




Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی و ششم، زمستان ۱۳۹۹


صص ۲۳-۱

 <https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.66986.0>

مقاله پژوهشی

تحلیل پتانسیل سیل خیزی حوضه آبریز قره‌سو در استان کرمانشاه

غلامرضا محمدی - دانشجوی دکتری تخصصی آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

 رضا برنا^۱ - دانشیار گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

فریده اسدیان - استادیار گروه جغرافیا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۵ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۹/۷ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۰/۱۵

چکیده

سیلاب یکی از بزرگ‌ترین مشکلات جهانی است به طوری که با افزایش شدت و فراوانی سیل، نگرانی‌های جهانی در خصوص افزایش مرگ‌ومیر و ضررهای اقتصادی ناشی از سیل افزایش یافته است. در این تحقیق با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های ایستگاه سینوپتیک، تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و روش تلفیق لایه‌ها (WLC) پتانسیل سیل خیزی حوضه آبریز قره‌سو مدل‌سازی شده است. نقشه نهایی خطر سیل خیزی بر پایه ترکیبی از عوامل و عناصر اقلیمی و فیزیکی یعنی ۱۰ عامل پوشش گیاهی، ارتفاع، مسیل سیلابی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، بارش، فاصله از رودخانه، شیب، خاک و تراکم زهکشی تهیه شد. وزن هر یک از معیارها با روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و جهت مدل‌سازی فضایی و تلفیق لایه‌ها برای تهیه نقشه پتانسیل سیل خیزی از روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) استفاده گردید. نتایج حاصل از پهنه‌بندی ریسک سیل خیزی نشان داد که طبقه ۴ به‌عنوان رده‌ای با خطر زیاد با ۲۱/۷ درصد و طبقه ۵ نیز با پتانسیل سیل خیزی خیلی زیاد با ۸/۴ درصد، بیشتر در مناطق کوهستانی شمال و مرکز منطقه واقع هستند که در مجموع حدود ۳۱ درصد از محدوده حوضه آبریز را پهنه‌های سیل خیز خطرپذیر زیاد تا خیلی زیاد در بر گرفته است و به دلیل اینکه بیشترین نقش را در تولید رواناب دارند، باید از نظر مدیریت آبخیزداری مورد توجه ویژه باشند. طبقات یک تا سه با پتانسیل سیل خیزی کم تا متوسط با قرارگیری در مناطق کم ارتفاع، دامنه و دشت‌های مرکز، جنوب و غرب حوضه قرار گرفته‌اند و بیش از ۶۹ درصد از منطقه را در بر گرفته‌اند.

کلیدواژه‌ها: سیل خیزی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، تحلیل سلسله مراتبی، قره‌سو

۱- مقدمه

سیلاب مهم‌ترین مخاطرات در سطح جهان است که سبب خسارات زیادی به بخش کشاورزی، شیلات، مسکن و زیرساخت‌ها می‌گردد و به شدت روی فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی تأثیر می‌گذارد (چانگ^۱ و همکاران، ۲۰۰۸). به طوری که سیلاب حدود ۴۰ درصد از آمار مرگ‌ومیرهای ناشی از بلایای طبیعی را در بر می‌گیرد و فقط در آخرین دهه قرن بیستم، مرگ حدود ۱۰۰ هزار نفر را رقم زد و زندگی حدود ۱,۴ میلیارد نفر را تحت تأثیر قرار داد (ازمونه و امربی^۲، ۲۰۱۲). با افزایش شدت و فراوانی رخدادهای سیل، نگرانی‌های جهانی در خصوص افزایش مرگ‌ومیر و ضررهای اقتصادی ناشی از آن افزایش یافته است (سرحدی^۳ و همکاران، ۲۰۱۲). موکاند^۴ و همکاران (۲۰۱۱) در ویتنام با استفاده از روش AHP و کمی‌سازی میزان تأثیر عوامل مؤثر در سیل خیزی، به شناسایی عوامل مؤثر در خطر سیلاب پرداختند. سائینی و کائوشیک^۵ (۲۰۱۲) در هند با استفاده از تکنیک GIS و روش مجموع رتبه‌ها ابتدا با در نظر گرفتن وزنی برای عوامل هیدرولوژی، شیب، نوع خاک، تراکم زهکشی و پوشش زمین نقشه خطر سیل را در سه کلاس تهیه کردند. کین^۶ و همکاران (۲۰۱۱) در بزرگراه‌های منطقه فیولینگ چین با توجه به معیارهای زمین-شناسی، شدت بارش، فراوانی سیلاب، ژئومورفولوژی و پوشش گیاهی، به پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی پرداختند. میر^۷ و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیقی با استفاده از رویکرد چندمعیاره به تهیه نقشه ریسک سیل خیزی برای رودخانه مولد در آلمان اقدام کردند. در این مطالعه از دو قانون تصمیم‌گیری چندمعیاره مختلف و یک رویکرد اضافه وزن‌دار، برای ارزیابی خطر سیل در منطقه استفاده شده است. چیروبی^۸ و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی خطر جاری شدن سیلاب‌های شهری و تعیین عوامل مؤثر در کاهش خطر سیل در بوردو فرانسه پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که رفتار انسان با محیط یکی از عوامل در ایجاد یا کنترل سیلاب می‌تواند باشد. همچنین عوامل محیطی و انسداد در شبکه‌های فاضلاب‌های شهری از عوامل تأثیرگذار هستند. پورتیکویس مولا^۹ و همکاران (۲۰۱۶) بر اساس یک مدل مبتنی بر GIS به تجزیه و تحلیل واکنش هیدروژئومورفیک سیلاب ناگهانی ۱۹۵۷ شهر والنسیای اسپانیا پرداختند. بر اساس یافته‌های دارند و پژوه^{۱۰} (۲۰۱۹) سامانه‌های کم‌فشار عربستان و مدیترانه در

1 Chang

2 Ezemonye and Emeribe

3 Sarhadi

4 Mukand

5 Saini and Kaushik

6 Qin

7 Meyer

8 Cherqui

9 Portugués-Mollá

10 Darnd and Pzhoh

سطح زمین بیشترین نقش را در وقوع بارش‌های فراگیر، شدید و بادوام ایران دارند و نیمه غربی و جنوب غربی ایران منطبق بر رشته‌کوه‌های زاگرس بیشینه تمرکز این گونه بارش‌ها را به خود اختصاص داده‌اند.

تفقیان و قرمز چشمه (۱۳۸۷) با بررسی سیل خیزی زیرحوضه‌های رود زرد در جنوب غرب ایران، عنوان کرده‌اند که عواملی چون نوع خاک، پوشش گیاهی، فاصله از خروجی و برخی پارامترهای فیزیکی از عوامل تأثیرگذار روی سیل خیزی زیر حوضه‌هاست. نجفی و نصری (۱۳۸۸) در حوضه اصفهان و سیرجان به این نتیجه رسیده‌اند که به ترتیب عوامل زمان تمرکز، شیب سطح حوضه و تراکم زهکشی آبراهه‌های درجه ۱ بیش‌ترین تأثیر را در ایجاد یا تشدید دبی‌های سیلابی دارند. امیدوار و کیانفر (۱۳۸۹) در حوضه آبخیز کنجانچم در استان ایلام با استفاده از نرم‌افزار ARCGIS و در نظر گرفتن ۲۸ پارامتر ژئومتری، فیزیوگرافی، نفوذپذیری و اقلیمی نقشه سیل خیزی را تهیه کردند. علایی طالقانی و همایونی (۱۳۹۰) با در نظر گرفتن ۱۴ عامل مؤثر در تولید رواناب و همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی در محیط GIS حوضه دینور در شمال شرق استان کرمانشاه را به ۵ پهنه تولید سیلاب بالا، نسبتاً بالا، متوسط، نسبتاً کم و کم طبقه‌بندی کردند. ملکیان و همکاران (۱۳۹۱)، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی حوضه آبریز اخترآباد اقدام کردند. آن‌ها نخست عوامل مؤثر در پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی را شناسایی و وزن هرکدام از معیارها را با استفاده از نظر کارشناسان، از طریق فرآیند سلسله مراتبی فازی محاسبه کردند. سپس برای طبقه‌بندی پتانسیل سیل خیزی منطقه، نقشه نهایی به دست آمده از منطقه را در هفت کلاس طبقه‌بندی کردند که مناطق پرخطر در کلاس اول، و مناطق کم‌خطر را در کلاس هفتم تشکیل می‌دادند. نسرين‌نژاد و همکاران (۱۳۹۳) پتانسیل سیل خیزی حوضه آبریز باغان در جنوب استان فارس را با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) مورد بررسی قرار دادند. در نتایج خود دریافتند که ۲۲ درصد از محدوده حوضه آبریز باغان در کلاس ۱ و ۲ یعنی پتانسیل سیل خیزی بسیار زیاد در مناطق کوهستانی قرار گرفته‌اند. مناطق با پتانسیل کم سیل خیزی با ۷۸ درصد در دامنه‌ها و دشت‌ها قرار گرفته‌اند. عابدینی و فتحی (۱۳۹۵) در پهنه‌بندی خطر وقوع سیل در حوضه آبریز کرگانرود به این نتیجه رسیدند که بیش از ۵۵ درصد از سطح حوضه را طبقه خطر زیاد و نسبتاً زیاد در بر می‌گیرد و به دلیل برخورداری از متوسط بارندگی سالانه ۱۰۵۸ میلی‌متر، شیب زیاد، سازندهای نفوذناپذیر و داشتن شکلی دیواره‌وار از قابلیت سیل خیزی نسبتاً زیادی برخوردار است. نظافتی نمین و خوش ولد (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای به بررسی ویژگی‌های سیلاب‌های شهری بالخلوچای اردبیل با دوره‌های بازگشت مختلف پرداختند. نتایج نشان داد که سیلاب‌های حتی با دوره برگشت ۱۰ ساله می‌تواند در بخش‌های زیادی از اردبیل، باعث بروز خسارت شود. همچنین با استفاده از نتایج این تحقیق می‌توان مدیریت سیلاب را در نقاط پرخطر این مسیل اعمال نمود.

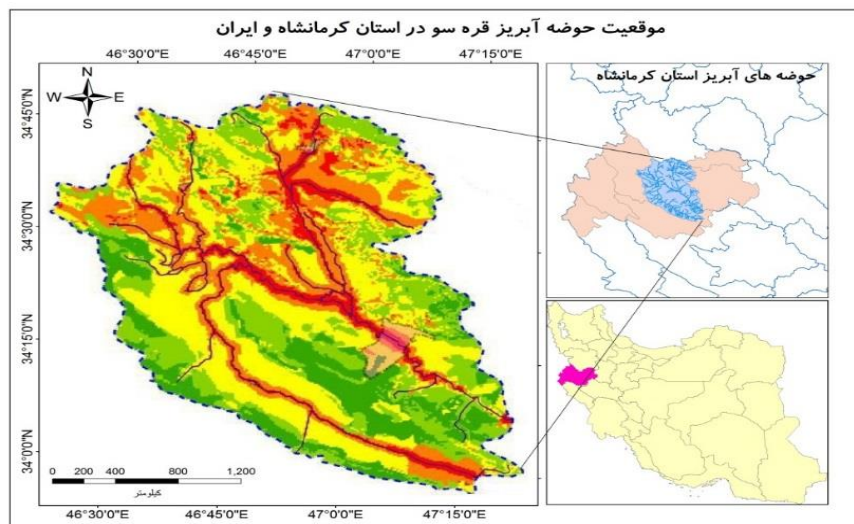
همان‌طور که در بخش قبلی آمده است، مطالعات بسیاری در زمینه ارزیابی پتانسیل سیل خیزی انجام شده است. در این مطالعات دو رویکرد غالب مشاهده می‌شود. یک، رویکرد آماری که با استفاده از پارامترهای تخصصی مربوط

به ویژگی‌های حوضه آبریز و داده‌های هواشناسی انجام می‌گیرد و رویکرد دوم در بستر سیستم اطلاعات جغرافیایی و با استفاده از داده‌ها و اطلاعات مکانی انجام می‌شود و نتیجه آن به صورت پهنه‌بندی است. در این مطالعه با توجه به سیلاب‌های سال‌های گذشته در استان کرمانشاه و خسارت‌های فراوان، تلاش بر این است تا بر اساس رویکرد دوم و معیارهای مکانی و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، پتانسیل سیل‌خیزی در حوضه آبریز قره‌سو استان کرمانشاه مورد ارزیابی قرار بگیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز قره‌سو با مختصات جغرافیایی ۳۴ درجه و صفر دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۳۴ درجه و ۵۴ ثانیه عرض شمالی و ۴۶ درجه ۲۲ دقیقه تا ۴۷ درجه ۲۲ دقیقه طول شرقی در استان کرمانشاه و در غرب ایران، واقع شده است. این حوضه با ایستگاه هیدرومتری قورباغستان در خروجی آن، از زیرحوضه‌های مهم حوضه آبخیز کرخه است و در شمال غربی آن قرار دارد. مساحت آن ۵۲۷۸ کیلومتر مربع و حداکثر و حداقل ارتفاع آن به ترتیب ۳۳۶۰ و ۱۲۷۰ متر است. متوسط بارندگی سالیانه این حوضه بسیار متغیر و بین ۳۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر است. سه رودخانه اصلی مرک، قره‌سو و رازآور در این حوضه جریان دارند. شکل ۱ موقعیت حوضه آبخیز قره‌سو در ایران و استان کرمانشاه و شبکه آبراهه‌ها را نشان می‌دهد. در سال‌های گذشته سیل‌های زیادی در این حوضه اتفاق افتاده است که موجب خسارات فراوانی شده است. از جمله در سال ۱۳۹۸ که میلیاردها تومان خسارات به زمین‌های کشاورزی، زیرساخت‌ها و آثار تاریخی و باستانی وارد کرد.

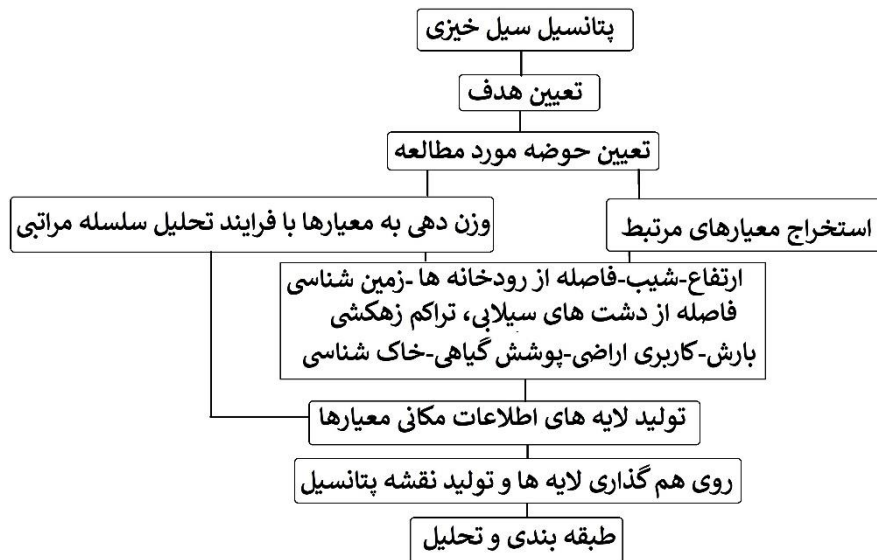


شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

۲-۲- روش

۲-۲-۱- تعیین پتانسیل سیل خیزی حوضه آبریز قره‌سو

در شکل زیر چهارچوب روش پژوهش نشان داده شده است.



شکل ۲- فلوچارت فرایند تحقیق

همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، در این تحقیق به منظور ارزیابی پتانسیل سیل خیزی ابتدا معیارهای مربوطه بر اساس مطالعات پیشین انتخاب شده و سپس بر اساس نظریات کارشناسی و با استفاده از تکنیک فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، وزن‌دهی و در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی نقشه پهنه‌بندی سیل خیزی تولید شد. برای این منظور ۱۰ معیار شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، بارش، رودخانه، مسیل‌های سیلابی، تراکم شبکه، کاربری اراضی و پوشش گیاهی که عوامل مؤثر در تولید سیل به شمار می‌روند، در نظر گرفته شد (جدول ۱). جهت مدل‌سازی فضایی و تلفیق لایه‌ها برای تهیه نقشه پتانسیل سیل خیزی از روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) استفاده شده است.

جدول ۱- متغیرهای مورد استفاده جهت تعیین پتانسیل سیل خیزی حوضه آبریز قره‌سو در استان کرمانشاه

| ردیف | معیار | منبع داده | مقیاس | مطالعات مرجع |
|------|------------|------------|----------|----------------------------|
| ۱ | فیزیوگرافی | ارتفاع | ۹۰ متر | نسرین نژاد و همکاران، ۱۳۹۳ |
| ۲ | | شیب | ۹۰ متر | کرم و بدخشان، ۱۳۹۱ |
| ۳ | ژئولوژی | زمین‌شناسی | ۱/۲۵۰۰۰۰ | کرم و بدخشان، ۱۳۹۱ |

| ردیف | معیار | منبع داده | مقیاس | مطالعات مرجع |
|------|-----------------|----------------------------|----------|----------------------------|
| ۴ | خاک شناسی | موسسه تحقیقات خاک و آب | ۱/۲۵۰۰۰۰ | کرم و بدخشان، ۱۳۹۱ |
| ۵ | بارش | سازمان هواشناسی کشور | ۹۰ متر | کرم و بدخشان، ۱۳۹۱ |
| ۶ | رودخانه | اداره منابع آب کشور | ۱/۲۵۰۰۰۰ | نسرین نژاد و همکاران، ۱۳۹۳ |
| ۷ | مسیل های سیلابی | اداره منابع آب کشور | ۱/۲۵۰۰۰۰ | نسرین نژاد و همکاران، ۱۳۹۳ |
| ۸ | تراکم شبکه زهکش | استخراج از لایه رودخانه ها | ۱/۲۵۰۰۰۰ | کرم و بدخشان، ۱۳۹۱ |
| ۹ | کاربری اراضی | سازمان نقشه برداری کشور | ۱/۲۵۰۰۰۰ | نسرین نژاد و همکاران، ۱۳۹۳ |
| ۱۰ | پوشش گیاهی | سازمان جنگل ها و مراتع | ۱/۲۵۰۰۰۰ | کرم و بدخشان، ۱۳۹۱ |

۲-۲-۲- فرایند سلسله مراتبی AHP

AHP را می توان به عنوان روشی برای وزن دهی یا رتبه بندی معیارها در فرایند تصمیم گیری شناخت. اگرچه در سه دهه گذشته اغلب از GIS به عنوان سیستم پشتیبان تصمیم گیری نام برده می شود، اما همیشه بر سر این موضوع که آیا این سیستم از قابلیت های سیستم پشتیبان تصمیم گیری مناسب بهره کافی می برد، بحث است. از آنجایی که GIS های فعلی دارای نسخه های قوی سیستم های پشتیبان تصمیم گیری نیستند، لذا باید اصولی را به کار گیرند تا بتوانند این ابزار را برای تصمیم گیری و قضاوت آماده نمایند. از دیگر محدودیت های این سیستم ها تلفیق و یکپارچه سازی سیستم های اطلاعات جغرافیایی با ارجحیت ها، در تصمیم گیری ها است. (احمدی زاده، بنای رضوی ۱۳۹۱) برای ارزیابی پتانسیل سیل خیزی در این تحقیق از فرایند سلسله مراتبی استفاده شده است. بر این اساس مراحل زیر به منظور توسعه پروسه تصمیم گیری فوق طی می گردد.

- شناسایی و تشکیل معیارها با استفاده از GIS
- ایجاد ساختار سلسله مراتبی
- تعیین ارزش گزینه ها به ازای معیارها و ایجاد ماتریس تصمیم
- بی مقیاس کردن ماتریس تصمیم
- وزن دهی معیارها و نرمالیزه نمودن اوزان آن ها
- اعمال تابع تجمعی AHP و تصمیم گیری نهایی (میرزا پور و همکاران، ۱۳۹۲)

۲-۲-۳- روش ترکیب خطی وزنی (WLC)

رایج ترین تکنیک در تحلیل ارزیابی چندمعیاره است. اساس این روش بر مبنای میانگین وزنی است و تصمیم گیرنده مستقیماً بر مبنای اهمیت نسبی معیارها، وزن هایی به آن ها می دهد. سپس با ضرب وزن نسبی در مقدار آن معیار، یک وزن نهایی برای هر گزینه به دست می آید. پس از به دست آمدن وزن نهایی گزینه ها، گزینه ای که

بیشترین مقدار را داشته باشد، مناسب‌ترین گزینه برای هدف موردنظر خواهد بود. تکنیک WLC یکی از روش‌های ارزیابی چند معیاره MCE است که مطابق معادله (۱) محاسبه می‌گردد:

$$S = \sum wixi \quad (1)$$

که در آن S معرف xi تناسب سرزمین، wi وزن فاکتور نام و xi معرف محدودیت نام است. در این پژوهش تکنیک WLC در محیط Arc GIS و با استفاده از تابع Raster Calculator انجام شده است.

۳- نتایج

در این بخش نتایج تحقیق به ترتیب ارائه می‌شوند. در ابتدا لایه‌های مورد استفاده و اوزان آن‌ها که بر اساس AHP به دست آمده است در جدول ۲ نشان داده شده است. جدول (۲) وزن معیارهای مورد استفاده در تعیین پتانسیل سیل خیزی، درصد مساحت و امتیاز هر طبقه را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج حاصل از روش AHP، متغیرهای شیب، فاصله از رودخانه و پوشش گیاهی به‌طور برابر با ۰,۱۳، بیشترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند. متغیر زمین‌شناسی نیز کمترین وزن را در میان متغیرهای مورد بررسی داشته است.

جدول ۲- وزن معیارهای مورد استفاده در تعیین پتانسیل سیل خیزی

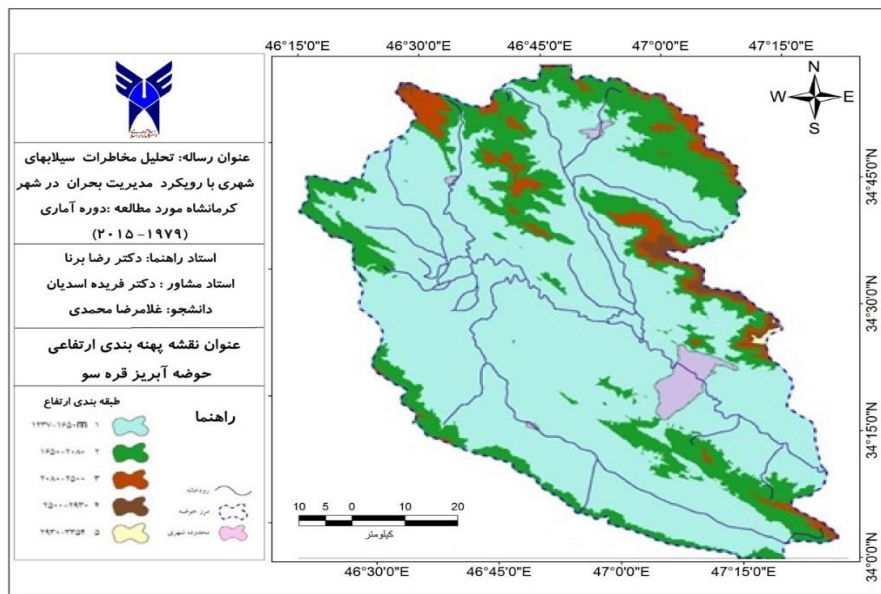
| ردیف | وزن معیار | معیار | طبقه | امتیاز* |
|------|-----------|------------|---------------------------|---------|
| ۱ | ۰,۱۳ | پوشش گیاهی | کمتر از ۲۵ درصد | ۴ |
| | | | ۲۵ تا ۵۰ درصد | ۳ |
| | | | بیشتر از ۵۰ درصد | ۱ |
| | | | پوشش جنگلی | ۲ |
| | | | کشاورزی | ۵ |
| ۲ | ۰,۰۸ | خاک‌شناسی | Rock Outcrops/Entisols | ۴ |
| | | | Rock Outcrops/Inceptisols | ۳ |
| | | | Inceptisols | ۱ |
| | | | Inceptisols/Vertisols | ۲ |
| ۳ | ۰,۰۵ | زمین‌شناسی | II-III | ۱ |
| | | | IV | ۲ |
| | | | V | ۳ |
| | | | VI | ۴ |
| | | | VII | ۵ |
| ۴ | ۰,۱۳ | شیب | ۱۲-۰ | ۱ |
| | | | ۲۴-۱۲ | ۲ |
| | | | ۳۶-۲۴ | ۳ |

| ردیف | وزن معیار | معیار | طبقه | امتیاز* |
|------|-----------|--------------------------|-------------------------|---------|
| | | | ۴۸-۳۶ | ۴ |
| | | | ۶۶-۴۸ | ۵ |
| ۵ | ۰,۱۲ | ارتفاع | ۱۶۵۰ | ۱ |
| | | | ۲۰۸۰ | ۲ |
| | | | ۲۵۰۰ | ۳ |
| | | | ۲۹۳۰ | ۴ |
| | | | ۳۳۵۴ | ۵ |
| ۶ | ۰,۱۳ | فاصله از رودخانه | ۱۰۰ | ۵ |
| | | | ۳۰۰ | ۴ |
| | | | ۱۰۰۰ | ۳ |
| | | | ۱۰۰۰۰ | ۲ |
| | | | ۱۷۸۰۰ | ۱ |
| ۷ | ۰,۱۲ | فاصله از مسیل های سیلابی | ۵۰۰ | ۵ |
| | | | ۱۰۰۰ | ۴ |
| | | | ۵۰۰۰ | ۳ |
| | | | ۱۰۰۰۰ | ۲ |
| | | | ۲۴۴۰۰ | ۱ |
| ۸ | ۰,۰۹ | بارش | ۴۲۴ | ۱ |
| | | | ۴۶۸ | ۲ |
| | | | ۵۱۱ | ۳ |
| | | | ۵۵۵ | ۴ |
| | | | ۵۹۹ | ۵ |
| ۹ | ۰,۰۷ | تراکم شبکه | ۰,۰۱ | ۱ |
| | | | ۰,۱ | ۲ |
| | | | ۰,۱۵ | ۳ |
| | | | ۰,۲ | ۴ |
| | | | ۰,۳ | ۵ |
| ۱۰ | ۰,۰۸ | کاربری اراضی | جنگل و باغ | ۱ |
| | | | کشاورزی-مراعات خوب | ۲ |
| | | | کاربری ترکیبی | ۳ |
| | | | شهر-مراعات فقیر-سنگلاخی | ۴ |
| | | | بایر-مسیل-تالاب | ۵ |

*امتیاز ۱ مربوط به کمترین پتانسیل سیل خیزی و ۵ بیشترین پتانسیل سیل خیزی است.

ارتفاع

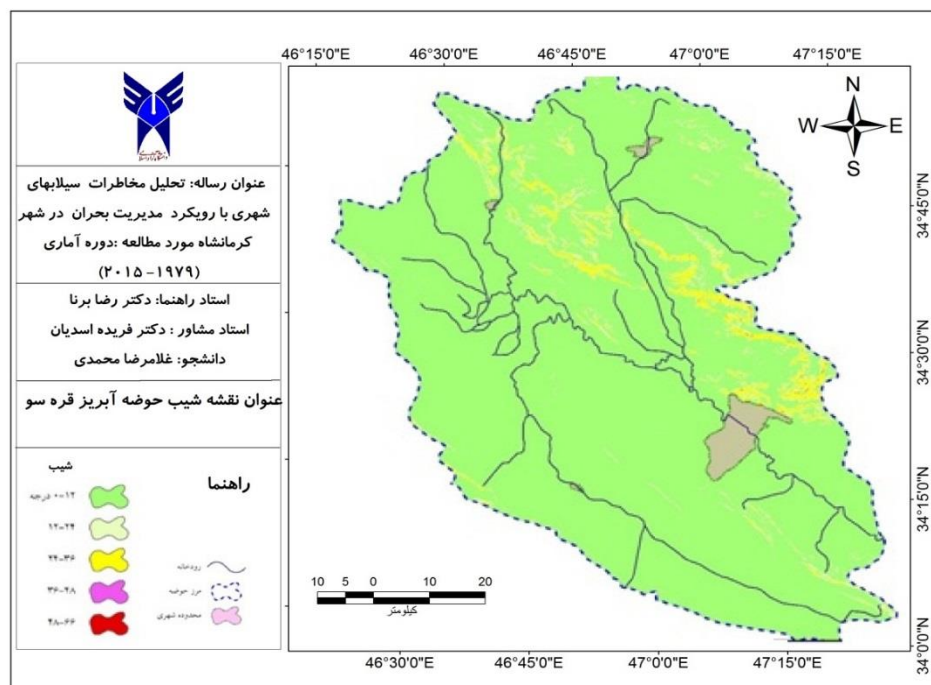
مدل رقومی ارتفاعی یک منبع مهم برای به دست آوردن عوامل توپوگرافیکی مؤثر در فعالیت سیل‌ها در منطقه است. با افزایش ارتفاع مقدار بارندگی نیز افزایش می‌یابد و با افزایش بارندگی در منطقه رواناب حاصل از آن نیز شدت می‌گیرد. طبق شکل ۳ نقشه مدل ارتفاعی، محدوده بیشترین ارتفاع مربوط به نواحی حاشیه حوضه به‌ویژه نیمه شمالی آن می‌باشد، و کمترین ارتفاع مربوط به مناطق مرکزی است.



شکل ۳- نقشه ارتفاع منطقه

شیب

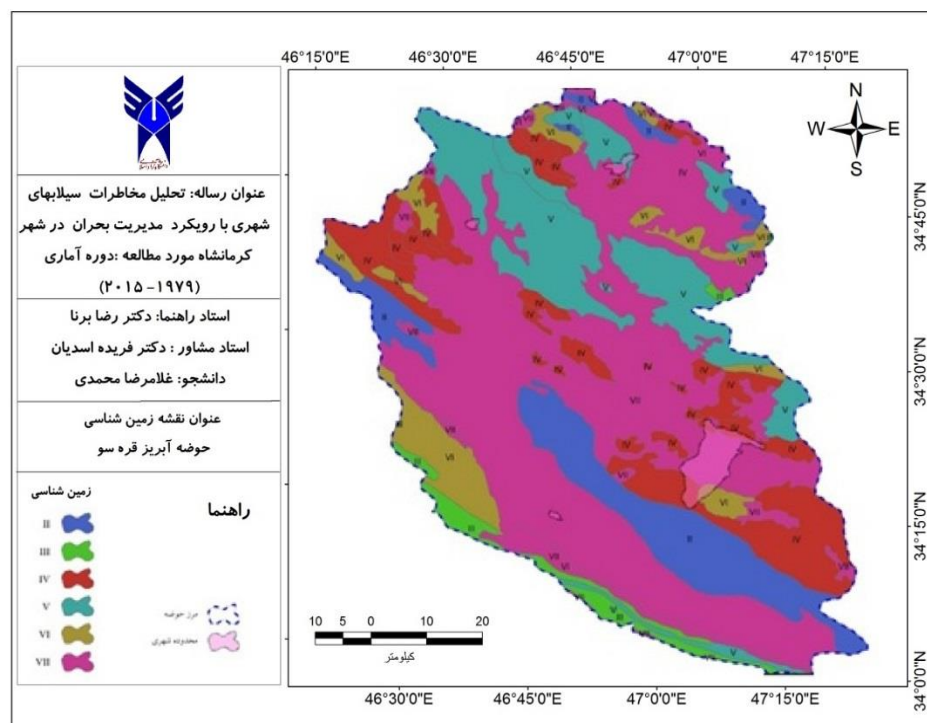
شکل ۴ نقشه شیب حوضه آبریز را نشان می‌دهد. بر اساس شکل بیشتر بخش حوضه را طبقه شیب کمتر از ۱۲ درصد در بر گرفته است؛ اما مناطق شمالی و شرقی حوضه تا شمال شهر کرمانشاه را شیب بیش از ۲۴ تا ۶۶ درصد پوشانده است و بعد از شهر کرمانشاه تا انتهای حوضه شیب کاهش مشخصی نشان می‌دهد. این وضعیت موجب انتقال حجم زیادی از رواناب به‌ویژه در زمان رخداد بارش‌های سنگین از ناحیه بالادستی حوضه به سمت مناطق پرجمعیت شهر کرمانشاه و ایستایی و کاهش سرعت آن موجب تخریب زمین‌های کشاورزی و مناطق مسکونی حاشیه رودها می‌گردد.



شکل ۴- نقشه شیب منطقه

زمین شناسی

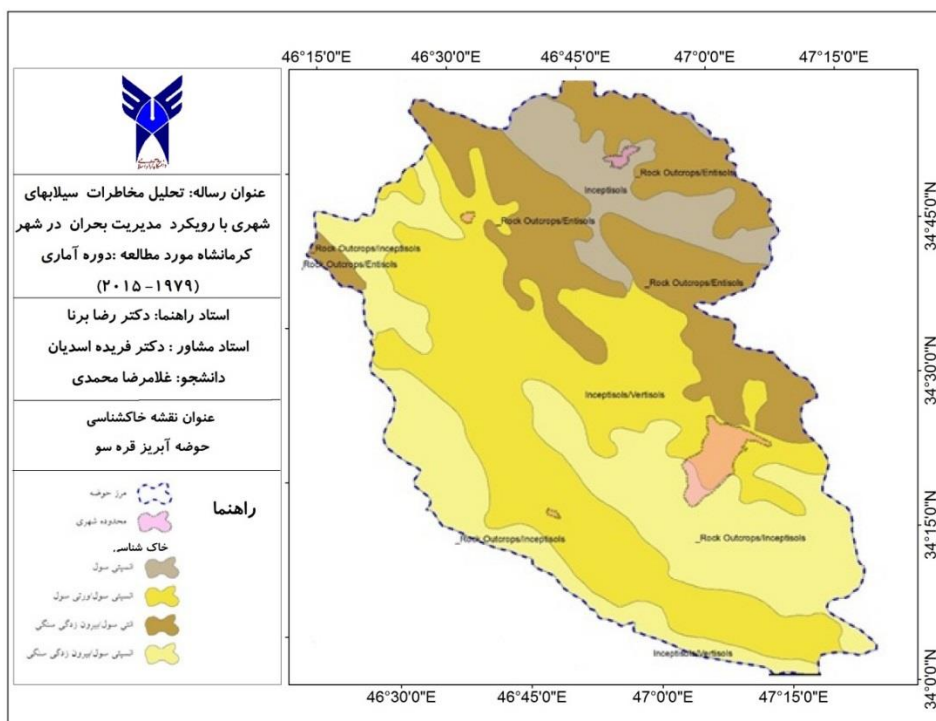
حوضه آبریز مورد مطالعه از نظر سازندهای زمین شناسی، از سازندهای مختلفی تشکیل شده است (شکل ۵). کهن ترین واحد رخنمون یافته در منطقه را سنگ های کرتاسه پائینی تشکیل داده است، بخش پائین این واحد، شامل دولومیت و سنگ آهک های دولومیتی برشی شده تیره همراه با آمونیت های کوچک و دوکفه ای های فراوان است. در لایه ی زمین شناسی مورد استفاده میزان حساسیت سازندها مورد استفاده قرار گرفته است که نشان دهنده میزان مقاومت در برابر فرسایش و سیل می باشد.



شکل ۵- نقشه زمین شناسی منطقه

خاک شناسی

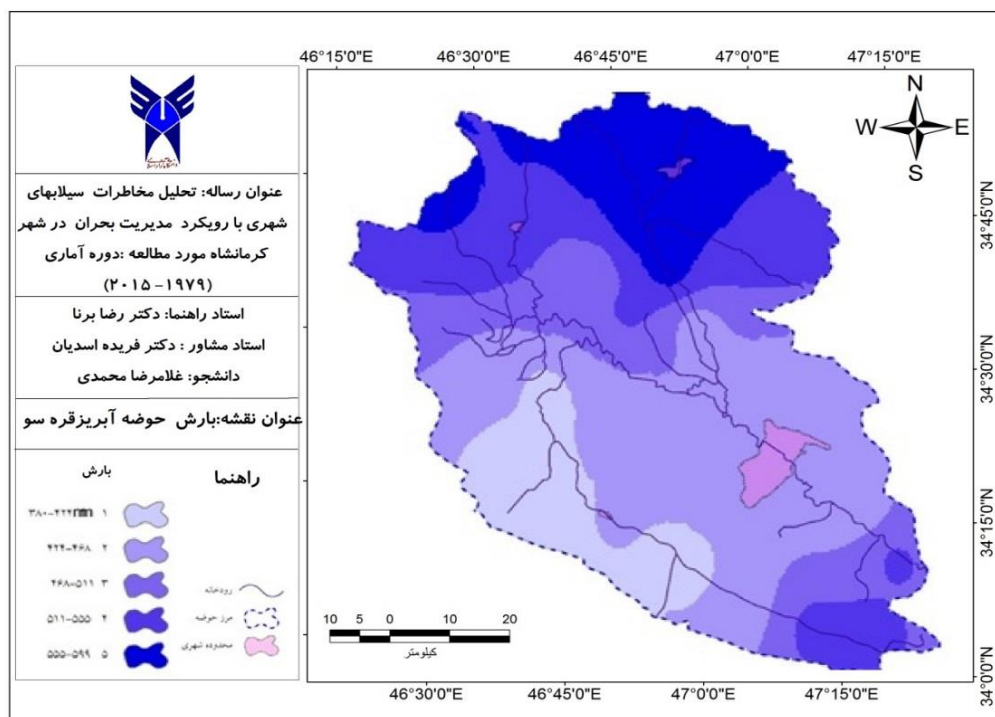
هر چقدر خاک سطحی تر و نفوذپذیری آن ضعیف تر باشد، رواناب سطحی و به تبع آن خطر وقوع سیل افزایش می یابد. از آنجایی که بخش اعظم حوضه پوشیده از خاک های کم عمق، رسی بافت ریز با بیرون زدگی سنگی می باشد (شکل ۶)، یکی از متغیرهای مؤثر در سیل خیزی حوضه مورد مطالعه وضعیت بافت خاک های آن است. خاک های سطحی و کم عمق حوضه همچنین در شیب های تند قرار گرفته اند و به دلیل نفوذپذیری اندک در زمان بارش های سنگین فرسایش پذیر بوده و باعث افزایش شدت رواناب می شوند.



شکل ۶- نقشه خاک شناسی منطقه

بارش

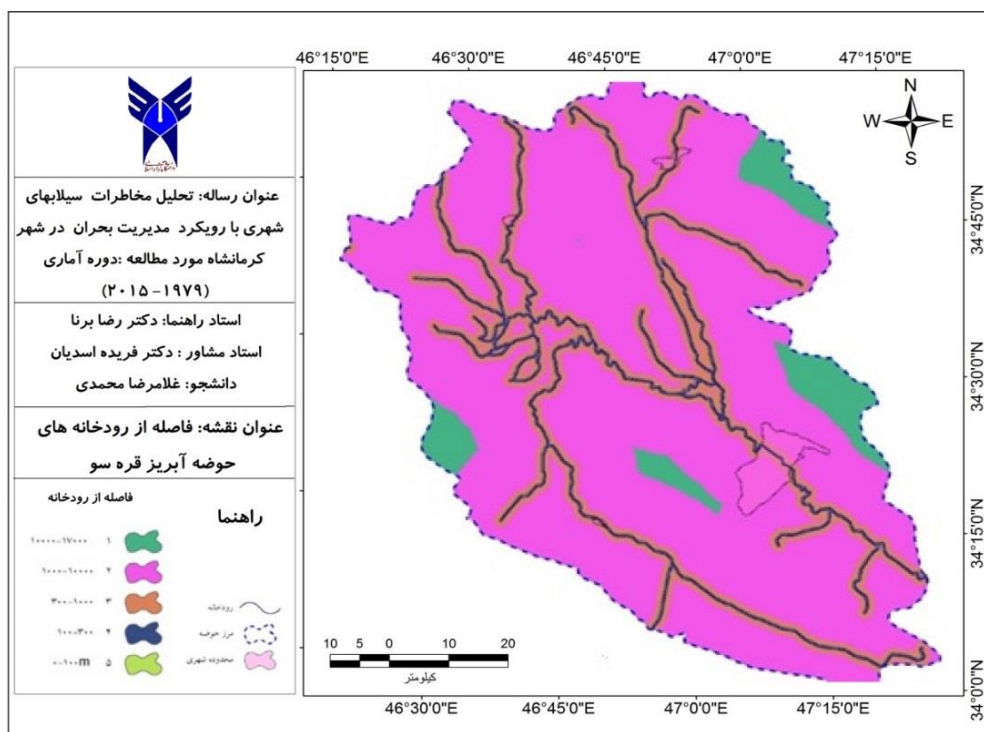
حوضه مورد مطالعه به دلیل قرارگیری در منطقه ورود بادهای غربی و سیکلون‌های مدیترانه‌ای در بیشتر طول سال دارای بارندگی بوده و میانگین بارندگی سالانه آن حدود ۴۳۰ میلی‌متر می‌باشد. از آنجا که این حوضه در یک منطقه کوهستانی قرار دارد، الگوی بارش علاوه بر شرایط جوی از ویژگی‌های محلی و محیطی نیز تأثیر می‌پذیرد و به مراتب شدیدتر و سنگین‌تر از سایر مناطق می‌باشد. لذا بارندگی می‌تواند عاملی مؤثر در وقوع سیل حوضه قره‌سو باشد. در شکل (۷) نیمه شمالی حوضه بیشترین ارزش را برای میزان بارش بیش از ۵۹۹ میلی‌متر در اختیار دارد. نواحی غربی و مرکزی نیز کمترین میانگین بارش و ارزش را نشان می‌دهند.



شکل ۷- نقشه بارش منطقه

فاصله از رودخانه

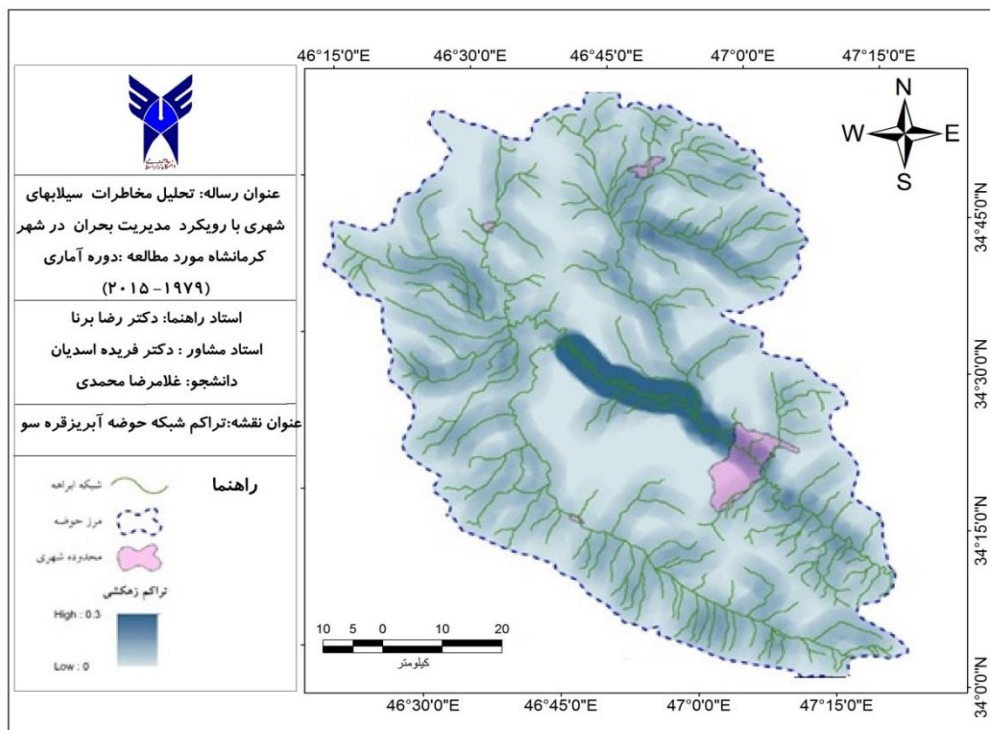
معیار فاصله از رودخانه یکی از متغیرهایی است که بیشترین وزن را با ۰,۱۳ در میان متغیرهای مورد بررسی داشته است. سهم عمده رواناب در محدوده مورد مطالعه از حاشیه‌های شمالی و شرقی حوضه به سمت نواحی مرکزی و جنوبی تخلیه می‌شوند (شکل ۸)؛ یعنی مناطقی که در بسترهای سیلابی قرار دارند و بیشترین پتانسیل وقوع سیل در این حریم‌ها می‌باشد. رفتار سیل در فاصله کم از آبراهه‌ها از فراوانی و شدت حمل بیشتری برخوردار است.



شکل ۸- نقشه فاصله از رودخانه

تراکم شبکه

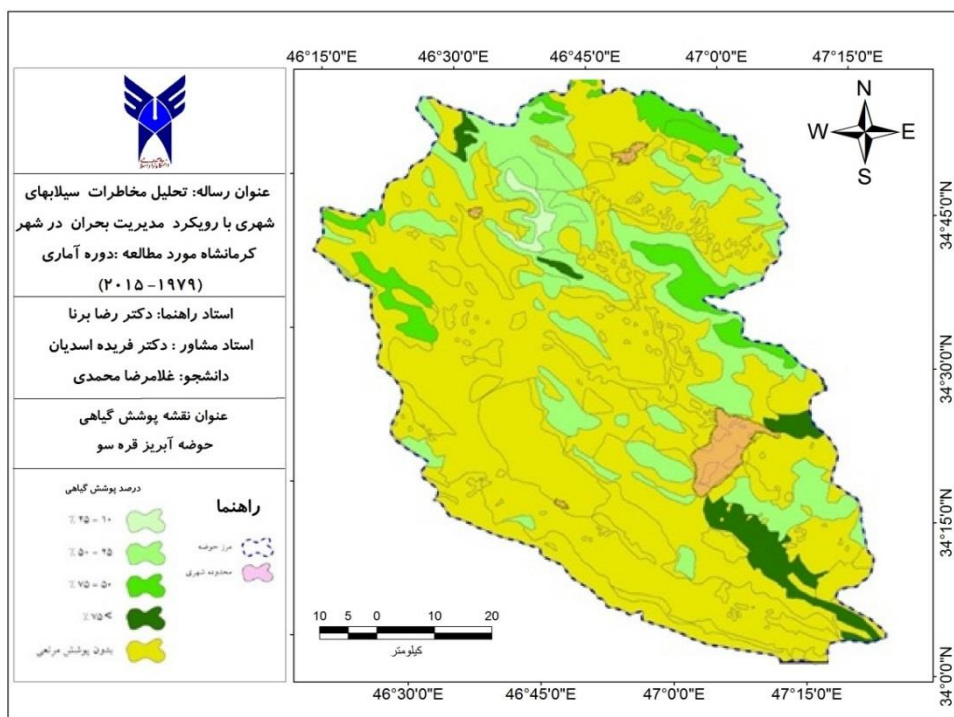
اگر مجموع طول تمام رودخانه‌ها و آبراهه‌های حوضه اندازه‌گیری شود و بر مساحت حوضه تقسیم گردد، عدد به دست آمده که معمولاً بر حسب کیلومتر در هر کیلومتر مربع تعریف می‌شود، تراکم شبکه زهکشی نامیده می‌شود. تراکم شبکه به طور مؤثری به لیتولوژی، شیب توپوگرافی و شرایط اقلیمی مربوط می‌شود (بهرامی و همکاران، ۱۳۸۷) و نقش اساسی در زمان تمرکز و اوج سیلاب دارد. در این راستا حوضه قره‌سو در بخش مرکزی منتهی به شهر کرمانشاه و بخش‌هایی از شمال حوضه بالاترین میزان تراکم را دارد که بیانگر مقاومت سنگ‌های تشکیل‌دهنده حوضه در مقابل فرایندهای فرسایشی و همچنین تیز بودن نقطه اوج منحنی تغییرات دبی سیل نسبت به زمان است (شکل ۹).



شکل ۹- نقشه تراکم زهکشی

فاصله از مسیل سیلابی

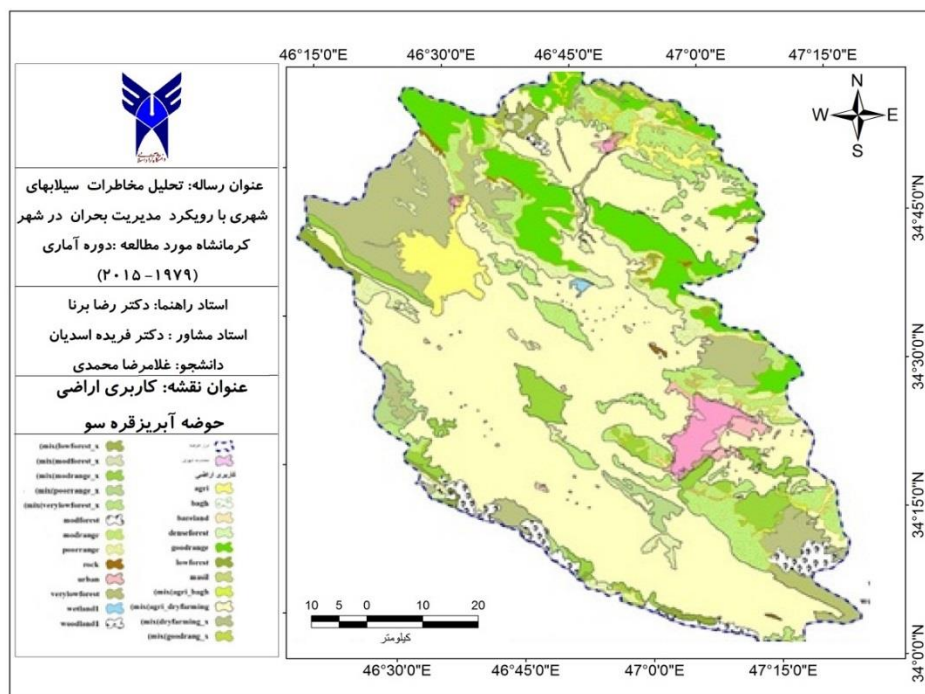
شکل (۱۰) نقشه فاصله از مسیل سیلابی را برای حوضه قره‌سو نشان می‌دهد. بر طبق شکل مسیل سیلابی منطبق بر حوضه بوده و فاصله ۰-۵۰۰ متری بیشترین وزن را در اثرگذاری بر رخداد سیل در حوضه دارد. همان‌طور که دیده می‌شود زیرشاخه‌های فرعی حوضه قبل از ورود به شهر کرمانشاه بهم متصل و یکی می‌شوند. در این وضعیت در زمان رخداد بارش‌های سنگین و رخداد سیل، رواناب با قدرت بیشترین به مسیر خود با ورود به شهر کرمانشاه ادامه می‌دهد که به تبع آن خسارات بیشتری را می‌تواند به وجود آورد. در این شکل مناطق مرکزی شهر که جزو پرجمعیت‌ترین نقاط محسوب می‌شود کمترین فاصله را با مسیل سیلابی دارند.



شکل ۱۱-نقشه درصد پوشش مرتعی

کاربری اراضی

بارش‌های زمین‌های لم‌بزرع و بدون پوشش گیاهی در مقایسه با نواحی جنگلی، به سرعت بر روی سطح زمین جاری می‌شوند. در نتیجه برخی نواحی کاربری اراضی (برای مثال درصد بالایی از کاربری‌های شهری) در مقایسه با نواحی مشابه که به وسیله جنگل و چمن پوشیده شده‌اند رواناب شدیدتری جاری می‌شود. کاربری‌های منطقه مورد مطالعه شامل کشاورزی، باغ، جنگل با پوشش ضعیف تا قوی، مخلوط کشاورزی، بایر، آبی، سنگی و شهری می‌باشد؛ اما بخش اعظم محدوده حوضه را زمین‌های کشاورزی دیم خشک و بایر تشکیل می‌دهد. مساحت زیاد زمین‌های خشک با پوشش گیاهی و کشاورزی ضعیف موجب می‌شود که رواناب با سرعت و قدرت حمل بیشتری به‌ویژه در مناطق منتهی به شهر کرمانشاه و حاشیه رود قره‌سو نقش تخریبی بیشتری در زمان رخداد سیلاب‌های سنگین ایفا کند (شکل ۱۲).

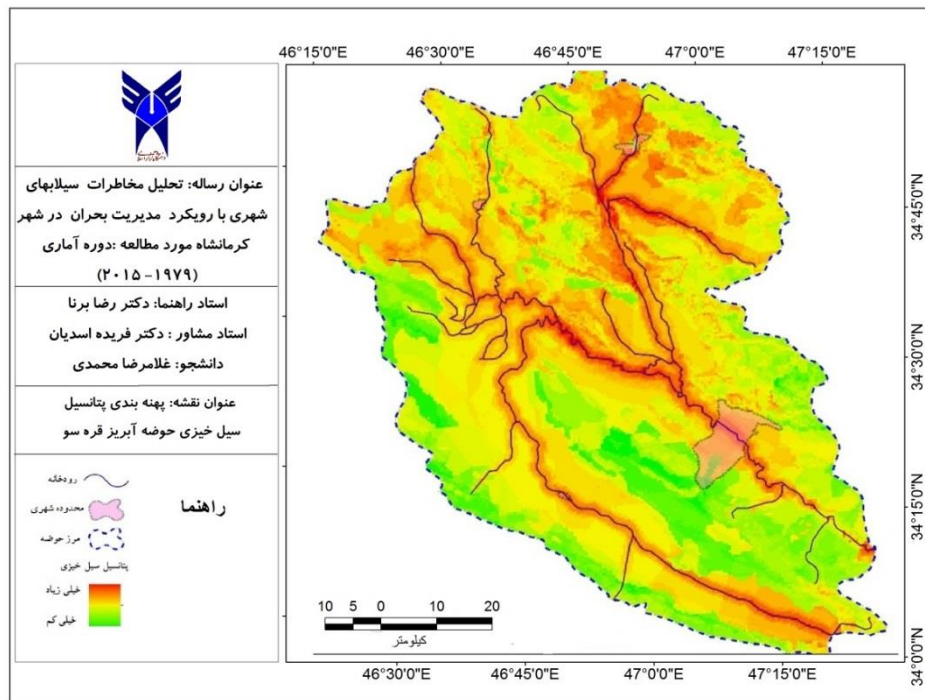


شکل ۱۲- نقشه کاربری اراضی

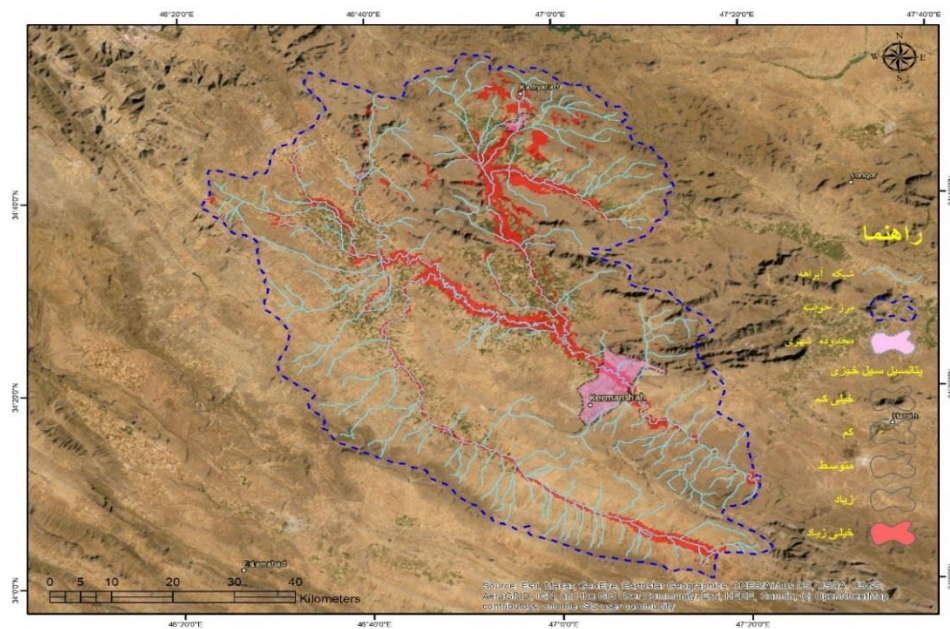
نقشه نهایی پتانسیل سیل خیزی

پس از مشخص نمودن متغیرهای مؤثر بر سیلاب و تهیه نقشه‌های مربوط به هر یک از متغیرها در محیط نرم‌افزار GIS به هر یک از متغیرها بر اساس درجه اهمیت آن‌ها امتیازی داده شد. با استفاده از روش تحلیل پتانسیل سیل خیزی حوضه آبریز قره‌سو پهنه‌بندی شد. سپس بر اساس درجه اهمیت و امتیاز تعلق گرفته اقدام به تلفیق لایه‌های ۱۰ متغیر ذکر شده با روش ترکیب خطی وزنی wlc گردید و حوضه به پنج پهنه با احتمال وقوع خیلی زیاد تا کم تقسیم شد. معادله ۱ وزن هر یک از معیارهای تعیین شده جهت تلفیق لایه‌ها و تعیین پتانسیل سیل خیزی حوضه را نشان می‌دهد.

بدین ترتیب نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی از طریق هم‌پوشانی معیارهای مؤثر به دست آمد (شکل ۱۳). در این نقشه مقادیر با عدد بالاتر نشان‌دهنده نقاط دارای ریسک بالاتر و نواحی دارای مقادیر کمتر ریسک پایین‌تری دارند.



شکل ۱۳- نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی حوضه آبریز قره‌سو



شکل ۱۴- نقشه مناطق با پتانسیل سیل خیزی خیلی زیاد حوضه آبریز قره‌سو

جدول ۳- مساحت و درصد طبقه‌های پتانسیل سیل خیزی حوضه آبریز قره‌سو

| طبقه پتانسیل سیل خیزی | مساحت (هکتار) | درصد |
|-----------------------|---------------|-------|
| ۱ | ۷۶۴۳۲ | ۱۳,۷۸ |
| ۲ | ۱۲۴۵۴۱ | ۲۲,۶۱ |
| ۳ | ۱۸۳۴۴۶ | ۳۳,۳۰ |
| ۴ | ۱۱۹۹۰۲ | ۲۱,۷۶ |
| ۵ | ۴۶۴۷۸ | ۸,۴۳ |

۴- بحث

نتایج نشان می‌دهد که مناطق شمالی و مرکزی حوضه دارای پهنه خطر خیلی زیاد هستند (شکل ۱۳). عمده‌ترین دلیل آن این است که نواحی شمالی و مرکزی به دلیل ارتفاع زیاد، بارش بیشتر، پوشش گیاهی کم و شیب زیاد، مستعد خیزش رواناب‌های زیادتری هستند. نواحی شمالی با توجه به جهت شیب محل تجمع رواناب‌ها هستند. با توجه به عبور رودخانه قره‌سو از شهر کرمانشاه، مناطق مرکزی و شمالی شهر با خطر بسیار زیاد در هنگام بروز بارش‌های منجر به سیل مواجه می‌شوند.

نتایج ارائه شده در جدول (۳) نشان می‌دهد که طبقه ۱ کمترین نقش را در تولید رواناب دارد و بیشتر در دشت-های جنوبی و غربی حوضه قرار دارند و در واقع محل جاری شدن رواناب می‌باشند، در حدود ۱۳/۷۸ درصد از منطقه را شامل می‌شوند. طبقه ۲ به نسبت طبقه‌های ۳ تا ۵ پتانسیل سیل خیزی کمتری دارد و بیشتر در مناطق کم ارتفاع و با پوشش گیاهی نسبتاً خوب اما با فاصله نزدیک‌تر نسبت به آبراه‌ها به صورت پراکنده در سراسر منطقه دیده می‌شوند. این طبقه دارای پتانسیل سیل خیزی کم و حدوداً ۲۲/۶ درصد از منطقه را فرا گرفته است. طبقه ۳ نیز در رده پتانسیل سیل خیزی متوسط قرار دارد و با ۳۳/۳ درصد بیشترین پهنه منطقه را پوشش می‌دهد. این طبقه نیز در مناطقی که مسیر عبور رود بوده است دیده می‌شود اما گستره آن در غرب و مرکز منطقه بیشتر بوده و ناحیه مابین مناطق کم‌خطر و پرخطر محسوب می‌شود. طبقه ۴ به‌عنوان رده‌ای با خطر زیاد با ۲۱/۷ درصد معادل ۱۱۹۹۰۲ هکتار و طبقه ۵ نیز با پتانسیل سیل خیزی خیلی زیاد با ۸/۴ درصد در سراسر مسیر عبور آبراه-ها دیده می‌شود اما بیشتر در مناطق کوهستانی شمال و مرکز منطقه واقع هستند؛ بنابراین می‌توان گفت که حدود ۳۱ درصد از محدوده حوضه آبریز را پهنه‌های سیل خیز خطرپذیر زیاد تا خیلی زیاد در بر گرفته است و به دلیل اینکه بیشترین نقش را در تولید رواناب دارند، باید از نظر مدیریت آبخیزداری موردتوجه ویژه باشند. تحقیقاتی در این زمینه انجام گرفته از جمله کرم و درخشان در سال ۱۳۹۱ در حوضه آبخیز کرمانشاه پتانسیل سیل خیزی را ارزیابی نمودند که حدود ۳۰ درصد مساحت حوضه دارای پتانسیل سیل خیزی می‌باشند. با توجه به اینکه آبخیزان یکی از زیرحوضه‌های قره‌سو می‌باشند که شهر کرمانشاه در آن واقع شده است و نتایج آن نشان می‌دهد که مناطق حریم رودخانه‌های اصلی از جمله مناطق

دارای پتانسیل بالا می‌باشند که شباهت بالایی با نتایج این مطالعه دارد. همچنین عسگری و همکاران در سال ۱۳۹۷ مطالعه‌ای با رویکرد مشابه برای حوضه جعفرآباد ایلام انجام دادند که با استفاده از معیارهای فرسیاش، پوشش گیاهی و سایر پارامترها پتانسیل سیل خیزی را در محیط GIS مدل‌سازی کرده و نتایج را در سطح زیرحوضه‌ها تحلیل کردند.

۵- نتیجه‌گیری

سیل، پدیده‌ای طبیعی است که با دوره بازگشت‌های مختلف بر اساس وضعیت حوضه‌های آبریز اتفاق می‌افتد. در دهه‌های اخیر و با رشد جمعیت انسانی و توسعه بی‌رویه شهرها و مراکز سکونت‌گاهی، انسان‌ها با تعرض به طبیعت به صورت همه جانبه، خودشان در معرض پدیده‌های طبیعی خطرناک مانند سیل قرار داده‌اند. با افزایش عواقب زیان‌های مالی و جانی در دهه‌های اخیر، برنامه‌ریزان به فکر چاره افتاده و در جانمایی شهرهای جدید این مساله را در نظر می‌گیرند؛ اما برای شهرهای قدیمی که در نزدیکی رودخانه‌ها و محل‌های طغیان آن‌ها هستند، باید راهکاری متفاوت ارائه کرد. در ابتدا نیاز به شناخت هرچه بیشتر وضعیت و پتانسیل سیل خیزی می‌باشد که این کار امروزه توسط روش‌ها و ابزارهایی که انسان توسعه داده است، امکان‌پذیرتر شده‌اند.

در این پژوهش جهت بررسی پتانسیل سیل خیزی از ۱۰ معیار مؤثر در سیل خیزی استفاده گردید. در این مطالعه و بسیاری از مطالعات داخلی و خارجی که در علوم طبیعی انجام شده‌است، سیستم اطلاعات جغرافیایی به دلیل قابلیت‌ها و ابزارهای مختلفی که دارد و همچنین به دلیل ملموس بودن نتایج آن بسیار مورد توجه قرار گرفته است. همچنین برای ارتقاء کارایی این سیستم‌ها از تکنیک‌های تصمیم‌گیری نیز استفاده می‌شود که کارایی آن را بیشتر می‌کند. سیل خیزی در حوضه علاوه بر فرسایش خاک، تجمع رواناب در آبراهه‌های اصلی، احتمال تشدید شکل‌گیری گالی‌ها و وقوع سیلاب در پایین دست حوضه و در محل ورود به بافت شهری کرمانشاه را افزایش می‌دهد. استفاده از مدل AHP در ترکیب با سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند با سرعت و دقت نسبتاً قابل قبولی نواحی مستعد سیل-خیزی را مشخص و آشکار نماید. مقایسه‌ی پهنه‌های سیل خیز با تصویر ماهواره‌ای GOOGLE-EARTH منطقه و مشاهده‌های میدانی نشان می‌دهد که مدل AHP از دقت قابل قبولی برخوردار است. با این قضاوت محوری این مدل می‌تواند از عیوب آن نیز محسوب شود چون در صورت عدم وجود دانش و تجربه کافی و شناخت نسبت به موضوع و منطقه، ممکن است نتایج نه چندان صحیحی از این مدل حاصل شود. لیکن قابلیت پیوند آن با سیستم اطلاعات جغرافیایی و سرعت در تحلیل و محاسبات از مزایای آن محسوب می‌شود.

کتابنامه

- امیدوار، کمال؛ آزیتا، کیانفر؛ ۱۳۸۹. پهنه سیل خیزی پتانسیل حوضه آبریز کنجانچم. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۷۲: ۷۳-۹۰.
- بهرامی، شهرام؛ علوی پناه، کاظم؛ یمانی، مجتبی؛ ۱۳۸۷. تحلیل مورفومتری و مورفولوژی شبکه‌ی زهکشی در مخروط آتشفشانی تفتان. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۶۵: ۶۱-۷۲.
- ثقفیان، بهرام؛ قرمز چشمه، بهمن؛ ۱۳۸۷. تغییرات مکانی شدت سیل خیزی. تحقیقات منابع آب ایران. (۱): ۲۸-۳۹.
- عابدینی، موسی؛ فتحی جوکدان، رقیه؛ ۱۳۹۵. پهنه بندی خطر وقوع سیل در حوضه آبریز کرگانرود با استفاده از ARC GIS. هیدروژئومورفولوژی. ۷: ۱۷-۱.
- علایی طالقانی، محمود؛ همایونی، صادق؛ ۱۳۹۰. پهنه حوضه بندی دینور از نظر تولید سیلاب با استناد به مؤلفه ژئومورفولوژی. پژوهش نامه جغرافیایی. ۱: ۳۹-۴۹.
- کرم، امیر؛ درخشان، فرزانه؛ ۱۳۹۱. پهنه بندی سیل خیزی، برآورد سیلاب و ارزیابی کارایی کانال‌های دفع آب‌های سطحی در حوضه‌های شهری (مطالعه موردی: حوضه آبشوران کرمانشاه). فصلنامه جغرافیای طبیعی. ۵ (۱۶): ۳۷-۵۴.
- محمدی، جمال؛ ضرابی، اصغر؛ احمدیان، مهدی؛ ۱۳۹۱. اولویت سنجی مکانی توسعه فضاهای سبز و پارک‌های شهری با استفاده از AHP (نمونه موردی: شهر میاندوآب). فصلنامه علمی - پژوهشی نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی. ۴ (۲): ۶۱-۴۱.
- ملکیان، آرش؛ افتادگان خوزانی، اصغر؛ عشونژاد، غلام؛ ۱۳۹۱. پهنه حوضه بندی پتانسیل سیل خیزی آبخیز اختر آباد با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۴۴: ۱۵۲-۱۳۱.
- نجفی، علی؛ نصری، محمد؛ ۱۳۸۸. عوامل مؤثر در سیلاب حوضه آبخیز اصفهان-سیرجان به روش تحلیل عاملی. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی. ۲۰ (۳۶): ۱۱۸-۱۰۸.
- نسرین نژاد، نعمت اله؛ رنگزن، کاظم؛ کلانتری، نصر اله؛ صابری، عظیم؛ ۱۳۹۳. پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی حوضه آبریز باغان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. ۵ (۴): ۳۴-۱۵.
- نظافتی نمین، فردین؛ ندا خوش ولد؛ ۱۳۹۵. آنالیز ویژگی‌های سیلاب‌های شهری بالخلوچای اردبیل با دوره‌های بازگشت مختلف، دومین کنفرانس بین المللی یافته‌های نوین علوم و تکنولوژی. قم: مرکز مطالعات و تحقیقات اسلامی سروش حکمت مرتضوی.

Chang, L.F., Lin, C.H., Su, M.D., 2008. Application Of geographic weighted re gression to establish flood-dam age functions reflecting spatial variation. Water SA, 34 (2): 209-216.

- Cherqui, F., Belmeziti, A., Granger, D., Sourdril, A., Gauffre, P., 2015. Assessing urban potential flooding risk and identifying effective risk-reduction measures. *Environment*, 514: 418-425.
- Darand, M., Pazhoh, F., 2019. Synoptic analysis of sea level pressure patterns and Vertically Integrated Moisture Flux Convergence VIMFC during the occurrence of durable and pervasive rainfall in Iran. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 86: 10-17. doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2019.02.004
- Ezemonye, M.N., Emeribe, C.N., 2012. Flood Characteristics and management adatatios in parts of the IMO River system. *Journal of Environmental Studies and Management*, 4(3):56-64.
- Ghaggar Basin: A case study of Guhla block, Kaithal, Haryana, India. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 3(1): 42-54.
- Meyer, V., Scheuer, S., Haase, D., 2009. A multicriteria approach for flood risk mapping exemplified at the Mulde river, Germany. *Natural Hazards*, 48(1): 17-39.
- Mukand, N.M.D., Huynh, S.B. Luong, T., 2011. Evaluation of food risk param eters in the Day River Flood Diversion Area, Red River Delta, Vietnam. *Nat Hazards*, 56:169–194.
- Portugués-Mollá, X., Bonache-Felici, J.F., Mateu-Bellés, J., Marco-Segura, B., 2016, A GIS-Based Model for the analysis of an urban flash flood and its hydro-geomorphic response. The Valencia event of 1957. *Journal of Hydrology*, 541: 582-596.
- Qin, Q.M., Tang, H.M., Chen,H.K., 2011. Zoning of highway flood-triggering environment for highway in Fuling District, Chongqing. *International Conference on Photonics, 3Dimaging, and Visualization. International Society for Optics and Photonics*, 530-538.
- Saini, S.S., Kaushik, S.P., 2012. Risk and vulnerability assessment of flood hazard in part of Sarhadi, A., Soltani, S. Modarres, R., 2012. Probabilistic f ood inundation m apping of unga uged rivers: Linking GIS techniques and frequency analysis. *Journal of Hydrology*, 458–459: 68–86.