





Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 11, Issue 2 - Number 42, Summer 2022

<https://geoeh.um.ac.ir>

 <https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.72667.1111> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شماره چهل و دوم، تابستان ۱۴۰۱، صص ۲۱۸-۱۹۳

مقاله پژوهشی

ظرفیت‌سنجی میزان خطرپذیری سکونتگاه‌های حوضه آبریز تهابل سیستان و بلوچستان از سیلاب‌های اتفاقی

علی اصغر پیله‌ور^۱ - دانشیار گروه شهرسازی-دانشگاه بجنورد-بجنورد.

جواد جمشیدزهی - کارشناس ارشد مخاطرات طبیعی-دانشگاه سیستان و بلوچستان- سیستان و بلوچستان.

امید پیریان کلات - دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی منطقه‌ای-دانشگاه شهیدبهشتی-تهران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۲۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۷/۲۱ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۸/۲۹

چکیده

سیل یکی از پدیده‌های مخرب طبیعی است که فعالیت‌های انسانی و سکونتگاه‌های بشری را به شدت تحت تأثیر قرار داده است. پژوهش حاضر با هدف شناسایی سکونتگاه‌های مستعد خطرپذیری سیلاب-های اتفاقی حوضه آبریز خشک تهابل در استان سیستان و بلوچستان انجام گرفته است. روش تحقیق توصیفی-تحلیل و از نظر هدف، کاربردی است. داده‌ها با استفاده از ۱۲ شاخص ظرفیت‌سنجی میزان خطرپذیری سکونتگاه‌ها شامل: جاده، آبادی، خاک، شیب، ارتفاع، بارش، پوشش گیاهی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، آبراهه اصلی، آبراهه فرعی و تراکم زهکشی حوضه جمع‌آوری گردیدند. در ادامه با استفاده از نظر کارشناسان خبره اصلاح و در ۳ مرحله مورد تحلیل قرار گرفتند. ابتدا میزان اهمیت داده‌ها با استفاده از روش ANP، در محیط نرم‌افزار Super Decision v2 از عدد ۱ تا ۹ ارزش‌گذاری شد. در گام دوم در محیط Arc GIS 10.7 و بر اساس میزان اهمیت، هر لایه به ۴ طبقه پرخطر، کم‌خطر، خطر متوسط و بدون خطر طبقه‌بندی شد. در گام سوم، با استفاده از ابزار همپوشانی وزنی، نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب حوضه آبریز تهابل تهیه گردید. نتایج نشان داد که از میان ۱۲ لایه فوق، آبراهه اصلی، شیب، کاربری اراضی و بارش بیشترین نقش را در تعیین پتانسیل خطر سیل‌خیزی محدوده تحقیق دارند. بر اساس

Email: pilevar@ub.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۳۸۵۹۴۵۸

نحوه ارجاع به این مقاله:

پیله‌ور، علی اصغر؛ جمشید زهی، جواد؛ پیریان کلات، امید؛ ۱۴۰۱. ظرفیت‌سنجی میزان خطرپذیری سکونتگاه‌های حوضه

آبریز تهابل سیستان و بلوچستان از سیلاب‌های اتفاقی. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۱(۲). صص ۲۱۸-۱۹۳

<https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.72667.1111>

یافته‌های پژوهش در مناطق خطرپذیر، ۲۴ سکونتگاه از مجموع ۶۸ سکونتگاه، در محدوده پتانسیل خطر زیاد تا خطر بسیار زیاد سیلاب واقع گردیده‌اند؛ به‌کارگیری روش‌های سازه‌ای (برنامه تأمین زمان ماند آب) و غیرسازه‌ای (سیستم اعلام هشدار برمبنای مدل‌های پیش‌بینی سیلاب) به‌منظور کاهش خطر سیلاب در این سکونتگاه‌ها امری ضروری است.

کلیدواژه‌ها: تحلیل شبکه‌ای، GIS، سیلاب اتفاقی، حوضه آبریز تهاباب.

۱- مقدمه

در چند دهه گذشته به دلیل تغییرات اقلیم و فعالیت‌های انسانی، مخاطرات طبیعی مانند: سیل، زمین‌لرزه، طوفان، سونامی، فوران آتشفشانی و رانش زمین از گسترده‌ترین فجایع در سراسر جهان محسوب می‌شوند (سینگ و همکاران^۱، ۲۰۲۰؛ a و b؛ استفانیدیس و استاتیس^۲، ۲۰۱۳؛ گشاوولگس^۳، ۲۰۱۱). در این میان سیل و طوفان حدود ۷۸٪ از بلایای شدید جوی را به خود اختصاص داده‌اند و دیگر بلایا تنها حدود ۲۳٪ باقی‌مانده را تشکیل می‌دهند (شادمهری طوسی و همکاران^۴، ۲۰۱۹؛ مرکز تحقیقات اپیدمیولوژی بلایا^۵، ۲۰۰۹). سیلاب به دلیل آنکه هر ساله رخ می‌دهد ویرانی‌های گسترده‌ای را به جان و مال انسان‌ها وارد می‌کند و شرایط اجتماعی و اقتصادی جامعه را به خطر می‌اندازد (گانوم و همکاران^۶، ۲۰۰۹). از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۶، حداقل ۲۲۵۰۰۰ نفر در اثر سیلاب رودخانه‌ها و سواحل کشته یا مفقود شده‌اند و خسارت آن از ۱/۶ تریلیون دلار فراتر رفته است (جانگمن و همکاران^۷، ۲۰۱۸)، باید به این نکته توجه داشت که مناطق خشک و نیمه‌خشک در سرتاسر جهان به سبب پوشش گیاهی ضعیف و بارش‌های رگباری از مستعدترین نواحی در معرض خطر سیلاب‌های شدید، حتی با بارش اندک، در این نواحی هستند (کین و همکاران^۸، ۲۰۱۸؛ مرکز تحقیقات اپیدمیولوژی بلایا، ۲۰۰۹) فعالیت‌های نابخردانه انسان از همچون چرای بی‌رویه دام، بوته‌کشی، قطع درختان، تجاوز به حریم خشکه‌رودها و ... این شرایط را در منطقه تشدید کرده است. امروزه ارزیابی و مدیریت سیلاب مورد توجه بسیاری از محققان از جمله آب‌زمین‌شناسان^۹ و برنامه‌ریزان از سراسر جهان قرار گرفته است که به دنبال روشی مؤثر و قابل‌اعتماد برای به حداقل رساندن خطر سیلاب هستند (دگروسی و همکاران^{۱۰}، ۲۰۱۴؛ کورگیالاس و

1. Singh et al.
2. Stefanidis and Stathis
3. Gashaw and Legess
4. Shadmehri Toosi et al.
5. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED)
6. Gaume et al.
7. Jongman et al.
8. Kain et al.
9. Hydrogeologist
10. Degrossi et al.

کاراتزاس!، ۲۰۱۱؛ چن و همکاران!، ۲۰۱۱). در حقیقت، مدیریت و ارزیابی بالقوه سیلاب‌ها برای کاهش خطر برای اطمینان از توسعه پایدار اقتصادی اجتماعی ضروری است (سوسی و همکاران!، ۲۰۲۰؛ آگواروژهو همکاران!، ۲۰۱۵). بررسی مجموعه عوامل محیطی که موجب ایجاد سیل می‌شوند، نشان می‌دهد که دخالت انسان در چرخه طبیعی آب از طریق تخریب پوشش گیاهی در عرصه‌های آبخیز، کاربری غیراصولی اراضی، توسعه سطوح نفوذناپذیر و امثال آن امکان وقوع سیل در مناطق گوناگون را افزایش داده است (مصطفی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷). در ایران سطح مناطق سیل‌خیز را تقریباً ۹۱ میلیون هکتار تخمین زده‌اند. به عبارتی ۵۵ درصد از سطح کشور در تولید رواناب مستقیم و سریع آن نقش داشته که حدود ۴۲ میلیون هکتار آن دارای شدت سیل‌خیزی متوسط تا خیلی زیاد هستند (شعبانلو و همکاران، ۱۳۸۷) مدیریت اصولی سیلاب علاوه بر جلوگیری از نابودی سرپناه و زیرساخت‌های شهر و منطقه، سبب جلوگیری از فرسایش خاک و فرصتی برای سیراب کردن سفره‌های آب زیرزمینی، تدارک آب برای مصارف کشاورزی خواهد بود. در حقیقت، مدیریت صحیح سیلاب‌ها با تبدیل تهدید به فرصت می‌تواند منبع اصلی و گسترده‌ای برای مدیریت هدر رفت آب و تأمین نیازهای آبی یک منطقه باشد.

کشور ایران به دلیل وضعیت اقلیمی و قرارگیری بر روی کمربند خشک و نیمه‌خشک از پتانسیل بالایی در رخداد سیلاب‌های سالانه و اتفاقی برخوردار است (خسروشاهی و همکاران، ۱۳۹۶) لذا توجه ویژه‌ای نیاز است تا سیلاب‌ها مهار شده منابع آبی حاصل از آن جهت ارتقای کیفیت زیستی منطقه استفاده شود. همچنین "شناخت نواحی مستعد سیلاب جهت کنترل سیلاب‌ها نقش مهمی در کاهش خسارات سیلاب‌ها دارد" (نوحه‌گر و همکاران، ۱۳۹۱). پیش‌بینی وقوع سیلاب به مطالعه عوامل مختلف ایجاد کننده آن نیاز دارد و باید سهم هریک از عوامل به‌طور جامع‌تری بسته به ویژگی‌های منطقه در تولید سیلاب مشخص شود؛ از جمله این عوامل می‌توان به خصوصیات ژئوفیزیکی و اقلیمی توپوگرافی، مورفولوژی رودخانه، بارندگی، خصوصیات سیمای سرزمین، کاربری زمین و فعالیت‌های بشری اشاره کرد (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۷؛ مگیونی و ماساری، ۲۰۱۸). پژوهشگران با استفاده از تکنیک‌های مختلف سعی در شناسایی نواحی مستعد سیلاب در سطح حوضه‌های آبخیز دارند. از جمله مطالعات در این زمینه می‌توان به مطالعات ارزیابی ریسک مخاطرات سیلاب با اطلاعات فضایی و پهنه‌بندی سیلاب اشاره نمود (آریا و سینگ، ۲۰۲۱؛ بالستروس-کانواس و همکاران!، ۲۰۱۳). در واقع پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی به معنای تعیین و توصیف مناطق دارای پتانسیل از نظر رواناب‌های سطحی می‌باشد. با تعیین محل‌های دارای پتانسیل بالا به‌نوعی می‌توان یک ارزیابی کلی از وضعیت

1. Kourgialas and Karatzas
2. Chen et al.
3. Souissi et al.
4. Eguaraje et al.
5. Maggioni & Massari
6. Arya and Singh
7. Ballesteros-Cánovas

سیل خیزی منطقه نیز به دست آورد؛ چراکه وجود پتانسیل بالای سیل خیزی در یک منطقه مقدمه‌ای بر افزایش احتمال وقوع سیل در آن منطقه می‌باشد. عوامل گوناگونی در جاری‌شدن سیل دخالت دارند که از جمله آن: شدت بارندگی، شیب حوضه، نفوذپذیری زمین، شرایط توپوگرافی، ویژگی‌های پوشش گیاهی و درجه اشباع‌شدن خاک را می‌توان به‌عنوان عوامل مؤثر در جاری‌شدن سیلاب نام برد (نوحه‌گر و همکاران، ۱۳۹۱). حوضه آبریز تهلاب با وسعت ۸۵۳۹/۳۹ کیلومتر مربع (سازمان آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان، ۱۴۰۰) و اقلیم خشک و پوشش گیاهی فقیر دارای مسیل‌های خشک فراوانی است که نشان‌دهنده شرایط سیلابی حوضه در زمان رخداد رگبارهای ناگهانی است. در این حوضه شرایط توپوگرافی به‌گونه‌ای است که بخشی از حوضه در ارتفاعات و بخشی در دشت واقع شده است؛ لذا تفاوت توپوگرافیک در کنار ماهیت اقلیمی خاص (تنوع اقلیمی ارتفاعات به سمت دشت) زمینه بسیار مساعدی برای رخداد سیلاب‌های اتفاقی سهمگین فراهم کرده است. پژوهش حاضر با هدف تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب و شناسایی سکونتگاه‌های مستعد خطر سیلاب‌های اتفاقی در حوضه آبریز خشک تهلاب، استان سیستان و بلوچستان انجام شده است، تا با شناسایی مناطق مستعد خطر، راهکارهای مناسب جهت مهار سیلاب، استحصال آب^۱ و جلوگیری از هرز آب به‌عنوان اقدامی ضروری صورت پذیرد. استفاده از آب سیلاب، روش مثبتی است که در هر اقلیم، می‌توان از آن بهره برد. با این روش به آب اجازه می‌دهد، وارد قسمتی که طبیعت برای آن در نظر گرفته (یعنی خاک) شود. بدین منظور، نخستین نکته‌ای که باید رعایت کرد، دید درست و عمیق به سیستم طبیعی است؛ برای ذخیره آب ناشی از وقوع سیلاب‌ها، باید مرتفع‌ترین و پست‌ترین نقاط در منطقه شناسایی شوند، با شناسایی این نقاط می‌توان مستقیم‌ترین مسیری را که آب می‌تواند وارد خاک شود، انتخاب نمود، پس از آن بایستی سطوح نفوذپذیر روی زمین را که در مسیر وجود دارد را به حداقل رساند؛ و در نهایت با روش‌های مختلف ذخایر آب زیرزمینی را تغذیه نمود، همانند: حفر چاه‌های جذبی، تعبیه سدها و آب‌بندها تحت نظارت کارشناسان آبخیزداری، ایجاد فرورفتگی‌هایی خطی که با زهکش بتواند آب را به زیر زمین منتقل کند.

مطالعات خارجی فراوانی در ارتباط با سیلاب و زمینه‌های مختلف وقوع آن صورت گرفته است. استامی و هس^۲ (۱۹۹۳) با استفاده از روش تحلیل رگرسیون خطی چندمتغیره سیلاب رودخانه‌های ایالت جورجیای آمریکا را بررسی کردند و بین پارامترهای فیزیکی و اقلیمی حوضه آبخیز با دبی‌های سیلابی، مدل‌های برآورد سیلاب منطقه‌ای را ارائه کردند. نتایج نشان‌دهنده بالاترین سطح معناداری بین پارامتر سطح حوضه با سیلاب بود. لیانگ و موهانتی^۳ (۱۹۹۷) برای پهنه‌بندی سیلاب در ماهانادی هند از سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده کردند و مدیریت سیلاب با استفاده از نقشه پهنه‌ای پتانسیل سیل خیزی را روشی کارآمد و غیرسازهای جهت کنترل سیلاب معرفی و آن

1. Water Harvesting
2. Stamy and Hess
3. Liang and Mohanty

را بهینه کردند. **فودی و همکاران**^(۲۰۰۴) از تصاویر ماهواره لندست به منظور تعیین کاربری اراضی سیل‌خیزتر حوضه‌ای در صحرای شرقی کشور مصر استفاده کردند. همچنین برای تعیین نوع و نفوذپذیری خاک نیز اندازه‌گیری‌های میدانی انجام شد. سپس دبی خروجی حوضه و زیرحوضه‌های آن را برای یک رگبار فرضی شدید شبیه‌سازی کردند. نتایج مدل‌سازی نشان داده است که دو منطقه که قبلاً هم از وقوع سیل بیشترین آسیب را دیده بودند مستعدترین شرایط را برای سیل‌خیزی دارند. **محسنی و سلیمانی**^(۲۰۱۰) با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS در محیط Arc GIS 10.3 پهنه‌های سیلابی رودخانه نکا را در دوره‌های بازگشت مختلف، شناسایی کردند. **تیلاگواتی و همکاران**^(۲۰۱۱) پهنه‌های سیل‌خیز حوضه پاپاناسام^۴ در ایالت تامیل‌نادو^۵ هند را با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی بررسی کردند و این حوضه را به پنج طبقه سیل‌خیز تقسیم‌بندی نمودند. **جان و همکاران**^(۲۰۱۴) به منظور تخمین خطر بیشینه سیلاب در زیرحوضه‌های رودخانه آرکانزاس کالیفرنیا از مدل فرآیند محور بهره بردند و بیشینه سیلاب محتمل را با استفاده از مدل‌های بارش — رواناب، آمار بارش‌های فرین و سیلاب‌های تاریخی محاسبه کردند. **مارچسین و همکاران**^(۲۰۲۱)، از طریق مسیریابی هیدرودینامیکی و مدل‌سازی طغیان سیلاب با استفاده از متغیرهای مورفومتریک، مناطق مستعد سیل‌خیزی^۸ در ۲۳ حوضه رودخانه سرزمین ایتالیا را مشخص کردند. به‌طور کلی هیچ رویکرد استاندارد مبتنی بر داده‌ها، برای ترسیم مناطق مستعد سیل در رودخانه‌ها و یا تخمین عمق آب در این مناطق (PIAs) وجود ندارد (داس^۹، ۲۰۱۹؛ وانگ و همکاران^{۱۰}، ۲۰۱۹a). محققان از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)^{۱۱} مبتنی بر متخصص از جمله: فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی^{۱۲} (وجتک و وجتک^{۱۳}، ۲۰۱۹؛ خسروی و همکاران^{۱۴}، ۲۰۱۶؛ رحمتی و همکاران^{۱۵}، ۲۰۱۶b؛ پاپایوانو و همکاران^{۱۶}، ۲۰۱۵)؛ فرآیند تحلیل شبکه^{۱۷} (دانوو

1. Foody et al.
2. Mohseni and Soleimani
3. Thilagavathi et al.
4. Papanasam
5. Tamil Nadu State
6. John et al.
7. Marchesini et al.
8. Potentially Inundated Areas (PIAs)
9. Das
10. Wang et al.
11. Multiple-Criteria Decision Analysis (MCDA)
12. Analytic Hierarchy Process
13. Vojtek and Vojtekov'a.
14. Khosravi et al.
15. Rahmati et al.
16. Papaioannou et al.
17. Analytic Network Process

همکاران^۱، ۲۰۱۹؛ کنعانی سادات و همکاران^۲، ۲۰۱۹) و روش های TOPSIS و VIKOR (خسروی و همکاران^۳، ۲۰۱۹؛ عربامری و همکاران^۴، ۲۰۱۹) عمدتاً هنگامی که داده های مرتبط با سیلاب اندک است، استفاده کرده اند؛ سایر محققان روش های طبقه بندی چند متغیره^۵ را آزمایش کرده اند (لیوزو و همکاران^۶، ۲۰۱۹؛ ساهانا و پاتل^۷، ۲۰۱۹). در ایران، از جمله مهم ترین پژوهش های صورت گرفته در خصوص سیلاب ها و موضوع این تحقیق می توان به موارد زیر اشاره نمود: مقصودی و همکاران (۱۳۹۲) به منظور شناسایی عوامل مؤثر بر رخداد سیلاب در حوضه رود شاهرود، از روش های تحلیل مؤلفه های اصلی، تحلیل خوشه ای و سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده کردند و دریافتند ۴ مؤلفه دبی، بارش، بیشینه بارش تابستانه و بیشینه بارش زمستانه بیش از ۹۷ درصد رفتار سیلابی حوضه را تبیین می کنند. حسن زاده نفوتی و خواجه باقی (۱۳۹۵) به منظور بررسی میزان پتانسیل زیرحوضه های شیطان بافق در ایجاد سیلاب از لایه های رقومی، پارامترهای مؤثر نظیر: مساحت حوضه، شیب حوضه، شیب آبراهه اصلی، تراکم زهکشی، ضریب شکل حوضه، بارندگی و مدل تحلیل سلسله مراتبی استفاده کردند. نتایج نهایی نشان داد که غالب زیرحوضه ها در معرض خطر زیاد تا بسیار زیاد قرار دارد و نیاز به اقدامات اصلاحی جهت کنترل سیلاب دارند. قلی زاده و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از مدل فازی پتانسیل سیل خیزی حوضه زنگمار ماکو در آذربایجان غربی را بررسی کردند. در نقشه نهایی پهنه بندی خطر سیل خیزی نواحی با خطر بسیار بالا در بالادست و شمال حوضه قرار دارند. همچنین غالب نواحی با خطر سیل خیزی بسیار بالا در دامنه های محدب و ستیغ ها و در شیب های بین صفر تا ۷ درصد که اغلب نواحی کوهستانی هستند قرار دارند. از میان مطالعات گوناگونی که تا کنون در ارتباط با پهنه بندی سیلاب انجام شده است؛ غالباً این مطالعات بر روی رودخانه های دائمی انجام گردیده. در این پژوهش ظرفیت سنجی خطر سیلاب در حوضه ای انجام می شود که فاقد رودخانه دائمی است و از طرفی با توجه به شرایط محیطی ویژه همواره از رخداد سیلاب در خشکه رودها رنج می برد.

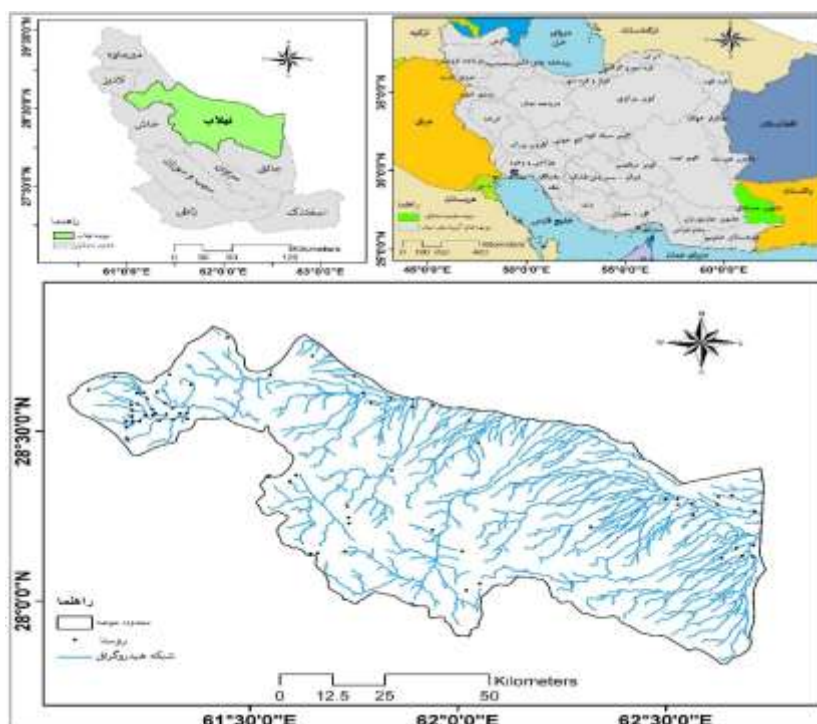
۲- مواد و روش ها

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز تهلاب در واقع یکی از زیرحوضه های حوضه بزرگ ماشکیل در جنوب شرق ایران است. این حوضه به طور مشترک بخش هایی از شهرستان های میرجاوه، خاش و سراوان را در بر می گیرد. بخش شرقی حوضه

1. Dano et al.
2. Kanani-Sadat et al.
3. Khosravi et al.
4. Arabameri et al.
5. Bivariate statistical classification methods
6. Liuzzo et al
7. Sahana and Patel.

به کشور پاکستان محدود می‌شود که در واقع بخشی از حوضه نیز در این کشور واقع است. مساحت حوضه تهاب در داخل مرزهای سیاسی ایران حدود ۸۵۳۹/۳۹ کیلومتر مربع است (مطالعات نگارنده گان اخذ شده از سازمان آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان، ۱۴۰۰). کمینه ارتفاع حوضه ۴۹۴ متر و بیشینه ارتفاع حوضه ۳۹۱۴ متر از سطح آب‌های آزاد دنیا است (مطالعات نگارنده گان اخذ شده از سازمان هواشناسی سیستان و بلوچستان، ۱۴۰۰). شکل (۱) موقعیت محدوده تحقیق را نشان داده است.



شکل ۱- موقعیت و پراکندگی روستاها در سطح حوضه آبریز تهاب (ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۰)

۲-۲- روش انجام پژوهش

روش انجام پژوهش از نوع توصیفی-تحلیلی و از نظر هدف کاربردی است. به منظور دستیابی به هدف پژوهش و آمار و اطلاعات موردنیاز در رابطه با موضوع مورد مطالعه، از روش اسنادی-میدانی استفاده گردید؛ در بخش اسنادی با مطالعه پژوهش‌های معتبر در حوزه سیلاب شاخص‌های مؤثر در تهدید سکونتگاه‌ها تعیین شد؛ در بخش میدانی، جهت رسیدن به یک اجماع گروهی در میزان ارجحیت معیارهای پژوهش، از نظرات خبرگان استفاده شد. مصاحبه با خبرگان به شیوه استفاده از پرسشنامه روش دلفی فازی^۱، با نحوه نمونه‌گیری تصادفی و حجم نمونه ۱۰ نفر از

1. Fuzzy Delphi

متخصصین گروه مخاطرات طبیعی دانشگاه سیستان و بلوچستان و گروه برنامه‌ریزی شهری دانشگاه بجنورد، انجام گرفت. روایی محتوای پرسشنامه با نظرات متخصصین و پایایی آن نیز با نرخ ناسازگاری قابل قبول (۰/۰۱) در نرم‌افزار SuperDecision V2 که کوچک‌تر از حدنصاب آن یعنی ۱۰٪ بود، تأیید شد. در این مطالعه به منظور ظرفیت‌سنجی خطر سیلاب در خشکه رودهای حوضه آبریز تهلاب ۱ از ۱۲ معیار شامل لایه: آبادی، جاده، آبراهه اصلی، آبراهه فرعی، تراکم زهکشی، خاک، زمین‌شناسی، بارش، پوشش گیاهی، ارتفاع، شیب و کاربری اراضی استفاده شد. سپس با تکیه بر یکی از مهم‌ترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره MCDM- فرآیند تحلیل شبکه (ANP)- میزان اهمیت هر لایه در نرم‌افزار SuperDecision V2 محاسبه شد؛ در مرحله بعدی به وسیله سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) بر اساس اهمیت در پتانسیل خطر سیلاب، هر لایه به ۴ طبقه پرخطر، کم‌خطر، خطر متوسط و بدون خطر طبقه‌بندی شدند؛ در نهایت با استفاده از ابزار همپوشانی وزنی^۱ در محیط Arc GIS 10.7، نقشه پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبریز تهلاب تهیه و یافته‌ها ارائه گردید.

۲-۳- ساختار مدل در پژوهش

فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) توسط ساعتی توسعه یافته است (ساعتی، ۲۰۰۵). این فرآیند فرمت و شکل کلی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی است (AHP)؛ با این تفاوت که ANP وابستگی را در یک معیار (وابستگی درونی) و بین معیارهای مختلف (وابستگی بیرونی) در نظر می‌گیرد، اما AHP چارچوب تصمیم‌گیری را با استفاده از یک رابطه سلسله مراتبی یک طرفه در بین معیارها مدل می‌کند، بنابراین ANP روابط متقابل پیچیده‌تری را میان معیارها مورد بررسی قرار می‌دهد. تفاوت عمده بین این دو تکنیک وجود رابطه بازخورد و رابطه متقابل میان معیارها در چارچوب تحلیل شبکه‌ای است (حسین و موستاید، ۲۰۲۰؛ جیان و گو-هشیونگ، ۲۰۱۱). روش ANP را می‌توان در مراحل زیر خلاصه کرد:

۱. ساخت نمودار شبکه‌ای و مقایسه معیارها (مقایسات زوجی) در کل سیستم به منظور تشکیل سوپر ماتریس؛ این امر از طریق مقایسه زوجی با پرسیدن این سؤال که "یک معیار در مقایسه با معیار دیگر از نظر ترجیحات ما (نخبگان) چقدر اهمیت/تأثیر دارد؟" انجام می‌شود. ارزش اهمیت نسبی را می‌توان با مقیاس ۱ تا ۹ تعیین کرد تا اهمیت یکسان و اهمیت فوق‌العاده را نشان دهد (ساعتی، ۱۹۸۰ و ۱۹۹۶).
- شکل کلی سوپر ماتریس اولیه را می‌توان به شرح زیر توصیف کرد:

1. Weighted Overlay
2. Saaty
3. Huseyin and Musteyde
4. Jiann and Gwo-Hshiang

$$W = \begin{matrix} & \begin{matrix} C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ e_{11}-e_{12} & e_{21}-e_{22} & \dots & e_{n1}-e_{n2} \end{matrix} \\ \begin{matrix} e_{11} \\ e_{12} \\ \vdots \\ e_{n1} \\ e_{n2} \end{matrix} & \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} & \dots & W_{1n} \\ W_{21} & W_{22} & \dots & W_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ W_{n1} & W_{n2} & \dots & W_{n2} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad \text{رابطه (۱)}$$

هرکجا که C_n خوشه n را نشان می‌دهد e_{nm} ، عنصر m را در خوشه n نشان می‌دهد و W_{ij} بردار اصلی تأثیر عناصر در خوشه j نسبت به خوشه i است. علاوه بر این، اگر خوشه j هیچ تأثیری بر روی خوشه i نداشته باشد؛ پس: $W_{ij} = [0]$.

۲. تشکیل سوپرماتریس موزون^۱: سوپرماتریس وزنی با ضرب ماتریس کل تأثیر نرمال شده^۲ (T_z) در سوپرماتریس اولیه به دست می‌آید.

$$W_W = T_z * W \quad \text{رابطه (۲)}$$

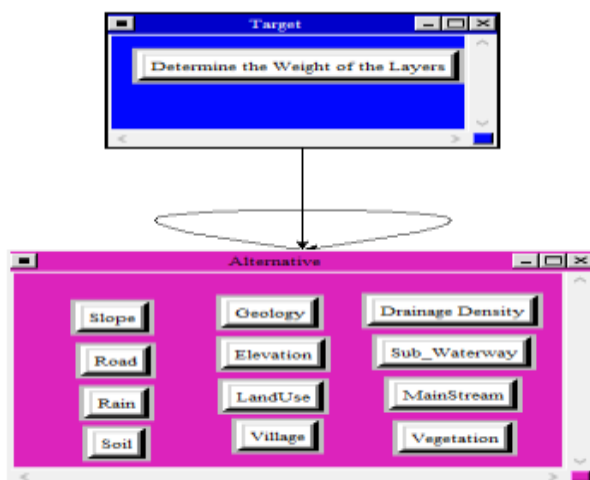
۳. تشکیل سوپرماتریس محدود^۳: در نهایت، سوپرماتریس موزون را به توان‌های حد L مانند رابطه (۳) می‌رسانیم؛ تا زمانی که سوپرماتریس همگرا^۴ حاصل شود (از طریق تکرار)؛ و عدد حاصله همان وزن آن معیار یا زیرمعیار است.

$$\lim_{l \rightarrow \infty} W_W^L \quad \text{رابطه (۳)}$$

۳- نتایج

به منظور ارزش‌گذاری لایه‌های منتخب پژوهش در فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)، ساختار پیشنهادی در محیط نرم‌افزار Super Decision_V2 ترسیم گردید (شکل ۲).

1. weighted supermatrix
2. normalized total-influence matrix
3. limiting supermatrix
4. supermatrix converged



شکل ۲- ساختار تعیین ضریب اهمیت معیارها در نرم افزار Super Decision (یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰)

مقایسات زوجی در دو سطح درون خوشه‌ای و بین خوشه‌ای توسط نظر کارشناسان خبره مشخص شد؛ روش پاسخ به پرسشنامه به روش دلفی فازی و الگوی امتیازدهی به معیارها توسط خبرگان به شرح جدول (۱) انجام گرفت؛

جدول ۱- الگوی امتیازدهی به پرسشنامه (حبیبی و همکاران، ۲۰۱۵)

ارزش	اولویت‌ها	توضیح
۱	ترجیح یکسان	معیار نسبت به اهمیت برابر دارد یا ارجحیتی نسبت به یکدیگر ندارند.
۳	کمی مرجح	معیار نسبت به کمی مهم‌تر است.
۵	خیلی مرجح	معیار نسبت به مهم‌تر است.
۷	خیلی زیاد مرجح	معیار دارای ارجحیت خیلی بیشتری از است.
۹	کاملاً مرجح	معیار از مطلقاً مهم‌تر و قابل مقایسه با نیست.
۲-۴-۶-۸	بینابین	بیانگر ارزش‌های ترجیحی است؛ مثلاً ۸، بیانگر اهمیتی بیشتر از ۷ و پایین‌تر از ۹ برای است.

در ادامه پس از تکمیل و جمع‌آوری پرسشنامه، ارزش‌های هر لایه مطابق مدل ANP به شرح جدول ۲ استخراج گردید. مطابق جدول ۲، مقادیر ستون نرمال در حقیقت اولویت هر یک از گزینه‌ها را بر اساس مقایسات زوجی نشان می‌دهد؛ مقادیر ستون ایده‌آل، از تقسیم مقادیر هر کدام از اعداد ستون نرمال بر بزرگ‌ترین عدد ستون ایده‌آل به دست آمده است. در نتیجه مقدار لایه با اهمیت‌تر همواره عدد ۱ است، اما مقادیر ستون ضعیف به‌طور مستقیم از

سویرماتریس محدود گرفته می‌شود. در جدول ۱ وزن لایه‌های مؤثر بر خطر سیلاب نشان داده شده است. بر این اساس لایه‌های مسیل اصلی، شیب و کاربری اراضی مؤثرترین لایه در خطر سیل‌خیزی و لایه‌های جاده، آبادی و تراکم‌زهکشی کمترین اثر را در خطر سیلاب دارند.

جدول ۲- وزن نهایی لایه‌ها با توجه به نظر کارشناسان خبره در فرآیند تحلیل شبکه (ANP) (یافته‌های پژوهش،

(۱۴۰۰)

Name	توضیحات	Normals	Ideal	Raw
MainStream	آبراهه اصلی	۰/۲۴۹۱۷۸	۱	۰/۱۱۴۳۲۵
Slope	شیب	۰/۱۶۷۸۲۱	۰/۶۷۳۴۹۸	۰/۱۰۵۱۷۸
LandUse	کاربری اراضی	۰/۱۲۵۴۸۹	۰/۵۰۳۶۱۱	۰/۱۰۲۲۷۴
Rain	بارش	۰/۰۸۶۴۳۲	۰/۳۴۶۸۶۸	۰/۱۸۰۹۳
Geology	زمین‌شناسی	۰/۰۶۱۱۳۹	۰/۲۴۵۳۶۲	۰/۰۱۶۴۸۷
Vegetation	پوشش گیاهی	۰/۰۵۷۱۲۶	۰/۲۲۹۲۵۷	۰/۰۱۴۹۶۸
Soil	خاک	۰/۰۵۴۷۶۲	۰/۲۱۹۷۷۰	۰/۰۱۳۸۴۹
Elevation	ارتفاع	۰/۰۵۲۳۲۸	۰/۲۱۰۰۰۲	۰/۰۱۱۳۲۵
Sub-Waterway	آبراهه فرعی	۰/۰۴۶۸۲۳	۰/۱۸۷۹۰۹	۰/۰۱۰۳۸۶
Drainage Density	تراکم زهکشی	۰/۰۴۰۸۶۹	۰/۱۶۴۰۱۵	۰/۰۰۸۷۶۳
Village	آبادی	۰/۰۳۱۶۲۱	۰/۱۲۶۹۰۱	۰/۰۰۸۳۷۲
Road	جاده	۰/۰۲۶۴۱۲	۰/۱۰۵۵۹۶	۰/۰۰۷۵۲۴
Total	مجموع	۱	۰/۰۱۲۷۸۹	۰/۵۹۴۳۸۱

طبقه بندی لایه‌ها: هر یک از لایه‌ها دارای تفاوت مکانی هستند و در موقعیتی سیل‌خیزی را تشدید یا تضعیف می‌کنند. لذا در این مرحله لایه‌ها با توجه به خصوصیات که دارند طبقه‌بندی شدند و هر طبقه با توجه به پتانسیل سیل‌خیزی وزن معینی دریافت می‌کنند.

ارتفاع: در عامل ارتفاع تراز کمتر از ۱۰۰۰ متر به سبب جاری شدن رواناب در پستی‌ها به‌عنوان خطرناک‌ترین طبقه و تراز بالاتر از ۲۰۰۰ متر هم به سبب عدم تجمع آب در این تراز به‌عنوان کم‌خطرترین طبقه لایه ارتفاعی تعیین شد. با توجه به این طبقه‌بندی ۴۲۳/۴۸۲۵ کیلومترمربع از مساحت حوضه در محدوده خطر کم، ۱۳۵۱/۳۴۵ کیلومترمربع در محدوده خطر متوسط، ۲۱۰۴/۹ کیلومترمربع در محدوده خطر زیاد و ۴۶۵۹/۸۷۷ کیلومترمربع در محدوده خطر بسیار زیاد قرار گرفته‌اند (نقشه شماره ۱).

شیب: سرعت آب عمدتاً بستگی به شیب زمینی دارد که آب در آن از کانال‌های زهکشی عبور می‌کند. با این حال، شدیدترین شیب مستقیماً بر رواناب و اوج تخلیه تأثیر می‌گذارد که بیشتر از توپوگرافی مسطح (کمترین شیب) خواهد بود (سینگ^۱ و همکاران، ۲۰۲۰ a و b). به بیانی دیگر نواحی با شیب تند به سبب تسریع سرعت رواناب نواحی با بیشترین پتانسیل سیل خیزی و نواحی هموار به سبب آرام شدن جریان رواناب جزء محدوده کم خطر محسوب می‌شوند. طبقات لایه شیب کمتر از ۵ درجه، ۵ تا ۱۰ درجه، ۱۰ تا ۱۵ درجه و بیشتر از ۱۵ درجه است. طبقه‌بندی عامل شیب نشان داد که ۵۱۳۳/۸۰۵ کیلومترمربع از مساحت حوضه در محدوده کم خطر، ۱۰۷۹/۰۰۲۵ کیلومترمربع در محدوده خطر متوسط، ۷۶۴/۸۱۷۵ کیلومترمربع در محدوده خطر زیاد و ۱۵۶۱/۹۸ کیلومترمربع در محدوده خطر بسیار زیاد واقع شده‌اند (نقشه شماره ۲).

زمین‌شناسی: ویژگی‌های زمین‌شناسی نشان‌دهنده سیستم درز و شکاف و میزان نفوذپذیری سازندهای مختلف است؛ از نظر زمین‌شناسی به سبب فعالیت آتشفشانی، انواع سازندهای آذرین بیرونی همچون آندزیت، بازالت و سازندهای رسوبی و دگرگونی نیز به فراوانی در سطح حوضه یافت می‌شود. پایه آذرین زمین‌شناسی حوضه تأثیر بسزایی در جنس سازندها داشته است. بر همین اساس سازندهای حوضه آبریز تهلاب در ۴ طبقه قرار گرفت. ۵۰۶/۵۱۵ کیلومترمربع از مساحت حوضه در محدوده کم خطر، ۵۷۰۸/۶۱۲۵ کیلومترمربع در محدوده خطر متوسط، ۱۵۲۹/۷۷۵ کیلومترمربع در محدوده خطر زیاد و ۳۵۳/۶۵۷۵ کیلومترمربع در محدوده خطر بسیار زیاد قرار گرفته‌اند (نقشه شماره ۳).

خاک: همانند ویژگی زمین‌شناسی در لایه خاک نیز میزان نفوذپذیری در سیل خیزی و حرکت رواناب مؤثر است. تخلخل و نفوذپذیری ماسه بیشتر از سطح خاک لومی و خاک رسی است. به این ترتیب، خاک رسی نسبت به خاک لومی و خاک شنی در برابر سیل بی دفاع است (آریا و سینگ، ۲۰۲۱). در این حوضه غالب خاک‌ها از تیپ اریدوسل، آنتی سل، تپه ماسه‌ای و پوشش سنگ و صخره هستند؛ چون غالب پوشش سطحی نفوذپذیری اندکی دارد شرایط برای رخداد سیلاب کاملاً مهیا است. در حوضه تهلاب بر اساس نوع خاک و میزان نفوذپذیری ۳ طبقه تعیین شد: ۳۴۸۱/۴ کیلومترمربع در محدوده خطر متوسط، ۳۰۰/۱۶۲۵ کیلومترمربع در محدوده خطر زیاد و ۴۴۱۰/۶۷۵ کیلومترمربع در محدوده خطر بسیار زیاد واقع شده‌اند (نقشه شماره ۴).

پوشش گیاهی: وجود پوشش گیاهی در سطح حوضه به دلیل اثراتی که در اجزاء سیکل هیدرولوژی در مقیاس حوضه دارد، از عوامل کاهش‌دهنده سیل خیزی یک حوضه است پوشش گیاهی غنی همواره به‌عنوان مانعی مؤثر در برابر حرکت رواناب عمل می‌کند (جانانه، ۱۳۹۲). در این حوضه نواحی مرتفع‌تر به سبب رژیم بارشی و دمایی متفاوت پوشش گیاهی غنی‌تر است؛ نواحی شرقی حوضه به سبب کاهش ارتفاع و رطوبت کمتر، پوشش گیاهی

کمتر را داراست. غالب نواحی حوضه پوشش گیاهی کمتر می‌باشد و تنها در ارتفاعات شرایط بهتر است. بر همین اساس در لایه پوشش گیاهی، از کل مساحت حوضه تهلاب ۸۶۲۵ کیلومترمربع از مساحت حوضه در منطقه خطر متوسط، ۶۴۲۷/۱۹۷۵ کیلومترمربع در محدوده خطر زیاد و ۱۶۹۳/۴۰۷۵ کیلومترمربع در محدوده خطر بسیار زیاد قرار گرفته‌اند (نقشه شماره ۵).

کاربری اراضی: کاربری اراضی نشان دهنده اهمیت هر منطقه از نظر خسارات جانی و مالی است. بر همین اساس از کل مساحت حوضه تهلاب، ۸۱۱۱/۲۶۵ کیلومترمربع از مساحت حوضه در منطقه کم‌خطر، ۱۷۴/۷۴۵ کیلومترمربع در منطقه خطر متوسط، ۴۳/۶۵۷۵ کیلومترمربع در منطقه خطر زیاد و ۴/۵۸ کیلومترمربع در منطقه خطر بسیار زیاد واقع شده‌اند (نقشه شماره ۶).

بارش: پراکندگی میکروکلیمایی بارش تحت تأثیر عامل ارتفاع سبب شده که در فاصله مکانی کمی تفاوت‌های بارشی رویت شود. در این مطالعه برای ترسیم نقشه بارش از آمار ۱۲ ایستگاه باران‌سنجی داخل و مجاور حوضه استفاده شد و نواحی با بارش کم در طبقه کم خطر و پرباران‌ترین ناحیه در طبقه خطر بسیار زیاد سیلاب قرار گرفت. از نظر تفاوت‌های بارشی ۴۳۶۴/۷۶۷۲ کیلومترمربع از مساحت حوضه در منطقه کم‌خطر، ۲۳۸۵/۷۸۵۸ کیلومترمربع در منطقه خطر متوسط، ۱۲۳۹/۸۶۳۷ کیلومترمربع در منطقه خطر زیاد و ۲۱۶۷/۴۳۸۱ کیلومترمربع در منطقه خطر بسیار زیاد واقع شده‌اند (نقشه شماره ۷).

آبادی: نواحی مسکونی به سبب احتمال وقوع خسارات جانی و مالی ناشی از سیلاب جزء مهم‌ترین پارامترها در پتانسیل‌سنجی خطر سیلاب هستند؛ لذا حریم ۵۰۰ متر برای نواحی سکونتگاهی در نظر گرفته شد (نقشه ۱-۸)؛ بر این مبنا از کل مساحت حوضه ۲۷/۰۶۸۱۹۹ کیلومترمربع در محدوده بسیار پرخطر و ۸۵۱۲/۵۳۶۸۱ در محدوده کم‌خطر واقع گردید (نقشه شماره ۸).

لایه جاده: خطوط مواصلاتی به واسطه حمل و نقل انسان و کالا از دیر باز مورد توجه و اهمیت انسان بوده‌اند و مخاطراتی همچون سیلاب همواره این زیرساخت را مورد تهدید قرار داده است؛ بنابراین ابتدا لایه حریم برای لایه جاده تهیه شد (نقشه ۱-۹). در این مطالعه حریم ۱۰۰ متر اطراف جاده به منزله محدوده بسیار پرخطر و سایر نواحی حوضه جزء محدوده کم‌خطر قرار گرفتند. بر این اساس از کل مساحت حوضه ۱۳۷/۶۱۰۰۸۸ کیلومترمربع در محدوده بسیار پرخطر و ۸۴۰۱/۹۹۳۶۶۶ در محدوده کم‌خطر واقع گردید (نقشه شماره ۹).

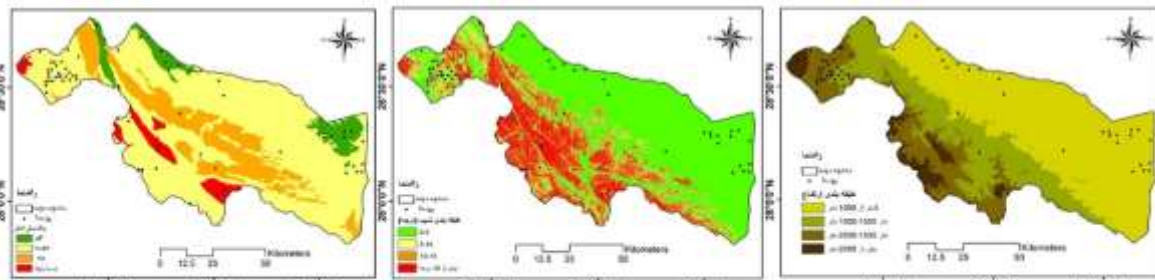
آبراهه اصلی: سیلاب در بستر آبراهه‌ها به‌وقوع می‌پیوندد؛ لذا این نواحی بر حسب درجه و اندازه آبراهه دارای پتانسیل متفاوتی در سیل‌خیزی هستند. آبراهه‌های اصلی به سبب تجمع رواناب‌ها در آن‌ها معمولاً بیشترین خطر سیلاب را دارند و آبراهه‌های اولیه (زهکش‌ها) کمترین پتانسیل را در سیل‌خیزی دارند. از آنجایی که حوضه تهلاب فاقد رودخانه دائمی است. خشکه رودها در این محدوده پس از هر بارش جریان شدیدی ایجاد می‌کنند که با توجه

به تداوم بارش تا کمتر از ۴۸ ساعت دوام دارد. برای لایه مسیل اصلی تا فاصله ۲۰۰ متر حریم پرخطر و دورتر از این فاصله محدوده کم خطر تعیین شد (نقشه ۱-۱۰)؛ بنابراین در لایه مسیل اصلی از کل مساحت حوضه ۱۲۰/۴۲۹۳۶ کیلومتر مربع در محدوده بسیار پرخطر و ۸۳۷۱/۰۶۵ کیلومتر مربع در محدوده کم خطر واقع گردید (نقشه شماره ۱۰).

آبراهه فرعی: برای مسیل‌های فرعی نیز نقشه حریم ترسیم شد (نقشه ۱-۱۱). سپس با استفاده از لایه حریم، برای مسیل‌های فرعی تا فاصله ۱۵۰ متر نواحی پرخطر در نظر گرفته شد. مسیل‌های فرعی به سبب دارا بودن دره‌های کوچکتر و جریان ضعیف‌تر نسبت به مسیل اصلی، حریم منطقه پرخطر در آن کمتر انتخاب شد. بر این اساس ۵۲۳/۴۹۳ کیلومتر مربع ناحیه پرخطر و سایر نواحی حوضه منطقه کم خطر طبقه‌بندی شدند (نقشه شماره ۱۱).

تراکم زهکشی: تراکم زهکشی نشان‌دهنده نزدیک بودن فاصله نهرها و یک عامل خسارت‌آور کلیدی برای حرکت آب از مبدأ به مقصد است (هورتون، ۱۹۴۵). تراکم زهکشی بیشتر مانع طغیان آب است؛ در حالی که تراکم زهکشی کمتر باعث افزایش میزان نفوذ آب درون خاک (فرسایش خاک) و آسیب پذیری بیشتر در برابر سیلاب می‌شود (رای و موهن، ۲۰۱۴). پس از ترسیم نقشه حریم برای لایه تراکم زهکشی (نقشه ۱-۱۲)، فاصله تا ۱۰۰ متر به‌عنوان محدوده بسیار پرخطر در نظر گرفته شد. در این لایه ۳۸۹/۶۵۷ کیلومتر مربع ناحیه پرخطر و سایر نواحی حوضه جزء نواحی کم خطر طبقه‌بندی شدند (نقشه شماره ۱۲).

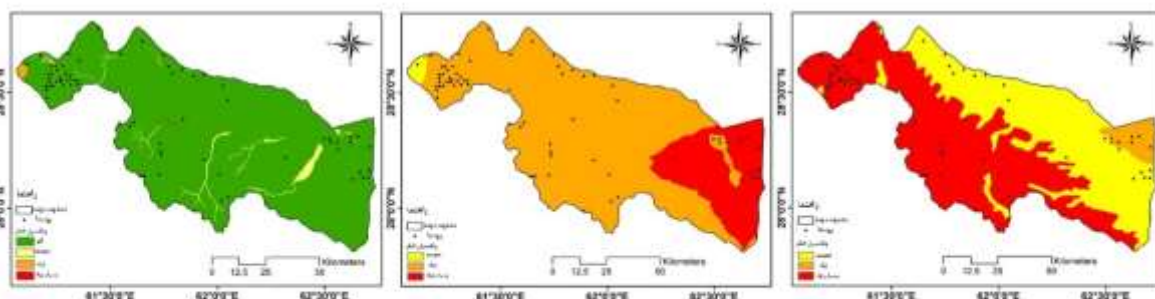
1. Horton
2. Rai and Mohan



نقشه ۱- طبقه بندی لایه ارتفاع

نقشه ۲- طبقه بندی لایه شیب

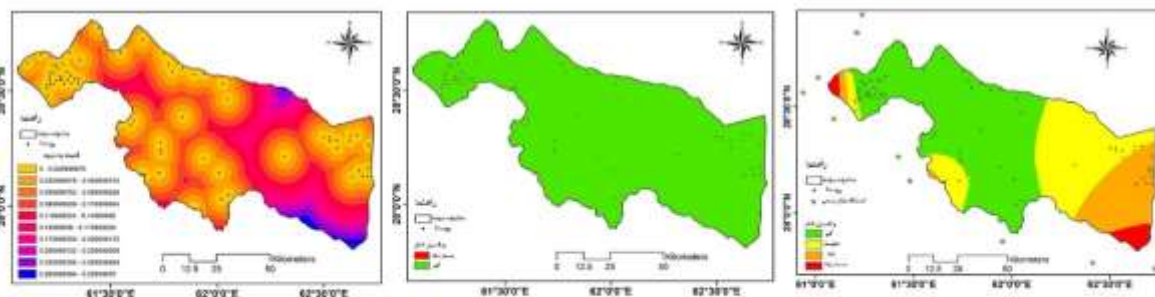
نقشه ۳- طبقه بندی لایه زمین شناسی



نقشه ۴- طبقه بندی لایه خاک

نقشه ۵- طبقه بندی لایه پوشش گیاهی

نقشه ۶- طبقه بندی لایه کاربری اراضی

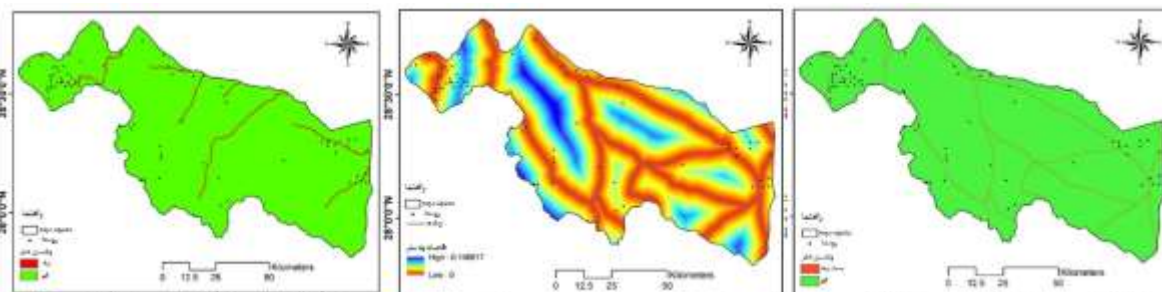


نقشه ۷- طبقه بندی لایه بارش

نقشه ۸- طبقه بندی لایه آبادی‌ها

نقشه ۸-۱- حریم آبادی‌ها

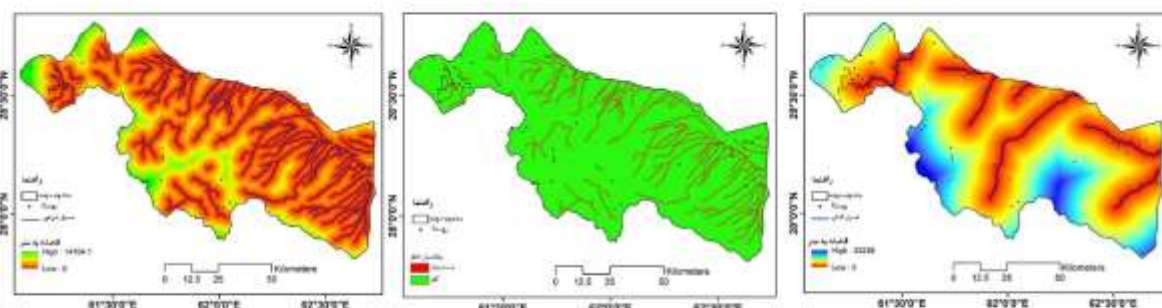
(ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۰)



نقشه ۱۰- طبقه‌بندی لایه مسیل‌های اصلی

نقشه ۹-۱-۹- حریم جاده‌ها

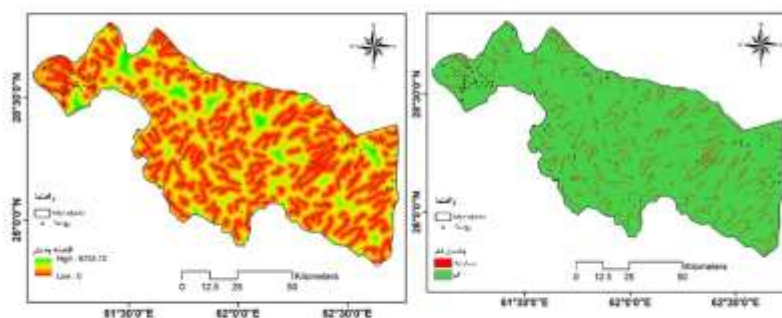
نقشه ۹- طبقه‌بندی لایه جاده‌ها



نقشه ۱۱-۱-۱۱- حریم مسیل‌های فرعی

نقشه ۱۱- طبقه‌بندی لایه مسیل‌های فرعی

نقشه ۱۰-۱-۱۰- حریم مسیل‌های اصلی



نقشه ۱۲- طبقه‌بندی لایه تراکم زهکشی

نقشه ۱۲-۱-۱۲- حریم تراکم زهکشی

(ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۰)

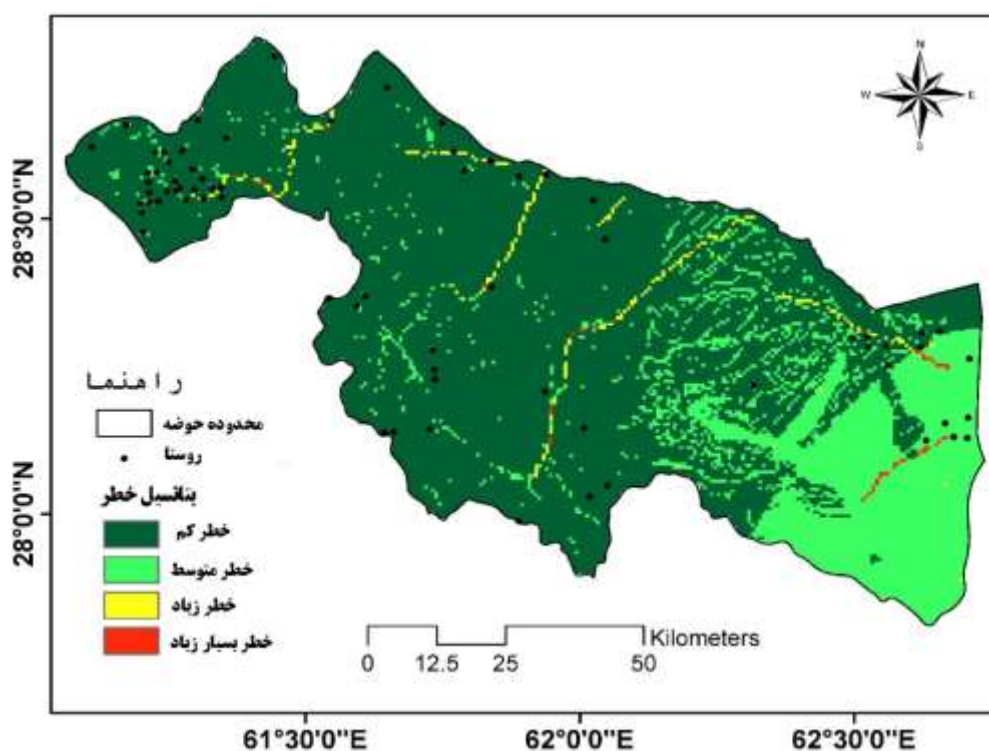
در جدول ۳ ویژگی‌های طبقات هر لایه از لحاظ اندازه و تعداد پیکسل و مساحت طبقات مختلف از نظر شدت سیل‌خیزی نشان داده شده است؛ که با توجه به ویژگی هر لایه مساحت طبقه پرخطر متغیر است.

جدول ۳- مساحت ظرفیت میزان سیل خیزی منطقه در لایه‌های تحقیق (یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰)

مساحت کل به کیلومتر مربع	مساحت هر پیکسل به متر مربع	تعداد پیکسل	پارامتر لایه	
			خطر کم	خطر زیاد
۸۱۱۱/۲۶۵	۲۵۰۰	۳۲۴۴۵۰۶	خطر کم	کاربری اراضی
۱۷۴/۷۴۵	۲۵۰۰	۶۹۱۹۱	خطر متوسط	
۴۳/۶۵۷۵	۲۵۰۰	۱۷۴۶۳	خطر زیاد	
۴/۵۸	۲۵۰۰	۱۸۳۲	خطر بسیار زیاد	
۵۰۶/۵۱۵	۲۵۰۰	۲۰۲۶۰۶	خطر کم	زمین‌شناسی
۵۷۰۸/۶۱۲۵	۲۵۰۰	۲۲۸۳۴۴۵	خطر متوسط	
۱۵۲۹/۷۷۵	۲۵۰۰	۶۱۱۹۱۰	خطر زیاد	
۳۵۳/۶۵۷۵	۲۵۰۰	۱۴۱۴۶۳	خطر بسیار زیاد	
۳۴۸۱/۴	۲۵۰۰	۱۳۹۲۵۶۰	خطر متوسط	خاک
۳۰۰/۱۶۲۵	۲۵۰۰	۱۲۰۰۶۵	خطر زیاد	
۴۴۱۰/۶۷۵	۲۵۰۰	۱۷۶۴۲۷۰	خطر بسیار زیاد	
۸۶/۲۵	۲۵۰۰	۳۴۵۰۰	خطر متوسط	
۶۴۲۷/۱۹۷۵	۲۵۰۰	۲۵۷۰۸۱۹	خطر زیاد	پوشش گیاهی
۱۶۹۳/۴۰۷۵	۲۵۰۰	۶۷۱۳۶۳	خطر بسیار زیاد	
۴۲۳/۴۸۲۵	۲۵۰۰	۱۶۹۳۹۳	خطر کم	
۱۳۵۱/۳۴۵	۲۵۰۰	۵۴۰۵۳۸	خطر متوسط	ارتفاع
۲۱۰۴/۹	۲۵۰۰	۸۴۱۹۶۰	خطر زیاد	
۴۶۵۹/۸۷۷	۲۵۰۰	۱۸۶۳۹۵۱	خطر بسیار زیاد	
۵۱۳۳/۸۰۵	۲۵۰۰	۲۰۵۳۵۲۲	خطر کم	
۱۰۷۹/۰۰۲۵	۲۵۰۰	۴۳۱۶۰۱	خطر متوسط	شیب
۷۶۴/۸۱۷۵	۲۵۰۰	۳۰۵۹۲۷	خطر زیاد	
۱۵۶۱/۹۸	۲۵۰۰	۶۲۴۷۹۲	خطر بسیار زیاد	
۴۵۴۱/۸۳۸	۴۳۰۶۱۸/۹۸	۱۰۵۴۷	خطر کم	بارش
۲۴۸۲/۵۱۸	۴۳۰۶۱۸/۹۸	۵۷۶۵	خطر متوسط	
۱۲۹۰/۱۳۴	۴۳۰۶۱۸/۹۸	۲۹۹۶	خطر زیاد	
۲۲۵/۲۱۳	۴۳۰۶۱۸/۹۸	۵۲۳	خطر بسیار زیاد	
۲۷/۰۶۸	۳۸۶۶۸۷/۴۲	۷۰	پرخطر	آبادی
۸۵۱۲/۵۳۶	۳۸۶۶۸۷/۴۲	۲۲۰۱۴	کم خطر	
۱۳۷/۶۱	۳۸۶۹/۸	۳۵۵۶۰	پرخطر	جاده
۸۴۰۱/۹۹۳	۳۸۶۹/۸	۲۱۷۱۱۷۰	کم خطر	
۱۲۰/۴۲۳	۱۸۱۷/۰۳۳۶	۶۳۸۱۶	پرخطر	آبراهه اصلی
۸۳۷۱/۰۶۶	۱۸۱۷/۰۳۳۶	۴۴۳۶۰۹۸	کم خطر	

مساحت کل به کیلومتر مربع	مساحت هر پیکسل به متر مربع	تعداد پیکسل	پارامتر لایه	
			پرخطر	آبراهه فرعی
۵۲۳/۴۹۳	۱۸۸۷/۰۳۳۶	۲۷۷۴۱۶	پرخطر	آبراهه فرعی
۷۹۶۷/۹۹۵	۱۸۸۷/۰۳۳۶	۴۲۲۲۴۹۸	کم خطر	آبراهه فرعی
۳۸۹/۶۵۷	۱۸۸۷/۰۳۳۶	۲۰۶۴۹۲	پرخطر	تراکم
۸۱۰۱/۸۳۱	۱۸۸۷/۰۳۳۶	۴۲۹۳۴۲۲	کم خطر	زهکشی

تلفیق لایه‌ها و تهیه نقشه پتانسیل خطر سیل خیزی: پس از اینکه در هر لایه طبقات کم خطر تا بسیار پرخطر مشخص شد در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی و با استفاده از ابزار هم پوشانی وزنی، میزان اثر هر معیار تعیین و تلفیق شد. بدین ترتیب که نواحی بسیار پرخطر بالاترین وزن و نواحی کم خطر کمترین وزن را دریافت نمودند (نقشه شماره ۱۳).



نقشه ۱۳- پتانسیل خطر سیلاب در سطح حوضه آبریز تهلاب (ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۰)

۴- بحث

پژوهش‌های خارجی و داخلی متعدد و متفاوتی مرتبط با موضوع این تحقیق انجام شده است که جدیدترین آنها به بررسی مخاطرات سیلاب با اطلاعات فضایی و پهنه‌بندی سیلاب (آریا و سینگ، ۲۰۲۱)، تخمین خطر بیشینه سیلاب در زیرحوضه‌های رودخانه آرکانزاس کالیفرنیا (مارچسین و همکاران، ۲۰۲۱)، بررسی میزان پتانسیل زیرحوضه‌های شیطور بافق در ایجاد سیلاب از لایه‌های رقومی (حسن‌زاده نفوتی و خواجه بافقی، ۱۳۹۵) و پتانسیل سیل‌خیزی حوضه زنگمار ماکو در آذربایجان غربی با استفاده از مدل فازی (قلی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶) پرداخته‌اند. این پژوهش‌ها بیشتر برحوضه‌ها و عوامل طبیعی در ایجاد مخاطرات طبیعی تمرکز داشته‌اند. تشابه تحقیقات قبلی با این تحقیق در یک سطح آشکار است، آن بررسی و سنجش میزان خطرات سیل‌خیزی و پهنه‌بندی مخاطرات آن در یک حوضه طبیعی است؛ اما تفاوت این مقاله با تحقیقات پیشین، در بررسی ارتباط بین مخاطرات طبیعی ناشی از سیل بر سکونتگاه‌های انسانی در منطقه خشک سیستان و بلوچستان بوده که تا کنون چنین تحقیقی در این منطقه جغرافیایی انجام نشده است. تفاوت آشکار دیگر به محدوده مطالعه مربوط است که در دو کشور پاکستان و ایران قرار دارد. اهمیت این محدوده در این است که با رویکرد علت (با منشأ عمدتاً برون مرزی) و معلولی (اثرگذاری در فضای داخلی) مخاطرات طبیعی ناشی از سیل را بر سکونتگاه‌های انسانی در بخشی از استان سیستان و بلوچستان با تاکید بر درون مرزهای ایران مورد بررسی و سنجش قرار داده است که به نوبه خود جدید محسوب می‌شود؛ بنابراین طبقه بندی و تعیین حوضه‌های خطر ناشی از سیل برای اقدامات پیشگیرانه و برنامه ریزی‌های لازم بحث مهم در فرایند بررسی در این تحقیق بوده است. همانطور که در نقشه ۱۳ مشخص است به سبب وزن بالای مسیل اصلی غالب نواحی پرخطر در امتداد این لایه قرار گرفته‌اند و مساحت ناحیه بسیار پرخطر و ناحیه پرخطر نسبت به سطح حوضه درصد بسیار کمی را شامل می‌شوند. ناحیه پرخطر کمتر از ۱ درصد مساحت حوضه را در بر گرفته است. علیرغم محدود بودن این ناحیه، به سبب استقرار سکونتگاه‌ها و مسیر جاده، این ناحیه از اهمیت بالایی جهت مدیریت سیلاب برخوردار است (جدول ۴)

جدول ۴- مساحت و درصد پوشش سطح حوضه از نظر خطر سیل‌خیزی (یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰)

طبقات خطر	مساحت (km ²)	به درصد
خطر کم	۶۲۲۲/۲۵۸	۷۷/۲۹۶
خطر متوسط	۱۸۱۷/۵۱	۲۲/۵۷۸
خطر زیاد	۱۰/۱۰۴	۰/۱۲۵۵
خطر بسیار زیاد	۰/۰۴۰۳۶۵	۰/۰۰۰۵
جمع	۸۰۴۹/۹۱۲۳۶۵	۱۰۰

جدول ۴ سکونتگاه‌های واقع در محدوده بسیار پرخطر و خطرناک نشان داده شده‌اند. علیرغم کم بودن مساحت این محدوده مشاهده شد ۲۴ سکونتگاه در معرض خطر سیلاب هستند. اهمیت این موضوع زمانی دوچندان می‌شود که به سبب خشکه رود بودن مسیل‌ها، برنامه‌ریزان کمترین توجه را به این ویژگی حوضه می‌کنند (جدول ۵).

جدول ۵- طبقه بندی آبادی‌های موجود در حوضه آبریز تهلاب در برابر خطر سیلاب (یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰)

ردیف	نام آبادی	کلاس طبقه	ردیف	نام آبادی	کلاس طبقه
۱	ریکو	خطر بسیار زیاد	۱۳	بیجار	خطر زیاد
۲	تهلاب	خطر بسیار زیاد	۱۴	رود تهلاب	خطر زیاد
۳	نارانو	خطر بسیار زیاد	۱۵	چاه نیدوم	خطر زیاد
۴	سرسارود	خطر زیاد	۱۶	کیندی	خطر زیاد
۵	کولوکو	خطر زیاد	۱۷	کلاته پالش	خطر زیاد
۶	گردنه ودوادپس	خطر زیاد	۱۸	گورانی پین	خطر زیاد
۷	درونه	خطر زیاد	۱۹	یارمحمد	خطر زیاد
۸	خوشاب	خطر زیاد	۲۰	کوه سفید	خطر زیاد
۹	لارومبا	خطر زیاد	۲۱	گلی کوه	خطر زیاد
۱۰	پوچگلی سنگان	خطر زیاد	۲۲	گردنه بونداران	خطر زیاد
۱۱	گرو	خطر زیاد	۲۳	کوه میریمسار	خطر زیاد
۱۲	چاه شورمزه	خطر زیاد	۲۴	شاکول	خطر زیاد

۵- جمع‌بندی

سیاست‌گذاری و برنامه ریزی برای کاهش و جبران مخاطرات طبیعی در کشورهای خشک و نیمه‌خشک مانند ایران از اولویت‌های دولت‌ها بوده است. تنوع طبیعی و وضع توپوگرافیکی ایران در شرایط کم توجهی به مخاطرات همواره موجب خسارت و مهاجرت‌های عمدتاً روستا- شهری شده است. استان سیستان و بلوچستان و حوضه آبریز تهلاب یک منطقه خاص جغرافیایی اثر پذیری از خطر سیلاب‌های اتفاقی با منشأ برون مرزی در جنوب شرق ایران است؛ بنابراین اگر سیاست‌ها و برنامه‌های دولت و مسئولین محلی مانند سازمان آب منطقه‌ای اجرایی نشود، سکونتگاه‌های انسانی در محدوده تحقیق همچنان در محاصره تهدید و مخاطرات اجتماعی را تداوم می‌بخشند یا در شرایط اضطرار مهاجرت را در اولویت قرار خواهند داد که این فرایند در ایجاد مخاطرات انسانی و امنیت ملی و منطقه‌ای موثرند. با توجه به اینکه در محدوده این تحقیق رودخانه دائمی و فصلی وجود ندارد، ساکنان بدون در نظر گرفتن خطر سیلاب اقدام به فعالیت‌های گوناگون در حاشیه حوضه آبریز می‌کنند که این امر زمینه‌ساز مخاطرات

طبیعی و انسانی بوده و خواهد بود. نتایج این تحقیق نشان داد هر لایه در بخش‌های مختلف حوضه تحقیق دارای تفاوت مکانی است که این تفاوت‌ها سبب تفاوت در ظرفیت خطرآفرینی سیلاب می‌شوند. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که از میان ۱۲ لایه فوق لایه آبراهه اصلی با وزن ۰/۲۴۹، شیب با وزن ۰/۱۶۷، کاربری اراضی با وزن ۰/۱۲۵ و بارش با وزن ۰/۸۶۴۳۲ بیشترین نقش را در تعیین پتانسیل خطر سیل‌خیزی دارند (همسو با نتایج پژوهش ملازهی و دیگران، ۱۳۹۹؛ حسن‌نژاد خیارک، ۱۳۹۶؛ مارچسینی و همکاران، ۲۰۲۱؛ آریا و سینگ، ۲۰۲۱). نقشه حاصله از همپوشانی وزنی لایه‌های فوق (نقشه ۱۳) بیانگر این مهم بود که کمتر از یک درصد مساحت حوضه دارای پتانسیل خطر سیلاب زیاد است؛ حدود ۲۲٪ در طبقه با خطر سیلاب متوسط و ۷۷٪ در طبقه خطر سیلاب کم قرار دارند. علیرغم نبود جریان دائمی، همین محدوده اندک پرخطر به سبب رسوبات حاصلخیز بیشتر توسط ساکنان جهت فعالیت‌های مختلف استفاده شده و از طرفی به دلیل استقرار کانون‌های اصلی جمعیتی در این نواحی، در نتیجه زمینه خطر سیلاب پس از هر رگبار زمستانه سودانی و باران‌های شدید تابستانه مونسونی در اقلیم خشک این حوضه کاملاً مهیا است. به‌طوری‌که ۲۴ سکونتگاه مهم از مجموع ۶۸ سکونتگاه‌های حوضه در محدوده پتانسیل خطر زیاد تا خطر بسیار زیاد واقع گردیده‌اند. نقشه پهنه‌بندی تهیه شده در این مطالعه می‌تواند جوهره دانشی مناسبی برای برنامه‌ریزان در خصوص مطالعات سیلاب و مدیریت بحران در حوضه مورد مطالعه باشد. به‌ویژه آنکه گسترش سکونتگاه‌ها نه تنها در این حوضه بلکه در غالب حوضه‌های آبخیز ایران بدون ظرفیت‌سنجی خطر سیلاب صورت گرفته است؛ بنابراین باید به این مهم توجه داشت که مدیریت اصولی سیلاب علیرغم کاهش خسارات جانی و مالی، سبب تبدیل تهدید به فرصت خواهد شد. این فرصت‌ها باحفر چاه‌های جذبی، تعبیه سدها و آب‌بندها تحت نظارت کارشناسان آبخیزداری، به‌وجود خواهد آمد. با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان در دو سطح پیشنهادهای اجرایی و پیشنهادهای برای پژوهش‌های آتی را ارائه کرد:

در ارتباط با پیشنهادهای اجرایی باید توجه نمود که در رویکرد مدیریتی و اجرایی، دو مقوله حائز اهمیت است: اول، توان تخریب سیلاب و هرآنچه که در معرض تماس با سیلاب قرار می‌گیرد. دوم، استفاده از روش‌های سازه‌ای (برنامه تأمین زمان ماند آب) به‌منظور کاهش توان تهدید سیلاب، که همواره از آن به‌عنوان تجربه موفق جهانی از جمله در کشور ژاپن یاد می‌شود، اقدامات اجرایی موثر بدین شرح است:

- ایجاد برکه‌ها (یا بندسارها) به‌منظور جمع‌آوری و ذخیره آب‌های سطحی.
- ایجاد حوضچه تاخیری و تونل انحراف به‌منظور جلوگیری از تماس مستقیم سیلاب با سکونتگاه‌ها.
- ایجاد پوشش گیاهی در حریم حوضه آبخیز.
- نظارت دقیق بر گسترش سکونتگاه‌ها در حریم حوضه آبخیز.

- ایجاد خاکریز و تعریض آن در طول مسیر حوضه.
 - از جمله مهم‌ترین روش‌های غیرسازه‌ای به منظور کاهش تماس هرآنچه که در معرض خطر سیلاب هستند:
 - استفاده از سیستم اعلام هشدار برمبنای مدل‌های پیش‌بینی سیلاب.
 - سیاست‌های تشویقی به منظور انتقال سکونتگاه ساکنانی که در معرض خطر زیاد و بسیار زیاد سیلاب قرار دارند.
 - آموزش عمومی و تهیه نقشه‌های قابل فهم و کاربردی از مناطق سیل‌گیر، به منظور آگاهی‌رسانی و کاهش آسیب‌پذیری اجتماعی.
- از مهم‌ترین پیشنهادها برای پژوهش‌های آتی می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:
- استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در طول سری زمانی بلند مدت، محقق را قادر خواهد ساخت تا تغییرات و رفتار رواناب‌ها را بررسی کند و شناخت مناسبی را برای مدیریت فضایی بدست می‌آورد؛ ازین رو پژوهش‌های آتی می‌تواند با تاکید بر مدیریت فضایی محدوده مورد مطالعه انجام شود.
 - با توجه به آنکه این پژوهش در داخل مرزهای سیاسی ایران انجام گرفته است. مناسب خواهد بود در پژوهش‌های بعدی مطالعه حوضه تهلاب در خارج از مرزهای سیاسی انجام گیرد.
- با توجه به تصاویر ماهواره‌ای اخذ شده از نرم‌افزار Google Earth Pro 7.3.1، حدود ۱۲۰۰ کیلومتر مربع از مساحت حوضه، خارج از مرزهای سیاسی ایران قرار دارد که به سبب سختی دسترسی به اطلاعات آن، به ناچار این پژوهش در محدوده داخل مرزهای ایران پرداخته که این مورد از محدودیت‌های پژوهش حاضر به شمار می‌آید.

کتابنامه

- جانانه، کریستینه؛ ۱۳۹۲. پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی در حوضه آبریز کبوتر علی چای با استفاده از مدل SGS. پایان نامه کارشناسی ارشد. رشته جغرافیای طبیعی. دانشکده جغرافیا. دانشگاه تبریز. گرایش ژئومورفولوژی در برنامه ریزی محیطی.
- حسن‌زاده نفوتی، محمد؛ خواجه بافقی، حبیب...؛ ۱۳۹۵. پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شیطان بافق). پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. سال هفتم. شماره ۱۴. ۳۷-۲۹. <https://doi.org/10.29252/jwmr.7.14.37>
- حسن‌نژاد خیارک، ملاحظ؛ ۱۳۹۶. بررسی پتانسیل سیل خیزی حوضه شهری اردبیل با استفاده از مدل الکترون. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مخاطرات محیطی. دانشکده علوم انسانی و علوم اجتماعی. دانشگاه مازندران. ۹۲-۱.

خسروشاهی، محمد؛ ابطحی، مرتضی؛ کاشکی، محمدتقی؛ لطفی‌نسب، سکینه؛ درگاهیان، فاطمه؛ ابراهیمی‌خوسفی، زهره؛ ۱۳۹۶. تعیین قلمرو بیابان‌های ایران از جنبه عوامل محیط طبیعی. *نشریه علمی تحقیقات مرتع و بیابان ایران*.

<https://doi.org/10.22092/ijrdr.2017.111904>

دوره ۲۴. شماره ۲. ۱۳۹۶-۴۰۴.

سازمان آب منطقه‌ای استان سیستان و بلوچستان. ۱۴۰۰.

سازمان هواشناسی استان سیستان و بلوچستان. ۱۴۰۰.

شعبانلو، سعید؛ صدقی، حسین؛ ثقفیان، بهرام؛ ۱۳۸۷. پهنه‌بندی سیلاب در شبکه رودخانه‌های استان گلستان با استفاده

از GIS. *مجله پژوهش آب ایران*. سال دوم. شماره ۳. ۲۲-۱۱. http://iwrij.sku.ac.ir/article_10784.html

قلی‌زاده، آیلا؛ قنوتی، عزت‌الله؛ افشارمنش، حمیده؛ امان‌اله‌پور، حجت؛ ۱۳۹۶. کارایی مدل فازی در پتانسیل سیل‌خیزی

حوضه زنگمار. *فضای جغرافیایی*. سال هفدهم. شماره ۶۰. ۲۴۵-۲۲۷.

<http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-654-fa.html>

مصطفی‌زاده، رئوف؛ صفریان‌زنگیر، وحید؛ حاجی، خدیجه؛ ۱۳۹۷. تحلیل الگو و شرایط وقوع بارش‌های منجر به

سیل در سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳ در شهرستان گرمی استان اردبیل. *مجله مخاطرات محیط طبیعی*. دوره ۷. شماره ۱۵.

<https://doi.org/10.22111/jneh.2017.3205>

صص ۸۹-۱۰۶.

مقصودی، مهران؛ جوان، حسین؛ رحیمی، مجتبی؛ عظیمی‌راد، صمد؛ ۱۳۹۲. تعیین مناطق مستعد سیل با استفاده از

پتانسیل‌سنجی عوامل مؤثر (مطالعه موردی: رود شاهرود). *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*. سال دوم. شماره ۲.

http://www.geomorphologyjournal.ir/article_77915.html

۱۷۵-۱۸۶.

ملازهی، اسدالله؛ پودینه، محمدرضا؛ خسروی، محمود؛ آرمش، محسن؛ دهواری، علی‌اصغر؛ ۱۳۹۹. پتانسیل‌سنجی خطر

سیلاب در حوضه آبریز سرباز. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*. شماره ۵۸. ۲۶۰-۲۴۲.

<https://doi.org/10.29252/jgs.20.58.241>

میرزایی، شهناز؛ اسمعیلی، اباذر؛ مصطفی‌زاده، رئوف؛ قربانی، اردوان؛ میرزایی، سجاد؛ ۱۳۹۷. شبیه‌سازی هیدروگراف

سیل و تحلیل ارتباط آن با سنج‌های سیمای سرزمین در حوضه آبخیز عموقین استان اردبیل. *مجله اکوهیدرولوژی*.

<https://doi.org/10.22059/ije.2018.231141.547>

دوره ۵. شماره ۲. صص ۳۵۷-۳۷۲.

نوحه‌گر، احمد؛ کاظمی، محمد؛ قصردشتی‌روشن، محمد؛ رضائی، پیمان؛ ۱۳۹۱. بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر

پتانسیل سیل‌خیزی (مطالعه موردی حوضه آبخیز تنگ بستانک شیراز). *پژوهش‌های فرسایش محیطی*. شماره ۲.

<http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-85-fa.html>

۲۸-۴۱.

Arabameri, A., Rezaei, K., Cerd`a, A., Conoscenti, C., Kalantari, Z., 2019. A comparison of statistical methods and multi-criteria decision making to map flood hazard susceptibility in Northern Iran. *Sci. Total Environ.* 660, 443–458. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.021>.

Arya, A. K., & Singh, A. P., 2021. Multi criteria analysis for flood hazard mapping using GIS techniques: a case study of Ghaghara River basin in Uttar Pradesh, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(8), 1–12.

<https://doi.org/10.1007/s12517-021-06971-1>.

- Ballesteros-Cánovas JA, Sanchez-Silva M, Bodoque JM, Díez-HerreroA., 2013. An integrated approach to flood risk management: a case study of Navaluenga (Central Spain). *Water Resour Manage* 27(8):3051–3069. <https://doi.org/10.1007/s11269-013-0332-1>.
- Chen, Y. R., Yeh, C. H., & Yu, B., 2011. Integrated application of the analytic hierarchy process and the geographic information system for flood risk assessment and flood plain management in Taiwan. *Natural Hazards*, 59(3), 1261-1276. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9831-7>.
- CRED., 2009. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). EM-DAT: The International Disaster Database. Brussels, Belgium, Université Catholique de Louvain.
- Dano, U.L., Balogun, A.-L., Matori, A.-N., Wan Yusouf, K., Abubakar, I.R., Said Mohamed, M.A., Aina, Y.A., Pradhan, B., 2019. Flood susceptibility mapping using GIS-based analytic network process: a case study of Perlis, Malaysia. *Water-Sui* 11, 615. <https://doi.org/10.3390/w11030615>.
- Das, S., 2019. Geospatial mapping of flood susceptibility and hydro-geomorphic response to the floods in Ulhas basin, India. *Remote Sens. Appl. Soc. Environ.* 14, 60–74. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.02.006>.
- Degrossi, L. C., de Albuquerque, J. P., Fava, M. C., & Mendiondo, E. M., 2014. Flood Citizen Observatory: a crowdsourcing-based approach for flood risk management in Brazil. In *SEKE* (pp. 570-575). https://ksiresearch.org/seke/seke14paper/seke14paper_74.pdf.
- Eguaroje, O.E., Alaga, T. A., Ogbale, J. O., Omolere, S., Alwadood, J., Kolawole, I. S., Muibi, K. H., Nnaemeka, D., Popoola, D. S., Samson, S. A., Adewoyin, J. E., Jesuleye, I., Badru, R. A., Atijosan, A., Ajileye, O. O., 2015. Flood Vulnerability Assessment of Ibadan City, Oyo State, Nigeria. *World Environment* 5(4), 149-159. <https://doi.org/10.5923/j.env.20150504.03>.
- Foody, G.M., E.M. Ghoniem & N.W. Arnell., 2004. Predicting locations sensitive to flash flooding in an arid environment. *Journal of hydrology*, (ARTICLIEN PRESS). <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.12.045>.
- Gashaw W, Legesse D., 2011. Flood hazard and risk assessment using GIS and remote sensing in Fogera Woreda, Northwest Ethiopia. *Nile River Basin*, pp.:179–206. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0689-7_9.
- Gaume E, Bain V, Bernardara P, Newinger O, Barbuc M, Bateman A, Viglione A., 2009. A compilation of data on European flash floods. *J Hydrol* 367(1-2):70–78 . <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.12.028>.
- Habibi, A., Firouzi Jahantighi, F., Sarafrazi, A., 2015. Fuzzy Delphi Technique for Forecasting and Screening Items. *Asian Journal of Research in Business Economics and Management*. Vol. 5, No. 2. PP. 130-143. <https://doi.org/10.5958/2249-7307.2015.00036.5>.
- Horton RE., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bull Geol Soc Am* 56:275–370. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2)
- Huseyin, A., & Musteyde, B., 2020. Flash flood potential prioritization of sub-basins in an ungauged basin in Turkey using traditional multi-criteria decision-making methods. *Springer-Verlag GmbH Germany*, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s00500-020-04792-0>.
- Hyalmarson, H.W., 1988. *Flood Hazard Zonation in Aridland*. Wesley Publishers, 114 pp. <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1988/1201/1201-001.pdf>.
- Jiann, L., & Gwo-Hshiung, T., 2011. An integrated MCDM technique combined with DEMATEL for a novel cluster-weighted with ANP method. *Expert Systems with Applications*, 1417-1424. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.07.048>.

- John, F., J. England, Y. Pierre Julien and M.L. Velleux., 2014. Physically-Based Extreme Flood Frequency with Stochastic Storm Transposition and Pale flood Data on large Watersheds. *Journal of Hydrology*, 510: 228-245. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.12.021>.
- Jongman, B., Winsemius, H.C., Fraser, S.A., Muis, S., Ward, P.J., 2018. Assessment and adaptation to climate change-related flood risks. In: *Oxford Research Encyclopedia of Natural Hazard Science*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389407.013.278>.
- Kain, C.L., Rigby, E.H., Mazengarb, C., 2018. A combined morphometric, sedimentary, GIS and modelling analysis of flooding and debris flow hazard on a composite alluvial fan, Caveside, Tasmania. *Sedimentary Geology*, 364: 286-301. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2017.10.005>.
- Kanani-Sadat, Y., Arabsheibani, R., Karimipour, F., Nasserli, M., 2019. A new approach to flood susceptibility assessment in data-scarce and ungauged regions based on GIS-based hybrid multi criteria decision-making method. *J. Hydrol.* 572, 17–31. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.02.034>
- Khosravi, K., Nohani, E., Maroufinia, E., Pourghasemi, H.R., 2016. A GIS-based flood susceptibility assessment and its mapping in Iran: a comparison between frequency ratio and weights-of-evidence bivariate statistical models with multi-criteria decision-making technique. *Nat. Hazards* 83, 947–987. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2357-2>.
- Khosravi, K., Shahabi, H., Pham, B.T., Adamowski, J., Shirzadi, A., Pradhan, B., Dou, J., Ly, H.-B., Gr'of, G., Ho, H.L., Hong, H., Chapi, K., Prakash, I., 2019. A comparative assessment of flood susceptibility modelling using Multi-Criteria Decision-Making Analysis and Machine Learning Methods. *J. Hydrol.* 573, 311–323. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.03.073>.
- Kourgialas, N. N., & Karatzas, G. P., 2011. Flood management and a GIS modelling method to assess flood-hazard areas-a case study. *Hydrological Sciences Journal–Journal des Sciences Hydrologiques*, 56(2), 212-225. <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.555836>.
- Liang, S. and C.R.C. Mohanty., 1997. Optimization of GIS-Based Flood Hazard Zoning a Case Study at the Mahanady Command Area in Cuttack District, Orissa, India. *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 28: 11-20. <https://www.sid.ir/en/Journal/ViewPaper.aspx?ID=215539>.
- Liuzzo, L., Sammartano, V., Freni, G., 2019. Comparison between different distributed methods for flood susceptibility mapping. *Water Resour. Manag.* 33, 3155–3173. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02293-w>.
- Maggioni, V., Massari, C., 2018. On the performance of satellite precipitation products in riverin flood modeling: A review. *Journal of Hydrology*, 558: 214-224. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.01.039>.
- Marchesini, I., Salvati, P., Rossi, M., Donnini, M., Sterlacchini, S., & Guzzetti, F., 2021. Data-driven flood hazard zonation of Italy. *Journal of Environmental Management*, 294(May), 112986. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112986>.
- Mohseni, M. and Soleimani, K., 2010. *Flood Hazard Zonation Using Hydrolic Model of HEC-RAS in GIS*, Natural Hazards Management, GIS Development Publication, Canada.
- Papaoannou, G., Vasiliades, L., Loukas, A., 2015. Multi-criteria analysis framework for potential flood prone areas mapping. *Water Resour. Manag.* 29, 399–418. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0817-6>.
- Rahmati, O., Zeinivand, H., Besharat, M., 2016b. Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis. *Geomatics, Nat. Hazards Risk* 7, 1000–1017. <https://doi.org/10.1080/19475705.2015.1045043>.

- Rai PK, Mohan K., 2014. Remote sensing data & GIS for flood risk zonation mapping in Varanasi District, India. *Forum Geografic*.13(1):25–33. [http:// dx.doi.org/ 10.5775/ fg.2067-4635.2014. 041.i](http://dx.doi.org/10.5775/fg.2067-4635.2014.041.i).
- Saaty TL., 2005. Theory and applications of the analytic network. RWS Publications, Pittsburgh, 491-502.
- Saaty, T., 1980. The analytic hierarchy process. New York: McGraw-Hill. [https:// doi.org/ 10.1504/ IJSSCI. 2008. 017590](https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590)
- Saaty, T., 1996. Decision making with dependence and feedback: Analytic network process. Pittsburgh: RWS Publications.
- Sahana, M., Patel, P.P., 2019. A comparison of frequency ratio and fuzzy logic models for flood susceptibility assessment of the lower Kosi River Basin in India. *Environ. Earth Sci.* 78, 289. [http:// dx.doi.org/ 10.1007/ s12665- 019-8285-1](http://dx.doi.org/10.1007/s12665-019-8285-1)
- Shadmehri Toosi, A., Calbimonte, G. H., Nouri, H., & Alaghmand, S., 2019 .scale -River basin criteria decision analysis approach: A case -flood hazard assessment using a modified multi study. *Journal of Hydrology*, . <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.072>
- Singh AP, Arya AK, Singh DS., 2020a. Morphometric analysis of Ghaghara River basin, India, using SRTM data and GIS. *J Geol Soc India* 95(2):169–178. <https://doi.org/10.1007/s12594-020-1406-3>.
- Singh K, Arya AK, Agarwal KK., 2020b. Landslide occurrences along lineaments on NH-154A, Chamba, Himachal Pradesh; extracted from Satellite Data Landsat 8, India. *J Indian Soc Remote Sens* 48(5):791–803. <https://doi.org/10.1007/s12524-020-01113-8>.
- Souissi, D., Zouhri, L., Hammami, S., Msaddek, M. H., Zghibi, A., & Dlala, M., 2020. GIS-based MCDM–AHP modeling for flood susceptibility mapping of arid areas, southeastern Tunisia. *Geocarto International*, 35(9), 991–1017. [https:// doi.org/ 10.1080/ 10106049 .2019. 1566405](https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1566405)
- Stamy T.C. and Hess, G.W., 1993. Techniques for Estimating Magnitude and Frequency of Floods in Rural Basins in Georgia, Water Resources Investigation Report, 93- 4016, USGS Publication, USA. <https://doi.org/10.3133/wri934016> .
- Stefanidis S, Stathis D., 2013. Assessment of flood hazard based on natural and anthropogenic factors using analytic hierarchy process (AHP). *Nat Hazards* 68(2):569–585. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0639-5>.
- Thilagavathi, G., Tamilenth, S., Ramu, C. and Baskaran, R., 2011. Application of GIS in Flood Hazard Zonation Studies in Papanasam Taluk, Thanjavur District, Tamilnadu, *Advances in Applied Science Research*, Vol. 2, No. 3, PP. 574-585. [https:// www.primescholars.com/ abstract/ application-of-gis- in-flood-hazard-zonation-studies-in-papanasam-taluk-thanjavur-district-tamilnadu-89057.html](https://www.primescholars.com/abstract/application-of-gis-in-flood-hazard-zonation-studies-in-papanasam-taluk-thanjavur-district-tamilnadu-89057.html)
- Vojtek, M., Vojteková, J., 2019. Flood susceptibility mapping on a national scale in Slovakia using the analytical Hierarchy process. *Water* 11, 364. <https://doi.org/10.3390/w11020364>
- Wang, Y., Hong, H., Chen, W., Li, S., Panahi, M., Khosravi, K., Shirzadi, A., Shahabi, H., Panahi, S., Costache, R., 2019b. Flood susceptibility mapping in Dingnan County (China) using adaptive neuro-fuzzy inference system with biogeography-based optimization and imperialistic competitive algorithm. *J. Environ. Manag.* 247, 712–729. [https:// doi.org/ 10.1016/ j.jenvman. 2019.06.102](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.102)