



Research paper

(Received Dec. 22, 2023

Accepted Jan. 25, 2024)

## Investigating the effective factors in the occurrence of floods in order to manage the damages caused by them in Sirach tourism area

Mohammad Javad Hassani\*

*Department of Ecology, Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, End of Haftbagh Highway, Kerman, Iran*

### Abstract

This study focuses on the flood the Sirach tourism area in the Kerman Province (SE Iran). This area is unique location in the margin of the Shahdad Area. This spectacular and natural area has been hated by abnormal drastic floods eventually every year. This study using 3D modeling and mapping based on the SRTM DEM and Landsat 8 images and compilation of morphology and geology to investigate the flood hazard in the studied area. The data set of this study have compiled and analyzed by GIS-AHP method. This study suggests that the main cause of the rapid and abnormal floods is the nature of the geological outcrops and the steep of the watershed. The flood hazard analysis also shows that the main Sirach village and tourism site locates in the most hazardous zone. The improvement of the plant cover and construction of flood breakers can control the flood hazard in this area.

**Key words:** Flooding, geology, SRTM DEM, Landsat, GIS, AHP

---

\* Corresponding Author: Mohammad Javad Hassani  
Email: [mjhassani887@gmail.com](mailto:mjhassani887@gmail.com)  
Phone: 03431623100



مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۵ تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۱۶

## بررسی عوامل موثر در بروز سیل جهت مدیریت خسارات ناشی از آن در ناحیه گردشگری سیرچ

محمد جواد حسنی\*

گروه اکولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

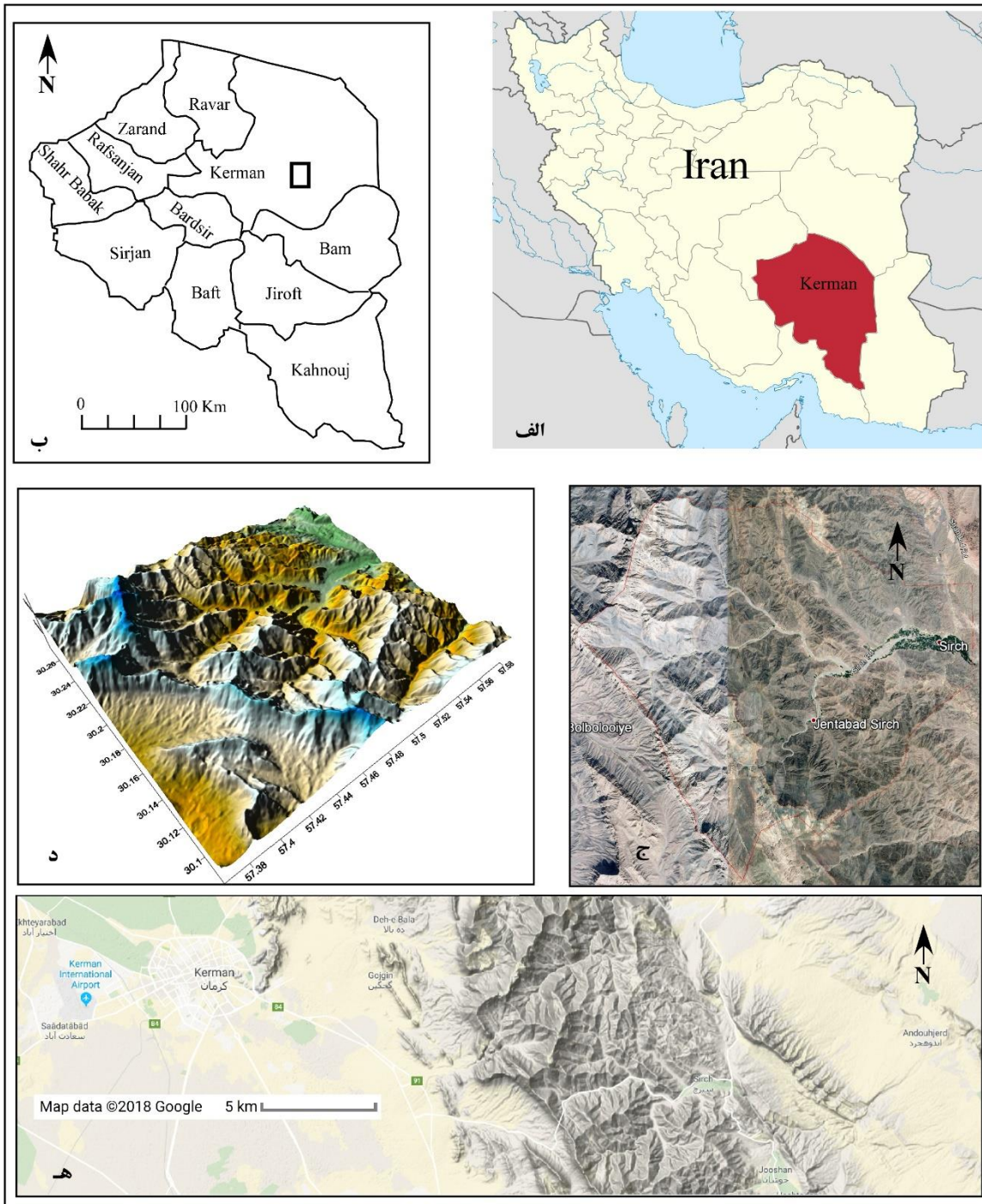
### چکیده

این پژوهش بر روی بررسی سیل در ناحیه گردشگری سیرچ در شرق کرمان متمرکز می باشد. این ناحیه در حاشیه بیابان لوت و کلوت‌های شهداد قرار داشته و توسط سیل‌های غیرعادی سالانه دچار خسارات زیادی می شود. در این مطالعه جهت بررسی عوامل دخیل در سیل خیزی ناحیه از مدل سازی‌های سه بعدی بر پایه مدل ارتفاعی رقومی SRTM، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و داده‌های زمین‌شناسی و ترکیب آنها در محیط GIS استفاده گردیده و وزن دهی لایه‌های اطلاعاتی بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی فازی استوار بوده است. در این پژوهش مشخص گردید که مهمترین عامل موثر در ایجاد سیل، طبیعت واحدهای زمین‌شناختی و شیب ناحیه می‌باشند. مدل سازی‌ها همچنین نشان داده‌اند که بخش مسکونی و گردشگری سیرچ محل بیشترین آسیب در اثر سیل بوده و خواهد بود. احداث تاسیسات سیل‌گیر و تثبیت سطح واحدهای زمین‌شناختی از طریق بهبود پوشش گیاهی مخصوصا در جنوب حوضه آبریز سیرچ مهمترین عوامل موثر در مدیریت و کاهش خسارات سیل در ناحیه مورد مطالعه می‌باشند.

کلمات کلیدی: سیل، زمین‌شناسی، مدل ارتفاعی رقومی SRTM، لندست ۸، تحلیل سلسله مراتبی

## ۱-مقدمه

صنعت گردشگری بعنوان رویکردی نوین در بهبود و ارتقای ظرفیت‌های اقتصادی در ایران مورد توجه مدیران قرار گرفته است. این صنعت باعث رونق اقتصادی بسیاری از نواحی در کشورهای همسایه ایران گردیده، کشورهایی که در مقایسه با ایران ظرفیت‌های بسیار کمتری در گردشگری دارند. استان کرمان بعنوان پهناترین استان کشور، با دارا بودن عوارض طبیعی و باستانی گردشگر پسند جایگاه ویژه‌ای در صنعت گردشگری ایران دارد. یکی از نواحی گردشگر پسند واقع در شرق شهر کرمان ناحیه سیرچ می باشد. محدوده سیرچ با مساحت حوضه آبریز بالغ بر ۲۱۰ کیلومتر مربع در دامنه کوهستان سیرچ و در حاشیه کویر لوت و کلوت‌های شهداد قرار دارد. فاصله این محدوده از شهر کرمان ۷۵ کیلومتر و فاصله آن تا شهداد و کلوت‌های شهداد بالغ بر ۸۰ کیلومتر بوده و از طریق جاده کرمان - شهداد - نهبندان قابل دسترسی است (شکل ۱). این ناحیه بعنوان محدوده‌ای خوش آب و هوا در مجاورت نواحی گرم و خشک استان کرمان سالیانه مورد استفاده تعداد زیادی از گردشگران بومی و غیر بومی قرار می گیرد. این ناحیه علی‌رغم نقش مهمی که در گردشگری بومی و استانی شهرستان کرمان داشته و دارد متأسفانه تا کنون بارها در اثر سیل‌های ویرانگر دچار خسارات زیاد و گاهی تلفات جانی گردیده که این خسارات و تلفات بیشتر دامنگیر گردشگرانی بوده که جهت تفریح و گذران اوقات فراغت به نواحی مجاور رودخانه سیرچ رفته بودند (شکل ۲). رودخانه سیرچ در این ناحیه جاری بوده و بخش‌های توریستی، مسکونی و زراعی ناحیه سیرچ در مجاورت این رودخانه قرار گرفته‌اند. وقوع سیل در این رودخانه درمقایسه با رودخانه‌های مجاور تا حدودی غیر عادی بوده بطوری که در زمان بارندگی‌های نه چندان شدید روان آب‌هایی با محتوای رسوبی بالا بصورت جریان‌اتی گل آلود ایجاد شده و باعث خسارت در این ناحیه می گردند؛ در حالی که در حوضه‌های آبریز مجاور با توپوگرافی و بارندگی یکسان چنین سیل‌هایی به وقوع نمی‌پیوندد. علی‌رغم وقوع سیل‌های خسارت بار در این ناحیه به دلیل عدم درک اهمیت موضوع از سوی محققین و مسئولین و پیچیده بودن وضعیت طبیعی در این ناحیه، تا کنون در زمینه بررسی عوامل سیل خیزی، مطالعاتی انجام نشده است. در مطالعه حاضر به بررسی دلایل وقوع سیل‌های غیر عادی در این ناحیه پرداخته شده و سعی گردیده راه‌حلهایی برای مدیریت سیل در این ناحیه معرفی گردد. مطالعاتی از این دست که با تکیه بر داده‌های میدانی و روش‌های دورسنجی به مطالعه سیل پرداخته‌اند در سال‌های اخیر رو به ازدیاد بوده و در مناطق بسیاری از جهان به انجام رسیده‌اند [۱-۸]. در ایران نیز در مواردی مانند زنجان [۹]، مردق چای [۱۰]، عشق‌آباد [۱۱]، حوضه رودخانه بالخلو [۱۲]، شهر داراب [۱۳]، حوضه آبریز اخترآباد [۱۴]، استان کردستان [۱۵]، شهر ایزه [۱۶]، بافق [۱۷] و شهر نور [۱۸] به مطالعه سیل با استفاده از روش‌های دورسنجی و زمین‌شناختی پرداخته شده است. همانگونه که در بالا ذکر شد، در محدوده مورد مطالعه و استان کرمان تا کنون مطالعاتی در این زمینه انجام نشده و پژوهش حاضر اولین مورد از این دست مطالعات بوده و هدف از انجام آن بررسی عوامل موثر در سیل خیزی ناحیه سیرچ و تعیین اولویت‌ها برای مدیریت سیل و خسارات ناشی از آن در ناحیه سیرچ می‌باشد.



شکل ۱: الف، موقعیت استان کرمان در کشور ایران؛ ب، موقعیت محدوده مورد مطالعه (مستطیل سیاه) در استان کرمان؛ ج، تصویر ماهواره ای از محدوده سیرج؛ د، سیمای سه بعدی حوضه آبریز سیرج؛ ه، نقشه راه های دسترسی به محدوده گردشگری سیرج.

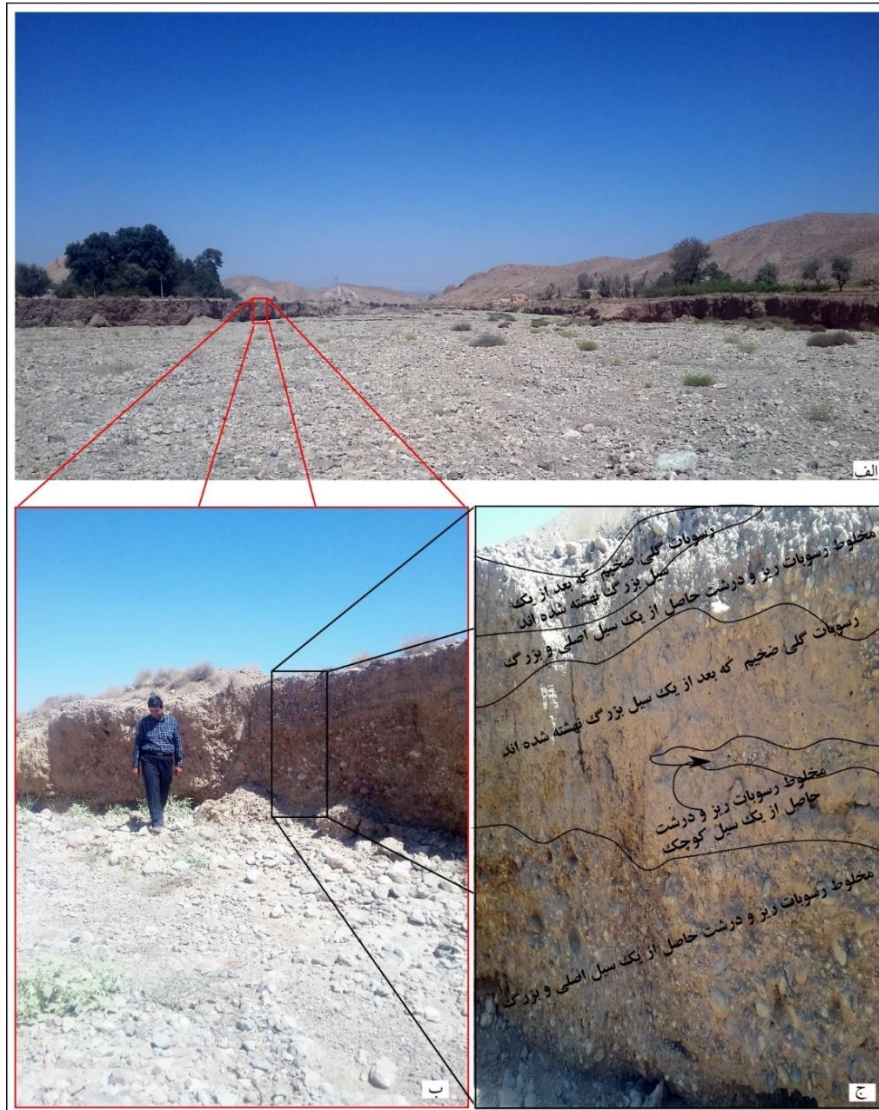


شکل ۲: تصاویر خسارات ناشی از سیل های سال ۱۳۹۲، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۵ که هر کدام با تلفات جانی از گردشگران همراه بوده اند ( برگرفته از وبگاه های ایسنا، خبرنگاران جوان و شیرازه).

## ۲- مواد و روش ها

بر اساس مشاهدات میدانی و تاریخی، نهشته‌های حاصل از سیل حاوی ذرات رسوبی، چوب و زباله‌هایی با اندازه‌های مختلف بوده اما بیشترین ترکیب شامل خاک رس و سیلت می باشد. این رسوبات در دره رودخانه سیرچ، از شهر سیرچ تا چند کیلومتری پایین دست رودخانه انباشته شده‌اند. بر اساس مطالعات میدانی، سیل‌های بزرگ یک توالی رسوبی شامل مخلوطی از رسوبات درشت و گل‌آلود را تشکیل داده‌اند که در بالای آن لایه نسبتاً ضخیمی از رسوبات گلی ریزدانه قرار گرفته در حالی که سیل‌های جزئی را می توان با افق‌های عدسی مانند از رسوبات درشت و ریزدانه مختلط ردیابی نمود (شکل ۳). از سوی دیگر، کف رودخانه توسط رسوباتی در اندازه شن، سنگریزه و بلوک پوشیده شده است (شکل ۴). برای بررسی خطر سیل در منطقه مورد مطالعه از مدل ارتفاعی رقومی SRTM برای تحلیل‌های ژئومورفولوژی و مدل سازی سه بعدی سطح زمین، تعیین شیب و جهت شیب، تحلیل تراکم آبراهه‌ها و طول آبراهه‌ها استفاده شده است. این مدل سازی با استفاده از قابلیت افزونه آنالیز سطح در محیط Arcmap به‌انجام رسیده است. داده‌های شیب، جهت شیب و تراکم آبراهه‌ها از مهمترین داده‌های مورد نیاز در تحلیل سیل خیزی هر ناحیه محسوب می شوند. برای بررسی وضعیت زمین‌شناسی و پوشش گیاهی منطقه از تصاویر Landsat 8 و از داده‌های بارش ایستگاه سیرچ برای مدل‌سازی سیلاب با دوره بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله استفاده شده است. داده‌های به‌دست‌آمده در سیستم تصمیم‌گیری چند متغیره و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (AHP) تجزیه و تحلیل شده و در سیستم اطلاعات مکانی (GIS) ترکیب شده‌اند تا آسیب پذیرترین منطقه را مشخص و مؤثرترین عامل در تقویت سیلاب را معین نماید. در مطالعاتی که جهت بررسی پدیده محتاج بررسی چندین عامل می باشند و تعداد متغیرها زیاد است بایستی از سیستمی که بتواند بین این متغیرها بصورت منطقی ارتباط برقرار نماید استفاده نمود. در این زمینه متعلق فازی و روش AHP بسیار معمول بوده و توسط بسیاری از محققین جهان توسعه یافته و مورد تاکید قرار گرفته است [۴۴-۱۹]. در این روش هر متغیر به صورت یک لایه اطلاعاتی با وزن مشخص بعنوان ورودی به سیستم داده شده و خروجی سیستم بعنوان نتیجه تجزیه و تحلیل مورد استفاده قرار می گیرد. وزن هر لایه در این سیستم توسط سیستم‌های نرم افزاری همچون Expert

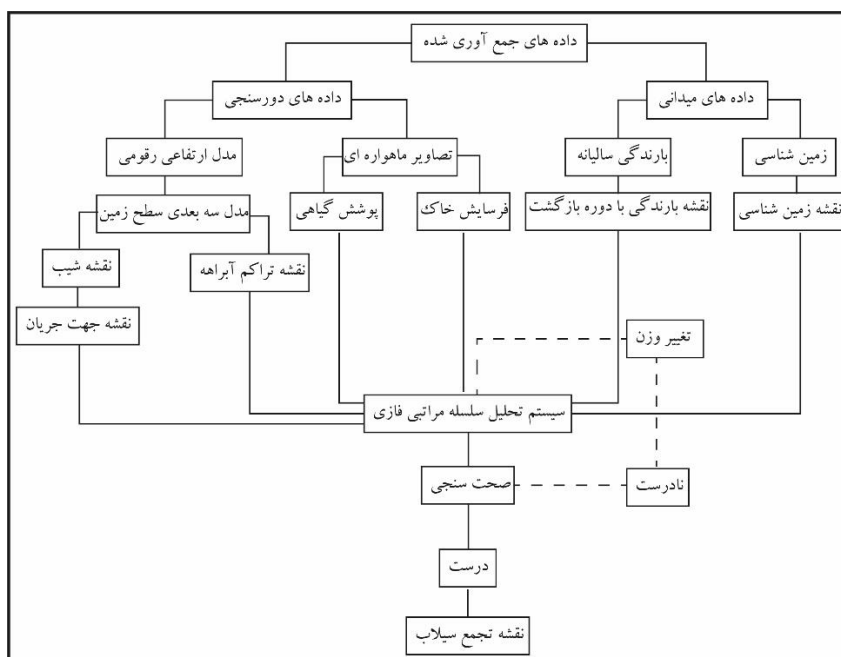
choice یا نظر سنجی از محققین متخصص در مورد موضوع مطالعه مشخص می گردد که در این مطالعه از نظر سنجی از محققین متخصص استفاده شده است. مجموعه داده‌های مورد استفاده در این پژوهش و روش مطالعه در درخت‌واره شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۳: الف، سیمای صحرایی کانال اصلی رودخانه سیرچ در نقطه تلاقی شاخه های جنوبی و شمالی؛ ب، سیمای صحرایی پادگانه های آبرفتی رودخانه سیرچ بعد از نقطه تلاقی؛ ج، نمای نزدیک دیواره پادگانه شکل ب و انواع رسوبات برجای مانده از سیل های قبلی.



شکل ۴: سیمای صحرائی و اندازه ذرات بستر کانال رودخانه سیرچ



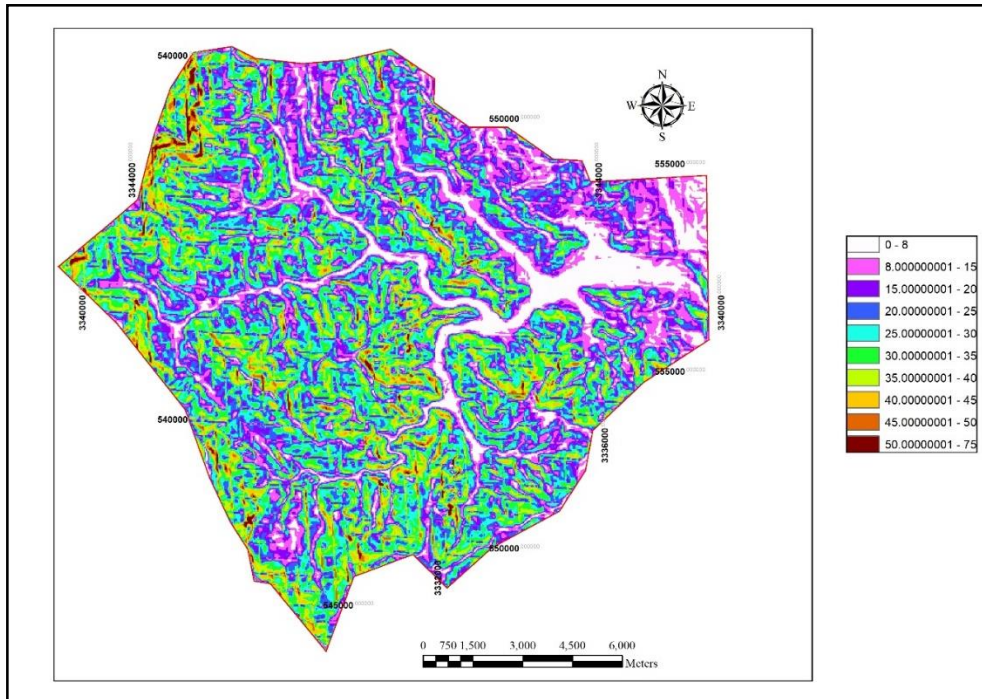
شکل ۵: درخت وارده داده ها، لایه های اطلاعاتی و تصمیم گیری در سیستم تحلیل سلسله مراتبی فازی

### ۳- نتایج و بحث

نتایج بدست آمده در این پژوهش که از طریق پردازش آنان به مطالعه وقوع سیل در رودخانه سیرچ پرداخته شده به شرح زیر می باشند:

### ۳-۱- توپوگرافی

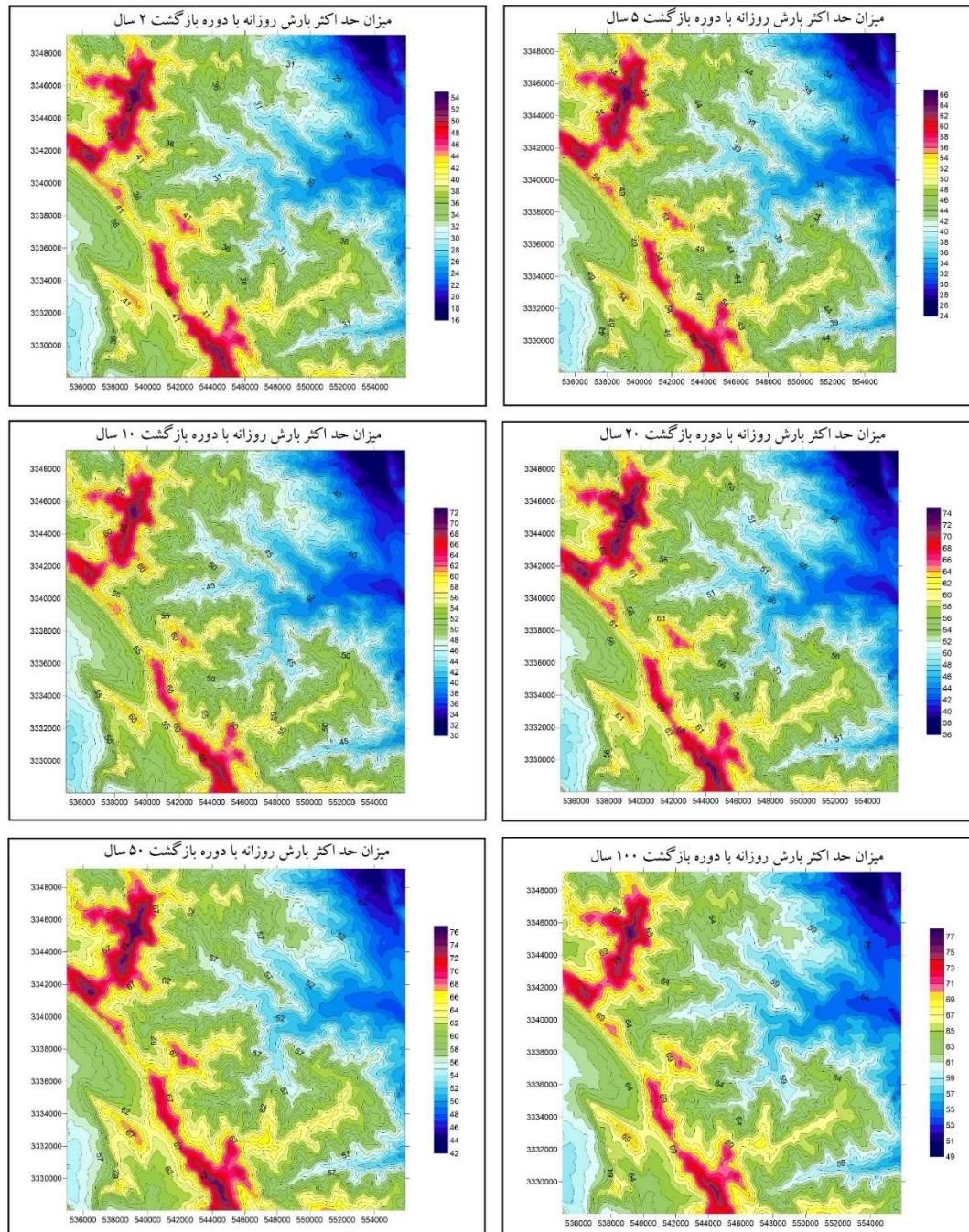
اولین عامل مورد توجه و چشمگیر در منطقه مورد مطالعه، شیب تند و توپوگرافی خشن آن است. برای تحلیل شیب ناحیه و توپوگرافی از مدل رقومی ارتفاعی SRTM استفاده شده است. دقت این مدل ارتفاعی رقومی برای مطالعات مدیریت سیل کافی به نظر می‌رسد و توسط برخی از محققین برای این منظور استفاده شده است [۲۰، ۲۳، ۲۵، ۲۷، ۲۹، ۴۳، ۴۴]. بر اساس مدل سازی های سه بعدی در محیط GIS (با استفاده از افزونه آنالیز سطح)، شیب متوسط بدست آمده برای کل حوضه آبریز رودخانه سیرچ ۲۵/۵ درصد می‌باشد. بیشینه شیب در نواحی کوهستانی و بیش از ۵۰ درصد اندازه‌گیری شده (شکل ۶) که با توجه به اعداد ذکر شده محدوده در کلاس نواحی پر شیب درجه بندی می‌شود.



شکل ۶: نقشه میزان شیب در سطح منطقه مورد مطالعه بر اساس مدل رقومی ارتفاعی SRTM.

### ۳-۲- متوسط بارندگی

تغییرات میزان بارش در طول دوره‌های زمانی عامل مهمی در مطالعات مدیریت سیلاب محسوب می‌شود [۴۵] بطوری که بنت و همکاران [46] بر اثرات بارندگی های با دوره بازگشت مختلف بر حجم سیل و سیلاب‌های تاریخی تاکید نموده‌اند و مطالعاتی را در این رابطه انجام داده‌اند. اهمیت این عامل در نواحی با سیل‌های دوره‌ای بسیار بالاست ولی در مورد محدوده سیرچ وقوع سیل دوره‌ای نبوده و بصورت سالیانه مشاهده می‌شود. در هر حال جهت بهره برداری حد اکثری از داده‌های موجود این لایه اطلاعاتی نیز در معادلات وارد شده است. در این رابطه، اگرچه که منطقه مورد مطالعه در ناحیه کوهستانی قرار دارد، اما در زمره ناحیه اقلیمی خشک تا نیمه خشک طبقه‌بندی می‌شود، بطوری که میانگین بارندگی سالانه در این منطقه ۱۱۰-۱۰۰ میلی متر است. حداکثر بارندگی روزانه در دوره بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله بدست آمده از ایستگاه باران سنجی سیرچ، نشان می‌دهد که فقط حداکثر و حداقل بارش‌ها در این دوره‌ها متفاوت بوده و میزان و ارتفاع جغرافیایی بارش‌ها کاملاً با یکدیگر منطبق می‌باشند (شکل ۷). این انطباق نشان می‌دهد که تغییرات ناشی از میزان بارندگی در دوره‌های بازگشت ذکر شده در وقوع سیل چندان دخیل نیستند.



شکل ۷: نقشه حداکثر میزان بارش روزانه با دوره های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله در حوضه آبریز سیرچ

### ۳-۳- پوشش گیاهی

نقش اساسی تراکم و نوع پوشش گیاهی در فرسایش خاک در هنگام سیل ثابت شده و در مواردی اثر تعیین کننده دارد [۴۷]. در مورد منطقه مورد مطالعه، بر اساس مشاهدات میدانی، متراکم ترین پوشش گیاهی در مجاورت کانال رودخانه و در شهر سیرچ قرار دارد. جهت ارزیابی وضعیت پوشش گیاهی در بقیه سطح حوضه آبریز از سنجش ضریب پوشش گیاهی (NDVI) بر اساس تصاویر ماهواره لندست ۸ استفاده شده است. این ضریب از طریق سنجش آن بر اساس تصاویر ماهواره ای در محیط نرم افزار ENVI بدست آمده و برابر با  $-0/1$  تا  $+0/1$  بوده که نشان دهنده پوشش گیاهی ضعیف برای سطح حوضه آبریز می باشد. بر اساس مشاهدات میدانی، پوشش گیاهی موجود نیز از نوع بوته های درمنه، گون و درختچه های دافنه و قیچ به صورت بسیار تنک و با تراکم پایین می باشند. بنابراین،

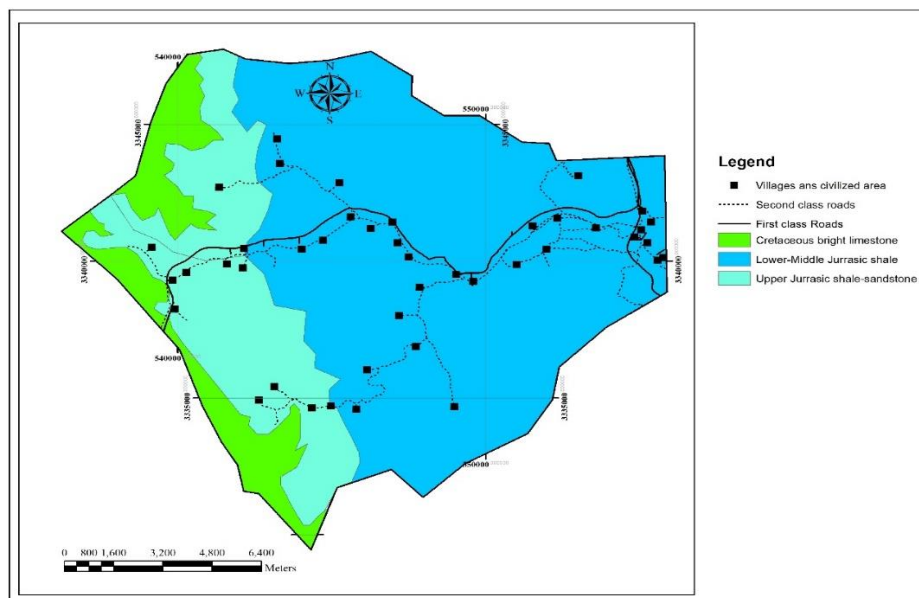
قابل پیش‌بینی است که در باران‌های شدید، سطح رخنمون‌ها توسط گیاهان پش‌تیبانی نمی‌شود و حجم رواناب توسط خاک فرسایش یافته افزایش می‌یابد.

### ۳-۴- تراکم آبراهه

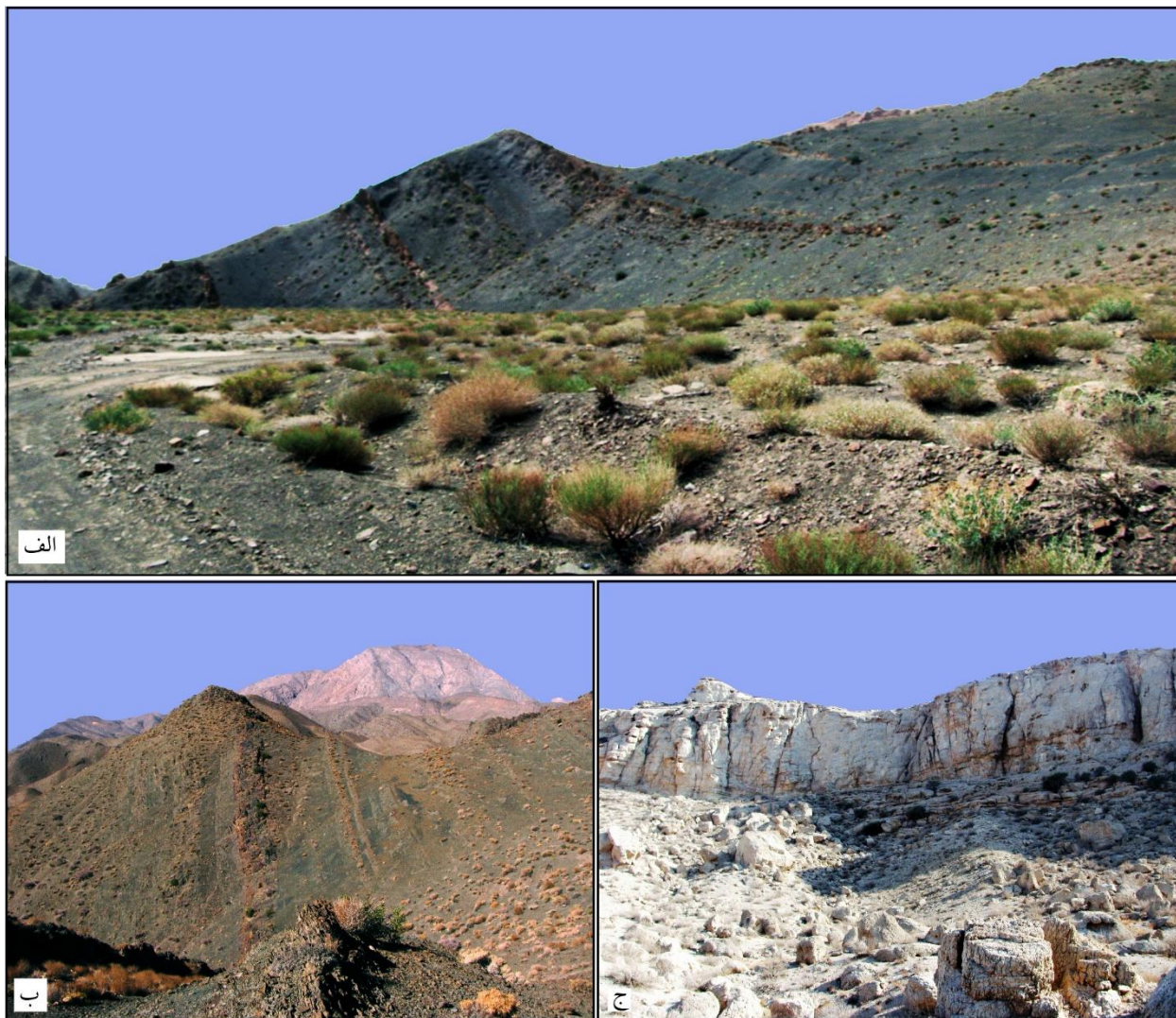
سیستم زهکشی منطقه مورد مطالعه از چند رودخانه کلاس ۴-۲ تشکیل شده است. در این زمینه حوضه آبریز را میتوان به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم نمود که خروجی هر بخش بصورت یک رودخانه در نظر گرفته شده که در محل تلاقی دو شاخه رودخانه، رودخانه اصلی سیرچ متولد می‌شود. در هر حال مجموع طول رودخانه‌های اصلی در حوضه آبریز برابر با  $65725/48$  متر و مجموع مساحت حوضه آبریز  $210741566$  متر مربع می‌باشد که بر این اساس میزان ضریب تراکم آبراهه در ناحیه برابر با  $0/00031$  می‌باشد. این تراکم آبراهه‌ای حاکی از وجود آبراهه‌های زیاد در سطح حوضه آبریز بوده و نشان می‌دهد که محدوده حوضه آبریز در زمان بارندگی به خوبی زهکشی گردیده و تمامی حجم بارندگی روان شده به کانال اصلی رودخانه هدایت می‌شود.

### ۳-۵- زمین‌شناسی

ویژگی‌های زمین‌شناسی، به ویژه سنگ‌شناسی حوضه، نقش بسیار مهمی در وقوع سیلاب‌ها دارد [۴۸]. وضعیت زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه چندان پیچیده نیست (شکل ۸). شایع‌ترین واحدهای سنگی در محدوده حوضه آبریز شامل شیل‌های تیره و سیاه و غیرقابل نفوذ ژوراسیک پایینی-میانی با پوشش گیاهی ضعیف بوده که بیش از دو سوم کل حوضه را پوشش می‌دهند (شکل ۹-الف). واحد شایع بعدی شامل شیل/ماسه سنگ‌های نسبتاً سخت، اما همچنان غیر قابل نفوذ با پوشش گیاهی ضعیف به سن ژوراسیک فوقانی است (شکل ۹-ب). واحد آخر شامل لایه‌های آهکی صخره‌ساز و با پوشش گیاهی ضعیف به سن کرتاسه است که در ارتفاعات و پرتگاه‌ها یافت می‌شود (شکل ۹-ج). بر اساس خصوصیات سنگ‌شناسی معمول، شیل‌ها بعنوان سنگ‌هایی تشکیل شده از کانی‌های رسی با تحکیم یافتگی کم در زمان بارندگی با جذب آب افزایش حجم پیدا نموده و با افزایش میزان آب به بیش از حد آستانه جذب، بصورت روان و خمیری درآمده و در صورت استقرار بر روی سطوح شیب دار جریان پیدا می‌کنند. واحدهای آهکی نیز تقریباً تمامی نزولات جوی را به پایین شیب انتقال می‌دهند. لازم به ذکر است که خصوصیات ذکر شده در مورد نفوذ پذیری واحدهای سنگی مبتنی بر خصوصیات ذاتی و معمول سنگ‌شناختی واحدها (شیل و آهک) بوده و در این زمینه نمونه برداری انجام نشده است. بدین ترتیب تمامی واحدهای سنگی منطقه مستعد ایجاد سیل می‌باشند.



شکل ۸: نقشه زمین‌شناسی ساده شده محدوده حوضه آبریز رودخانه سیرچ



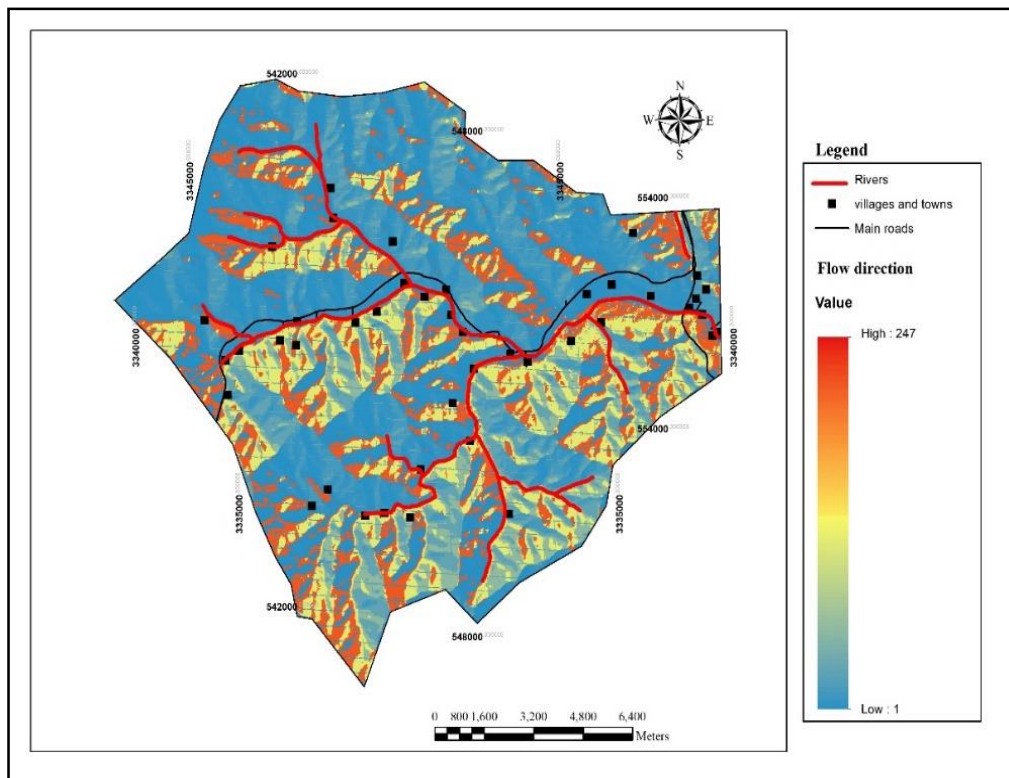
شکل ۹: الف، سیمای صحرایی واحد های سنگی شیل های تیره و سیاه و غیرقابل نفوذ ژوراسیک پایینی-میانی؛ ب، سیمای صحرایی واحد سنگی شیل/ماسه سنگ های نسبتاً سخت؛ ج، سیمای صحرایی لایه های آهکی کرتاسه صخره ساز

مجموعه لایه های اطلاعاتی فوق در مطالعات پهنه بندی و بررسی خطر سیل مورد استفاده قرار گرفته اند. جهت برقراری رابطه منطقی و درک اهمیت و اولویت لایه ها از سیستم تصمیم گیری چند متغیره بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (AHP) استفاده شده است. در این رابطه از ۳۵ زمین شناس، مهندس عمران، ژئومورفولوژیست و افراد بومی از طریق تکمیل پرسشنامه نظرسنجی شده و وزن لایه های اطلاعاتی بدست آمده از طریق پرسشنامه (جدول ۱) بعنوان ورودی به سیستم تحلیل سلسله مراتبی فازی وارد گردیده و با ابزار و افزونه AHP در محیط Arcmap 10.4.1 پردازش شده است.

جدول ۱: ماتریس مقایسه بردار ویژه اصلی نرمال شده برای عوامل ایجاد کننده سیل

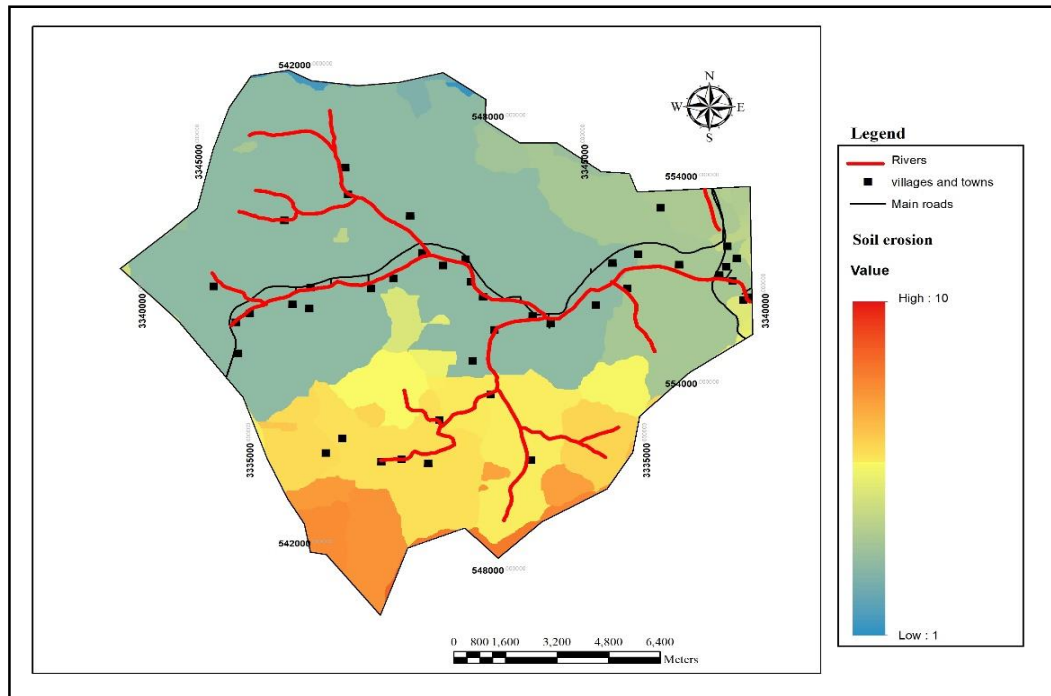
Criteria	slope	geology	precipitation	Drainage density	plant cover	Relative weight
slope	1	2	3	2	2	0.458
geology		1	3	2	4	0.347
precipitation			1	2	2	0.293
Drainage density				1	2	0.175
plant cover					1	0.025

بر اساس پرسش اصلی این پژوهش که چرا سایت گردشگری سیرچ با سیل سالانه مواجه می‌شود در حالی که رودخانه‌های مجاور با وجود ویژگی‌های مشابه، دچار سیلاب نمی‌شوند، ابتدا بدون در نظر گرفتن لایه‌های زمین‌شناسی و بارندگی‌های سالیانه با دوره بازگشت مختلف نقشه جهت جریان تولید شده که نشان می‌دهد ارتفاعات شمالی و غربی منطقه مورد مطالعه بیشترین جریان را در هنگام بارندگی‌های شدید دارند (شکل ۱۰). این نقشه کلیدی نشان‌دهنده اهمیت بیشتر عوامل میدانی نسبت به عوامل اقلیمی می‌باشد چرا که با واقعیات و گزارشات تاریخی سیل هم‌خوانی ندارد. بر اساس این نقشه بیشترین میزان و خسارات سیل بایستی در نواحی شمالی و غربی اتفاق بیفتد در حالی که در سیل‌های ثبت شده بیشترین خسارات در بخش‌های جنوبی و انتهایی رودخانه ثبت شده است. بر اساس مشاهدات میدانی، در بخش جنوبی حوزه آبریز، وضعیت آرایش لایه‌های سنگی زمین‌شناسی به گونه‌ای است که پشت لایه‌ها در معرض هوازگی قرار گرفته که باعث تولید قشر ضخیمی از خاک هوازده و سست شده است. این خاک‌ها در زمان بارندگی، به دلیل ماهیت زمین‌شناختی شاخص شیل‌ها (رسی بودن و نفوذپذیری کم)، به سرعت فرسایش پیدا نموده و باعث ایجاد جریان‌ات گلی می‌شوند. این عامل نقشی ظریف اما مهم در سیلاب‌های منطقه داشته و اثرات آن در ایجاد سیل‌هایی با بار رسوبی بالا به اثبات رسیده است [۴۹].



شکل ۱۰: نقشه جهت روان آب در سطح حوزه آبریز

همان‌طور که در شکل ۱۰ نشان داده شده، جریان در نیمه جنوبی منطقه مورد مطالعه به طور قابل توجهی پایداری بیشتری نسبت به نیمه شمالی دارد که نشان‌دهنده افزایش فرسایش خاک در این منطقه می‌باشد. نقشه فرسایش خاک منطقه مورد مطالعه، بر اساس مطالعات میدانی و داده‌های کاربری اراضی، در شکل ۱۱ نشان داده شده که آشکارا فرسایش بیشتر خاک در نیمه جنوبی منطقه را نسبت به نیمه شمالی نشان می‌دهد. این واقعیت حاکی از این است که عامل زمین‌شناسی نقش اساسی در تامین رسوب غیرعادی در هنگام بارندگی دارد که باعث افزایش حجم و چگالی سیل می‌شود. از سوی دیگر، موقعیت جغرافیایی شهر سیرچ، درست بعد از نقطه اتصال شاخه شمالی و جنوبی رودخانه، عاملی حیاتی در هنگام سیل است. بر اساس مشاهدات میدانی، شاخه شمالی رودخانه منطقه وسیعی، نزدیک به دو سوم منطقه مورد مطالعه، را زهکشی می‌کند و تقریباً در تمام طول سال آب دار بوده در حالی که شاخه جنوبی فصلی است.

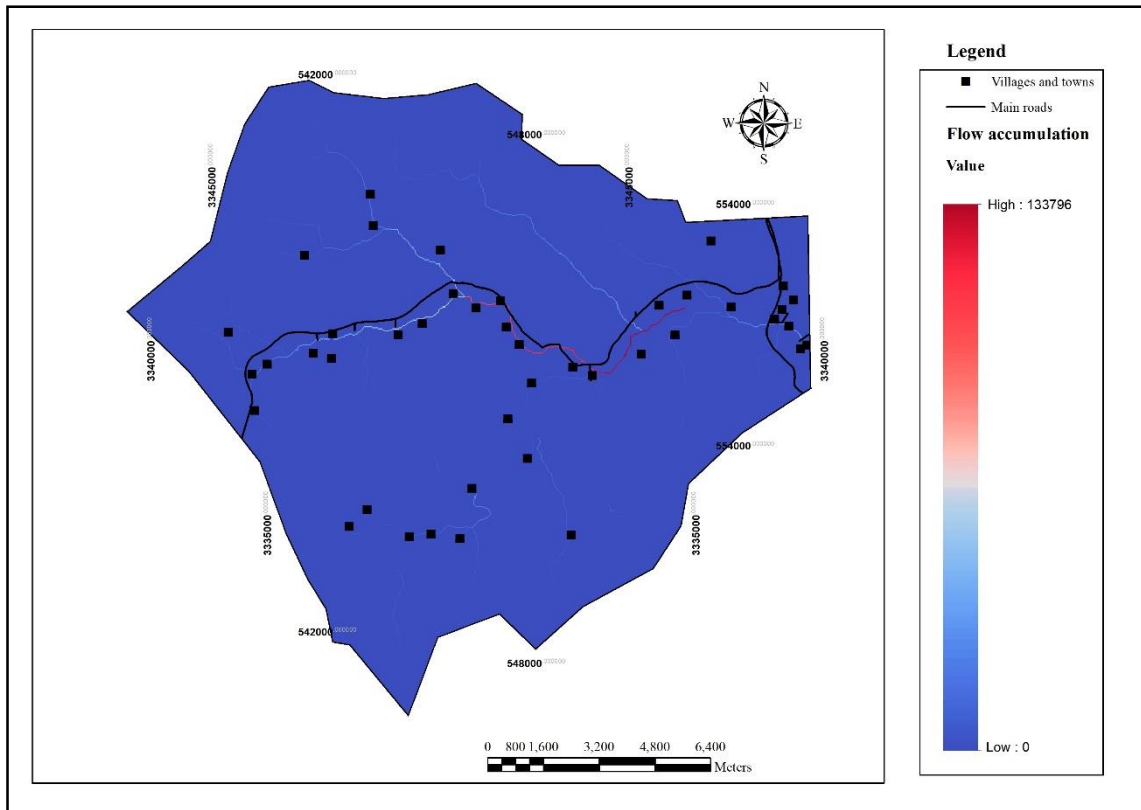


شکل ۱۱: نقشه شدت فرسایش خاک در سطح حوضه آبریز

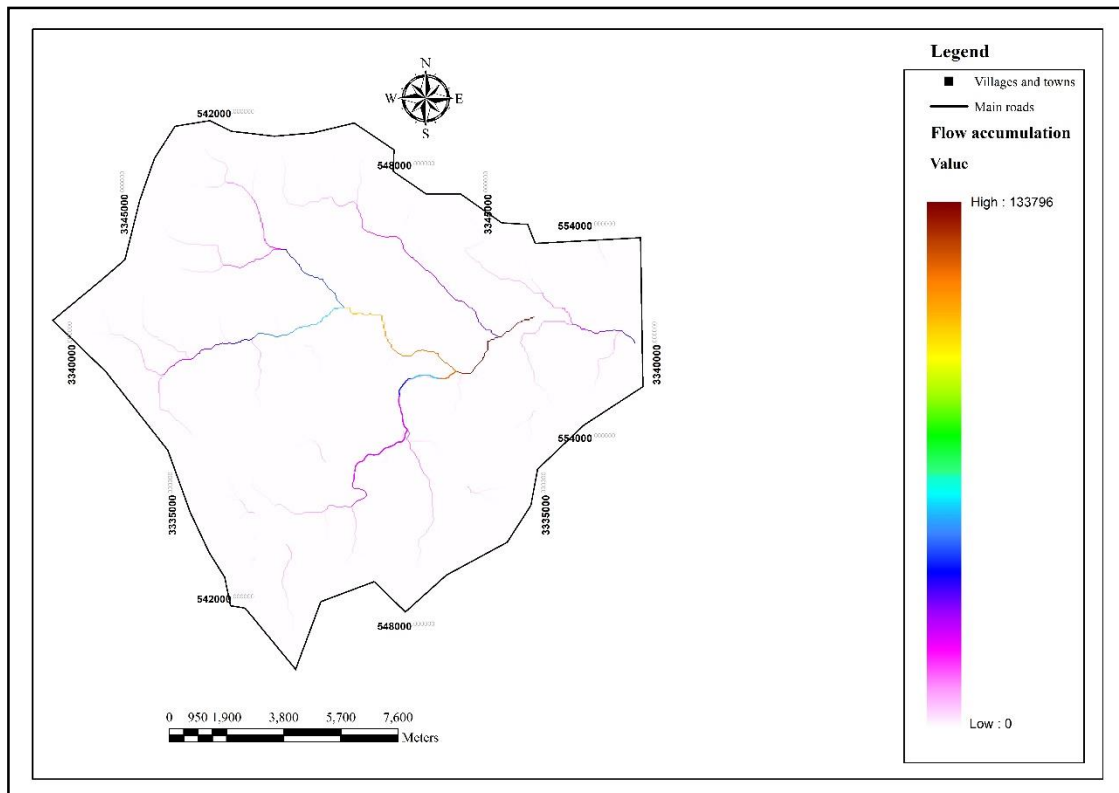
در هنگام بارندگی‌های فصلی، جریان سیلابی پرحجم، سنگین، گل آلود و کند در شاخه جنوبی ایجاد شده که در محل اتصال به سیلاب کمتر گل آلود، سبک اما سریع‌تر شاخه شمالی می‌پیوندد. این پیوند باعث ایجاد سیلی پرحجم، گل آلود، سریع و سنگین با قدرت تخریب بالا شده که محدوده شهر سیرچ و کانال رودخانه را درنوردیده و تخریب می‌نماید.

جهت اثبات درستی این پیش بینی از نقشه‌های تجمع سیل استفاده شده است. در نقشه اول عوامل ذکر شده به استثنای عامل زمین شناسی در پردازش‌ها وارد گردیده که حاصل آن نقشه شکل ۱۲ می‌باشد. در این نقشه وزن لایه زمین شناسی در سیستم تصمیم گیری چند متغیره بر اساس روش تحلیل سلسله مراتبی فازی کاهش داده شده است. این نقشه نشان می‌دهد که جریان سیل ممکن است فقط در شاخه شمالی رخ دهد، اما مشاهدات تاریخی نشان می‌دهد که سیلاب‌ها پس از نقطه اتصال شاخه‌های جنوبی و شمالی و در پایین دست رودخانه رخ داده‌اند. در مرحله بعد وزن عامل زمین شناسی نسبت به لایه‌های شیب، پوشش گیاهی و بارندگی‌های سالیانه افزایش داده شده که حاصل آن در نقشه شکل شماره ۱۳ نشان داده شده است. این نقشه در مقایسه با شکل ۱۲، نشان می‌دهد که در زمان بارندگی شدید، یک ناحیه تجمع جریان با تغییرات دامنه سریع در شاخه جنوبی ایجاد شده و قوی‌ترین و پرحجم‌ترین جریان سیل پس از نقطه اتصال شاخه‌های رودخانه رخ می‌دهد که کاملاً با واقعیت‌های محلی مطابقت دارد.

با توجه به نکات ذکر شده در بالا، میتوان گفت در صورت عدم وجود شاخه جنوبی، سیل‌های ویرانگر در محدوده شهر سیرچ ایجاد نخواهد شد و در صورت بروز بارندگی سیل‌آسا نیز کانال موجود قابلیت انتقال حجم آب سیل را داشته و خسارتی به شهر سیرچ نخواهد رسید. بر این اساس در مدیریت سیل و کاهش خسارات ناشی از آن در محدوده شهر سیرچ، مهار شاخه جنوبی رودخانه اهمیت بسیار بالاتری از مهار شاخه شمالی آن دارد.



شکل ۱۲: نقشه نواحی تجمع سیلاب پس از کاهش وزن لایه زمین شناسی



شکل ۱۳: نقشه نواحی تجمع سیلاب پس از افزایش وزن لایه زمین شناسی

#### ۴- نتیجه گیری

موضوع اصلی این پژوهش مطالعه سیل سالانه در منطقه گردشگری سیرچ در شرق کرمان و جنوب شرق ایران است. برای بررسی علل وقوع سیل در منطقه مورد مطالعه، داده‌های ژئومورفولوژی و زمین شناسی منطقه از تصاویر Landsat 8، مدل رقومی ارتفاعی SRTM و کار میدانی جمع آوری شده است. هر عامل بصورت یک لایه اطلاعاتی در آمده و وزن لایه‌ها از طریق نظر سنجی از متخصصین بدست آمده است. فرایند تلفیق داده‌ها در سیستم AHP برای تصمیم گیری نهایی و بررسی سیل و نواحی سیل گیر استفاده شده است. مطالعات و مدل سازی‌ها و مشاهدات میدانی نشان می‌دهد که علت اصلی وقوع سیلاب‌های منحصر به فرد در منطقه مورد مطالعه، زمین شناسی نیمه جنوبی حوضه آبخیز سیرچ است. در این قسمت از حوضه، شیل‌های غیر قابل نفوذ، سست و فرسایش پذیر با پوشش گیاهی ضعیف غالب بوده که این نهشته‌ها در هنگام بارش‌ها به فرسایش بسیار حساس هستند. در واقع در بارندگی‌های فصلی شدید، شاخه جنوبی رودخانه بیدار شده که حاصل آن رواناب‌هایی با بار رسوبی سنگین می‌باشد. در اثر امتزاج این جریانات غنی از رسوبات با جریان شاخه شمالی در نقطه اتصال شاخه‌های شمالی و جنوبی رودخانه، سیل عظیم و قدرتمندی آغاز گردیده که به دلیل چگالی بالا قدرت تخریب زیادتری هم دارد.

افزایش بار رسوبی باعث افزایش حجم سیل، افزایش آب گرفتگی، ته نشینی لایه ضخیم گلی پس از فرو نشست سیل و همچنین افزایش قدرت تخریب و ضربه زنی جریان سیل از طریق افزایش چگالی سیل می‌گردد. بنابراین احداث سدهای رسوب گیر یا دیگر سازه های سیل بند و اصلاح پوشش گیاهی در شاخه جنوبی رودخانه می‌تواند کمک شایانی در مدیریت و کاهش خطرات سیلاب در منطقه سیرچ بنماید. در این زمینه، با توجه به وقوع بارندگی‌ها و وقوع سیل در فصل بهار که اوج مراجعه گردشگران به ناحیه گردشگری سیرچ می‌باشد، پیشنهاد می‌گردد تا مطالعاتی تکمیلی و امکان سنجی جهت ایجاد سیستم هشدار سیل در ناحیه توسط محققین متخصص در این امر به انجام برسد.

#### ۵- تشکر و قدردانی

نویسنده از جناب آقای مهندس اصغر طیبیان و سرکار خانم دکتر ندا طیبیان که در تهیه داده های بارندگی و محاسبه بارندگی های دوره‌ای کمک شایانی نموده اند قدردانی می‌نماید.

#### ۶- منابع

1. Ajin, R., et al., *Flood hazard assessment of Vamanapuram River basin, Kerala, India: an approach using remote sensing & GIS techniques*. Advances in Applied Science Research, 2013. 4(3): p. 263-274.
2. AR., A.-A., et al., *Assessment analysis of flood susceptibility in Tropical Desert area: a case study of Yemen*. Remote Sensing, 2022. 14(16): p. 4050-4078.
3. Haq, M., et al., *Techniques of remote sensing and GIS for flood monitoring and damage assessment: a case study of Sindh province, Pakistan*. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 2012. 15(2): p. 135-141.
4. Isma'il, M. and I. Saanyol, *Application of remote sensing (RS) and geographic information systems (GIS) in flood vulnerability mapping: case study of River Kaduna*. International Journal of Geomatics and Geosciences, 2013. 3(3): p. 618-627.
5. Kourgialas, N. and G. Karatzas, *Flood management and a GIS modelling method to assess flood-hazard areas—a case study*. Hydrological Sciences Journal—Journal des Sciences Hydrologiques, 2011. 56(2): p. 212-225.

6. Sinha, R., et al., *Flood risk analysis in the Kosi River Basin, north Bihar using multi-parametric approach of analytical hierarchy process (AHP)*. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2008. **36**: p. 335-349.
7. Uddin, K., et al., *Application of remote sensing and GIS for flood hazard management: a case study from Sindh Province, Pakistan*. American Journal of Geographic Information System, 2013. **2**(1): p. 1-5.
8. Youssef, A.M. and M.A. Hegab, *Flood-hazard assessment modeling using multicriteria analysis and GIS: a case study—Ras Gharib Area, Egypt*. Spatial modeling in GIS and RS for earth and environmental sciences, 2019. **1**: p. 229-257.
9. Boroumandi, M., M. Khamchian, and M. Nikoudel, *Using of analytic hierarchy process for landslide hazard zonation in Zanjan province, Iran*, in *Engineering Geology for Society and Territory*. 2015 Springer International Publishing: Berlin.
۱۰. خیری زاده، م.، ملکی، ج.، عمونیا، ح.، پهنه بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب در حوضه ی آبریز مردق چای با استفاده از مدل ANP پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، ۱۳۹۵. ۱(۳): ص. ۳۹-۵۶.
۱۱. چابک بلداجی، م.، حسن زاده نفوتی، م.، ابراهیمی خوسفی، ز.، مکانیابی عرصه پخش سیلاب با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) (مطالعه موردی حوزه آبخیز عشق آباد طبس). علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱۳۹۸. ۴(۱۳): ص. ۳۱-۳۸.
۱۲. قنواتی، ع.، صفاری، ا.، بهشتی جاوید، ا.، منصوریان، ا.، پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی با استفاده از تلفیق مدل هیدرولوژیکی CN و AHP در محیط GIS مطالعه موردی: حوضه رودخانه بالخلو. جغرافیای طبیعی، ۱۳۹۳. ۷۷(۲۵): ص. ۶-۸۰.
۱۳. میرموسوی، س.ح.، اسمعیلی، ح.، پهنه بندی نواحی سیل خیز با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS)، مطالعه موردی: شهرستان داراب. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۴۰۰. ۱۰(۲۷): ص. ۲۱-۴۶.
۱۴. ملکیان، آ.، افتادگان خوزانی، ا.، عشوری نژاد، غ.، پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی حوزه ی آبخیز اخترآباد با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی. پژوهش های جغرافیای طبیعی، ۱۳۹۱. ۴۴(۴): ص. ۱۳۱-۱۵۲.
۱۵. اکرمی مقدم، ب.، ایلخانی پور زینالی، ر.، نیک مهر، س.، پهنه بندی پتانسیل سیل گیری با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی در استان کردستان. محیط زیست و مهندسی آب، ۱۴۰۳. ۱۰(۱): ص. ۹۳-۹۷.
۱۶. حاتمی نژاد، آتش افروز، آروین، م.، پهنه بندی خطر سیل با استفاده از تحلیل چندمعیاره و GIS مطالعه موردی: شهرستان ایزد. فصلنامه علمی دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۱۳۹۶. ۷(۲): ص. ۴۴-۵۷.
۱۷. حسن زاده نفوتی، م. و ح. خواجه بافقی، پهنه بندی خطر سیلاب با استفاده از سیستم تصمیم گیری چندمعیاره (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شیطان بافق). ژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱۳۹۵. ۷(۱۴): ص. ۲۹-۳۷.
۱۸. حمیدی، ن.، وفاخواه، م.، نجفی، ا.، تهیه نقشه خطرپذیری سیلاب در حوزه آبخیز شهری نور با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و منطق فازی. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱۳۹۵. ۷(۱۴): ص. ۱۱-۱۹.
19. Armenakis, C., et al., *Flood risk assessment in urban areas based on spatial analytics and social factors*. Geosciences, 2017. **7**(4): p. 123-138.
20. Brandt, S., *Modeling and visualizing uncertainties of flood boundary delineation: algorithm for slope and DEM resolution dependencies of 1D hydraulic models*. Stochastic environmental research and risk assessment, 2016. **30**(6): p. 1677-1690.
21. Chignell, S., et al., *Multi-temporal independent component analysis and Landsat 8 for delineating maximum extent of the 2013 Colorado front range flood*. Remote Sensing, 2015. **7**(8): p. 9822-9843.

22. Costache, R., et al., *Flash-flood susceptibility assessment using multi-criteria decision making and machine learning supported by remote sensing and GIS techniques*. Remote Sensing, 2019. **12**(1): p. 15-31.
23. Courty, L., J. Soriano-Monzalvo, and A. Pedrozo-Acuña, *Evaluation of open-access global digital elevation models (AW3D30, SRTM, and ASTER) for flood modelling purposes*. Journal of Flood Risk Management, 2019. **12**: p. e12550.
24. Das, S., *Geographic information system and AHP-based flood hazard zonation of Vaitarna basin, Maharashtra, India*. Arabian Journal of Geosciences, 2018. **11**(19): p. 576-583.
25. Domeneghetti, A., *On the use of SRTM and altimetry data for flood modeling in data-sparse regions*. 2016. Water Resources Research, 2016. **52**(4): p. 2901-2918.
26. Ekeu-Wei, I. and G. Blackburn, *Applications of open-access remotely sensed data for flood modelling and mapping in developing regions*. Hydrology 2018. **5**(3): p. 39-51.
27. Ho, L., M. Umitsu, and Y. Yamaguchi, *Flood hazard mapping by satellite images and SRTM DEM in the Vu Gia–Thu Bon alluvial plain, Central Vietnam*. International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information science, 2010. **38**(8): p. 275-280.
28. Ireland, G., M. Volpi, and G. Petropoulos, *Examining the capability of supervised machine learning classifiers in extracting flooded areas from Landsat TM imagery: a case study from a Mediterranean flood*. Remote sensing, 2015. **7**(3): p. 3372-3399.
29. Jafarzadegan, K. and V. Merwade, *A DEM-based approach for large-scale floodplain mapping in ungauged watersheds*. Journal of Hydrology, 2017. **550**: p. 650-662.
30. Kvočka, D., R. Falconer, and M. Bray, *Appropriate model use for predicting elevations and inundation extent for extreme flood events*. Natural Hazards, 2015. **79**: p. 1791-1808.
31. Opolot, E., *Application of remote sensing and geographical information systems in flood management: a review*. Research Journal of Applied Science Engineering and Technology, 2013. **6**: p. 1884–1894.
32. Patel, D. and P. Srivastava, *Flood hazards mitigation analysis using remote sensing and GIS: correspondence with town planning scheme*. Water resources management, 2013. **27**(7): p. 2353-2368.
33. Rahman, M. and L. Di, *The state of the art of spaceborne remote sensing in flood management*. Natural Hazards, 2017. **85**: p. 1223-1248.
34. Samansiri, S., T. Fernando, and B. Ingirige, *Advanced technologies for offering situational intelligence in flood warning and response systems: A literature review*. Water, 2022. **14**(13): p. 2091-2112.
35. Shafapour Tehrany, M. and L. Kumar, *The application of a Dempster–Shafer-based evidential belief function in flood susceptibility mapping and comparison with frequency ratio and logistic regression methods*. Environmental earth sciences, 2018. **77**: p. 1-24.
36. Shafapour Tehrany, M., B. Pradhan, and M. Jebur, *Spatial prediction of flood susceptible areas using rule-based decision tree (DT) and a novel ensemble bivariate and multivariate statistical models in GIS*. Journal of hydrology, 2013. **504**: p. 69-79.

37. Shafapour Tehrani, M., et al., *GIS-based spatial prediction of flood prone areas using standalone frequency ratio, logistic regression, weight of evidence and their ensemble techniques*. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 2017. **8**(2): p. 1538-1561.
38. Siddayao, G., S.E. Valdez, and P. Fernandez, *Analytic hierarchy process (AHP) in spatial modeling for floodplain risk assessment*. *International Journal of Machine Learning and Computing*, 2014. **1**(5): p. 450-461.
39. SMJS., S., et al., *Application of remote sensing and GIS for flood risk analysis: a case study at Kalu-Ganga River, Sri Lanka*. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science* 2010. **38**(8): p. 110-115.
40. Swain, K., C. Singha, and L. Nayak, *Flood susceptibility mapping through the GIS-AHP technique using the cloud*. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2020. **9**(12): p. 720-735.
41. V., M., A. Cook, and J. Coonrod, *GIS techniques for creating river terrain models for hydrodynamic modeling and flood inundation mapping*. *Environmental Modelling & Software*, 2008. **23**(10-11): p. 1300-1311.
42. Wang, X. and H. Xie, *A review on applications of remote sensing and geographic information systems (GIS) in water resources and flood risk management*. *Water* 2018. **10**(5): p. 608-618.
43. Yan, K., G. Di Baldassarre, and D. Solomatine, *Exploring the potential of SRTM topographic data for flood inundation modelling under uncertainty* *Journal of hydroinformatics*, 2013. **15**(3): p. 849-861.
44. Yan, K., et al., *Exploring the potential of SRTM topography and radar altimetry to support flood propagation modeling: Danube case study*. *Journal of Hydrologic Engineering*, 2015. **20**(2): p. 4041-4048.
45. Davenport, F., M. Burke, and N. Duffenbaugh, *Contribution of historical precipitation change to US flood damages*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2021. **118**(4): p. 2017524118.
46. Bennett, B., et al., *An empirical investigation into the effect of antecedent precipitation on flood volume*. *Journal of hydrology*, 2018. **567**: p. 435-450.
47. Powell, S., A. Jakeman, and B. Croke, *Can NDVI response indicate the effective flood extent in macrophyte dominated floodplain wetlands?* *Ecological indicators*, 2014. **45**: p. 486-493.
48. O'Connor, J., G. Grant, and J. Costa, *The geology and geography of floods*. *Ancient floods, modern hazards: Principles and applications of paleoflood hydrology*, 2002. **5**: p. 359-385.
49. Guo, X., et al., *Failure process of a lateral slope deposit and its effect on debris flood formation*. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 2022. **81**(8): p. 324-330.