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد و جدول ۳ صحت کلی، ضریب کاپا، دقت کاربر و دقت تولید کننده برای کاربری آب و غیر آب را در هر یک از شاخص‌ها تفکیک کرده است. جهت اعتبارسنجی نتایج و محاسبه ضریب توافق کاپا، از نقشه پهنه‌های سیل‌زده تهیه شده توسط پژوهشکده سازمان فضایی ایران به عنوان داده مرجع استفاده شد. این نقشه براساس تلفیق داده‌های ماهواره‌ای و بررسی‌های میدانی تهیه گردیده بود. تعداد ۱۶۲ نمونه آموزشی (۸۱ نمونه از مناطق آبی و ۸۱ نمونه از مناطق غیرآبی) از این نقشه مرجع استخراج و برای ارزیابی صحت شاخص‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفت. همانطور که در جدول ۳ مشخص شده است، شاخص NDMI کمترین دقت و ضریب کاپا و شاخص های NDPI و MNDWI بالاترین صحت را در استخراج پهنه‌های سیلابی در منطقه مورد مطالعه به خود اختصاص دادند. به طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که بسیاری از شاخص‌ها دقت بالایی در استخراج پهنه‌های سیلابی دارند و گزینه‌های مناسبی برای تصویر ماهواره‌ای (لندست، سنتینل ۱ یا ۲) می‌تواند بسته به فراهمی داده در زمان وقوع سیلاب باشد.



شکل ۲۴. نمونه های تست آب و غیر آب منطقه مورد مطالعه

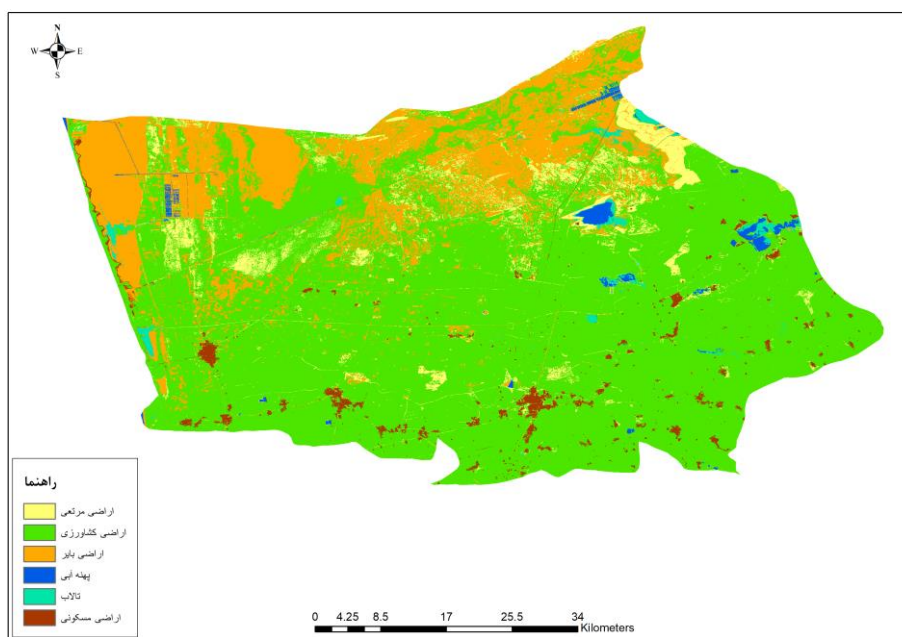
جدول ۳. صحت کلی و کاپای هر یک از شاخص های مورد مطالعه

شاخص	صحت کلی (درصد)	کاپا	دقت کاربر (%)		دقت تولید کننده (%)	
			کلاس آب	کلاس غیر آب	کلاس آب	کلاس غیر آب
NWI	۶۰/۵۷	۰/۲۱	۲۱/۱	۱۰۰	۱۰۰	۵۵/۹
mndwi	۱۰۰	۱	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
awei_nsh	۹۹/۱۹	۰/۹۸	۹۸/۴	۱۰۰	۱۰۰	۹۸/۴
awei_sh	۹۶/۷۵	۰/۹۴	۹۴/۳	۹۹/۲	۹۹/۱	۹۴/۶
ewi	۹۰/۲۴	۰/۸	۸۰/۵	۱۰۰	۱۰۰	۸۳/۷
ndwi	۹۲/۶۹	۰/۸۵	۸۵/۴	۱۰۰	۱۰۰	۸۷/۲
ndwi_b	۷۹/۶۷	۰/۵۹	۵۹/۳	۱۰۰	۱۰۰	۷۱/۱
ndvi	۹۳/۰۹	۰/۸	۸۶/۲	۱۰۰	۶۵/۴	۷۵/۹
ndpi	۱۰۰	۱	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
ndmi	۶۴/۶۳	۰/۲۹	۱۰۰	۲۹/۳	۵۸/۶	۱۰۰
si	۹۰/۶۵	۰/۸۱	۸۷/۸	۹۳/۵	۹۳/۱	۸۸/۵

تهیه نقشه کاربری اراضی

سیلاب ها به عنوان یکی از پدیده های طبیعی و خطرناک، می توانند خسارت جدی به کاربری های اراضی و زیرساخت های مرتبط با آنها وارد کنند. این خسارت به کاربری ها می تواند شامل آب گرفتگی و آسیب به ساختمان ها، خرابی زیرساخت های راهبردی مانند جاده ها و پل ها، ایجاد خسارت در زمین های کشاورزی و باغات، خرابی سیستم های آبیاری و زهکشی، و از بین بردن تأسیسات عمومی مانند برق رسانی و ارتباطات باشد. همچنین، سیلاب می تواند منجر به از دست دادن جان انسان ها، از دست دادن دام ها و خسارت به محیط زیست شوند. جهت تعیین میزان آبرفتگی هر یک از کاربری ها در سیلاب مورد مطالعه، کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه قبل از وقوع سیلاب

با استفاده از طبقه بندی نظارت شده تهیه شد که در شکل ۲۶ مشخص شده است. نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه قبل از وقوع سیلاب با استفاده از طبقه بندی نظارت شده بر روی تصاویر ماهواره ای سنتینل-۲ تاریخ (تاریخ تصویر پیش از سیل، مثلاً ۲۰۱۹/۰۳/۰۱) تهیه شد. همانطور که در شکل ۲۵ و جدول ۴ تفکیک شده است، بیشترین سطح منطقه را اراضی کشاورزی (۷۱/۹ درصد) پوشانیده اند که در مدت زمان وقوع سیلاب ۱۷/۵ درصد آن زیر پهنه سیلاب قرار داشته است. همچنین ۳۹/۶ درصد از اراضی بایر نیز تحت تأثیر سیلاب قرار گرفته اند و به طور کلی ۷۰۷۴۲ هکتار از سطح منطقه در بازه سیلابی قرار گرفته است.



شکل ۲۵. کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

بررسی صحت روش‌های اپتیک نشان می‌دهد، اکثر روش‌ها به جز شاخص $NDWI_b$ و $NDMI$ ، NWI صحت کلی بالایی ۹۰ درصد را به خود اختصاص دادند که نشان می‌دهد در صورت فراهم بودن تصویر در زمان وقوع سیلاب و عدم حضور ابر در منطقه، شاخص‌های اپتیک در تفکیک پهنه‌های سیلابی توانمند می‌باشند. در سیلاب مورد مطالعه به دلیل ماندگاری طولانی در منطقه امکان دسترسی به تصاویر اپتیک بدون ابر فراهم بوده است و این مهم باعث شده است شاخص‌های اپتیک با دقت قابل قبولی پهنه‌های سیلابی را استخراج نمایند. تصویر راداری سنتینل ۱ نیز با صحت بالای ۹۰ درصد در شناسایی پهنه‌های سیلابی دقت قابل قبولی داشته و می‌تواند در روزهایی که حضور ابر، امکان استفاده از تصاویر اپتیک را فراهم نمی‌نماید، جایگزین مناسبی باشند. با بررسی نقشه پهنه سیلابی می‌توان نتیجه گرفت به طور کلی ۲۲/۵ درصد از سطح منطقه تحت تأثیر سیل مذکور قرار گرفته است که از این میان ۱۴/۴ درصد از اراضی مرتعی به زیر آب رفته است. ۱۷/۵ درصد از اراضی کشاورزی، ۳۹/۶ درصد از اراضی بایر و ۱۲/۶ درصد از اراضی مسکونی منطقه در محدوده سیل قرار گرفته‌اند. در این تحقیق به منظور استخراج پهنه‌های سیلاب در شهرستان‌های آق‌قلا و گمیشان تپه پرداخته شد و پهنه سیلاب حدود ۷۰۷ کیلومتر مربع بدست آمد، در حالی که در تحقیق گنجی و همکاران (۱۳۹۹) این مقدار برای فقط شهرستان آق‌قلا، ۴۵۳ کیلومتر مربع بود.

جدول ۴. مساحت کاربری‌های منطقه و مساحت محدوده سیل در هر یک از آن‌ها

کاربری	مساحت		پهنه سیل	
	هکتار	درصد	هکتار	درصد (نسبت به هر کاربری)
اراضی مرتعی	۱۸۰۲۰	۵/۷	۲۵۹۸	۱۴/۴
اراضی کشاورزی	۲۲۶۰۸۶	۷۱/۹	۳۹۴۸۲	۱۷/۵
اراضی بایر	۵۸۹۷۰	۱۸/۸	۲۳۳۸۱	۳۹/۶
پهنه آبی	۲۶۵۲	۰/۸	۱۹۸۶	۷۴/۹
تالاب	۳۰۰۰	۰/۹	۲۵۵۷	۸۵/۲
اراضی مسکونی	۵۸۴۹	۱/۹	۷۳۸	۱۲/۶
جمع	۳۱۴۵۷۷	۱۰۰	۷۰۷۴۲	۲۲/۵

نتیجه‌گیری

استخراج پهنه‌های سیلابی با استفاده از سنجش از دور یکی از روش‌های مهم و مؤثر در مدیریت سیلاب و کاهش خطرات آن است. سنجش از دور این امکان را فراهم می‌کند تا با استفاده از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای، اطلاعات دقیق و جامعی در مورد پدیده‌های سیلابی و توزیع آب در مناطق مختلف را به دست آورد. نتایج توزیع مکانی شاخص‌های ماهواره‌ای به تصویر کشیده شد و پس از مقایسه شاخص کاپا و صحت کلی دو شاخص $MNDWI$ و $NDPI$ با صحت کلی ۱۰۰ درصد بهترین شاخص‌ها جهت استخراج پهنه‌های سیلابی در منطقه مورد مطالعه انتخاب شدند و مبنای مقایسه با کاربری اراضی قرار گرفت.

Reference:

- Asghari Saraskanroud, S., Molanouri, E., Safari, S. & Ghale, E. (2021). Evaluation of the performance of snow and water spectral indices for the separation of water and snow/ice cover (SCG) features. *Journal of Physical Geography*, 14(53), 135-152. [in Persian]
- Bagheri, M. H., Farzaneh, M. & Rayegani, B. (2022). Development of Remote Sensing-Based Flood Estimation Methodology in Google Earth Engine. *Environment and Interdisciplinary Development*, 7(76), 12-26. [in Persian]
- Baniya, S., Deshar, R., Chauhan, R., & Thakuri, S. (2023). Assessment of channel migration of Koshi River in Nepal using remote sensing and GIS. *Environmental Challenges*, 11, 100692.
- Behzadi S., Afzali Kardamable, P., (2025). New flood management strategies: Zoning assessment and identification of flood zones in Mashhad city using satellite images. *Quarterly Journal of Defense Readiness and Technology*, 6(8): 159-182. [in Persian]
- Beitollahi, A., Dr. Ali, Soudmand, N., Mahdavi, M., Soleimani, M., Dehghan, F. (2019). *Golestan Flood Report*. Road, Housing & Urban Development Research Center, BHRC Publication, No: R-0838. [in Persian]
- Bekele, T. W., Haile, A. T., Trigg, M. A., & Walsh, C. L. (2022). Evaluating a new method of remote sensing for flood mapping in the urban and peri-urban areas: Applied to Addis Ababa and the Akaki catchment in Ethiopia. *Natural Hazards Research*, 2(2), 97-110.
- Birkett C. M., L. A. K. Mertes, T. Dunne, M. H. Costa, and M. J. Jasinski, 2002, "Surface water dynamics in the Amazon Basin: Application of satellite radar altimetry," *J. Geophys. Res.—Atmos.*, vol. 107, no. D20, p. 8059.
- Blasco, F., Bellan, M.F., and Chaudhury, M.U., 1992. Estimating the extent of floods in Bangladesh using SPOT data. *Remote Sens. Environ.*, vol. 39, no. 3, pp. 167–178, Mar.
- Castro-Melgar, I., Falaras, T., Basiou, E., & Parcharidis, I. (2025). Assessment of the October 2024 Cut-Off Low Event Floods Impact in Valencia (Spain) with Satellite and Geospatial Data. *Remote Sensing*, 17(13), 2145. <https://doi.org/10.3390/rs17132145>
- Chuvieco, E. (2020). *Fundamentals of satellite remote sensing: An environmental approach*. CRC press.
- Eid, A. N. M., Olatubara, C. O., Ewemoje, T. A., El-Hennawy, M. T., & Farouk, H. (2020). Inland wetland time-series digital change detection based on SAVI and NDWI indices: Wadi El-Rayan lakes, Egypt. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 19, 100347.
- Ganji, K., Gharechalo, S., Ahmadi, A., (2021). Extracting flood zones using spectral correlation of Landsat-8 and Sentinel-2 satellite data (Case study: Aq Qala flood). *Extension and Development of Watershed Management*, 8(31): 42-53.
- Gibson, P. (2013). *Introductory remote sensing principles and concepts*. Routledge.
- Hajarian, M. H., Atarchi, S. & Hamzeh, S. (2021). Monitoring seasonal changes of Meighan wetland using SAR, thermal and optical remote sensing data. *Physical Geography Research*, 53(3), 365-380. [in Persian]
- Hang, N. (2018): Detection Of Surface Crack In Building Structures Using Image Processing Technique With An Improved Otsu Method For Image Thresholding, *Advances In Civil Engineering*, Pp 1-11. <https://doi.org/10.1155/2018/3924120>
- Huang, C., Zhang, S., Dong, L., Wang, Z., Li, L., & Cui, L. (2021). Spatial and temporal variabilities of rainstorms over China under climate change. *Journal of Geographical Sciences*, 31, 479-496.
- Jensen, J. R., & Im, J. (2007). Remote sensing change detection in urban environments. *Geo-spatial Technologies in Urban Environments: Policy, Practice, and Pixels*, 7-31.
- Lahsaini, M., Albano, F., Albano, R., Mazzariello, A., & Lacava, T. (2024). A Synthetic Aperture Radar-Based Robust Satellite Technique (RST) for Timely Mapping of Floods. *Remote Sensing*, 16(12), 2193. <https://doi.org/10.3390/rs16122193>.
- Liang, S. (2005). *Quantitative remote sensing of land surfaces*. John Wiley & Sons.
- Lin, L., Di, L., Yu, E. G., Kang, L., Shrestha, R., Rahman, M. S., ... & Hu, L. (2016). A review of remote sensing in flood assessment. In *2016 Fifth International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics)* (pp. 1-4). IEEE.
- Masoumi, H., Habibi, A., & Parsamehr, M. (2022). Predicting changes in stream path and morphology of Gorganrood river with an emphasis on flooding. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(2), 67-84. DOI:10.22067/geoh.2022.74999.1166. [in Persian]
- Mirghasemi, S. M., Banejad, H. & Hosseini, A. F. (2023). Application of remote sensing in hydraulic modeling and determination of riverbed boundaries (Case study: Ardak River). *RS & GIS for Natural Resources*, 14(1), 24-48. [in Persian]
- Nowatzki, J., Andres, R., & Kyllö, K. (2004). *Agricultural remote sensing basics*.
- Otsu, N. (1979): A Threshold Selection Method From Gray-Level Histograms. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. B* 1979, 9, 62–66

- Sehgal, S., Kumar, S., & Bindu, M. H. (2017, January). Remotely sensed image thresholding using OTSU & differential evolution approach. In 2017 7th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering-Confluence (pp. 138-142). IEEE.
- Song, S., Cao, Z., Wu, Z., & Chuai, X. (2022). Spatial and temporal dynamics of surface water in China from the 1980s to 2015 based on remote sensing monitoring. *Chinese Geographical Science*, 32(1), 174-188.
- Srinivas, C. H. V. V. S., Prasad, M. V. R. V., & Sirisha, M. (2019). Remote sensing image segmentation using OTSU algorithm. *International Journal of Computer Applications*, 975, 8887.
- Zimba, H., Kawawa, B., Chabala, A., Phiri, W., Selsam, P., Meinhardt, M., & Nyambe, I. (2018). Assessment of trends in inundation extent in the Barotse Floodplain, upper Zambezi River Basin: A remote sensing-based approach. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 15, 149-170.

یادداشت‌ها

¹ Zimba

² Song

³ Blasco

⁴ Birkett

⁵ Eid

⁶ Baniya

⁷ Lahsaini

⁸ Castro-Melgar