مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی
Management of Natural Ecosystems
دوره ۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۲، ۱۵-۱
Volume 3, Issue 3, Autumn 2023, 1-15
http://emj.ardakan.ac.ir/article_719755.html

# پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره (مطالعه موردی: حوزه آبخیز ترک آباد اردکان)

علی‌ناصر دهقان طزرجانی[۱]، علی فتح‌زاده*[۲]، مهدی حیات‌زاده[۳]، فرزانه فتوحی‌فیروزآباد[۳]، محمدرضا فاضل پور[۴]

## چکیده

سیل هر ساله منجر به خسارات جانی و مالی فراوانی در سطح جهان و ایران می‌شود. از طرفی مقدار کم بارش، ریزش فصلی و پراکندگی نامنظم آن ضرورت هر چه بیش‌تر مدیریت سیل را در کشور آشکارتر می‌سازد. لذا تحقیق حاضر با هدف پهنه‌بندی خطر وقوع سیل در حوزه آبخیز ترک‌آباد اردکان صورت گرفت. بدین منظور ابتدا اقدام به انتخاب شاخص‌های مهم در پهنه‌بندی خطر سیل در حوضه شد. شاخص‌های کاربری اراضی، زمین‌شناسی، فاصله از آبراهه، درصد شیب، ارتفاع، انحنای زمین، تراکم پوشش گیاهی، گروه‌های هیدرولوژی خاک و ضریب CN انتخاب شد. سپس با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره AHP اقدام به تهیه ساختار سلسله مراتبی و پرسشنامه برای مقایسه زوجی شاخص‌ها شد و با استفاده از نظرات خبرگان و کارشناسان اهمیت شاخص‌ها استخراج شد. برای همپوشانی معیارها و زیرمعیارها ابتدا نقشه عضویت فازی زیرمعیارها محاسبه و در وزن‌های به دست آمده، ضرب شد. سپس با استفاده از عملگر فازی گاما لایه‌ها با یکدیگر ترکیب شده و نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر سیل حاصل شد. نتایج نشان داد که از بین ۹ معیار در نظر گرفته شده در این حوزه، معیارهای شیب، تراکم پوشش گیاهی و فاصله از آبراهه و ارتفاع با وزن‌های ۰/۲۱، ۰/۱۹، ۰/۱۶ و ۰/۱۴ بیش‌ترین اهمیت را به خود اختصاص داده‌اند. هم‌چنین معیارهای زمین‌شناسی، گروه هیدرولوژیکی خاک و ضریب CN با وزن‌های ۰/۰۳، ۰/۰۵ و ۰/۰۶ دارای کمترین اهمیت در پهنه‌بندی خطر سیل منطقه می‌باشند. نتایج پهنه‌بندی خطر سیل نشان داد که ۶/۹۸ درصد از حوضه در کلاس خطر خیلی کم، ۱۷/۵۳ درصد در خطر کم، ۲۵/۰۲ در کلاس خطر متوسط و بیش از ۵۰ درصد حوضه در کلاس خطر سیل زیاد و خیلی زیاد قرار دارند. این موضوع نشان می‌دهد، حوزه آبخیز ترک آباد نیاز به توجه در خصوص خطر سیل داشته و هرگونه توسعه در این حوضه با لحاظ وضعیت سیل آن بایستی انجام شود.

## واژگان کلیدی:

پهنه‌بندی، سیل، شیب، نفوذپذیری، سلسله مراتبی، فازی.

مقاله پژوهشی

۱. کارشناس ارشد آبخیزداری، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.
dehghan@gmail.com
۲. دانشیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.
fat@ardakan.ac.ir
* نویسنده مسئول
۳. استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.
mhayatzadeh@ardakan.ac.ir
f.fotouhi@ardakan.ac.ir
۴. دکتری آبخیزداری، اداره منابع طبیعی و آبخیزداری اردکان، اردکان، ایران.
mr.fazelpoor@gmail.com

**شناسه مقاله:** ۲۴۰۹-۱۰۷۵
**شماره صفحه پیاپی:** ۵۰۸-۵۲۲

**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۳/۰۶/۱۱
**تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۱۰/۰۵
**انتشار آنلاین:** ۱۴۰۳/۱۰/۱۹
**زمان پذیرش:** ۱۱۶روز

**استناددهی:**
دهقان‌طزرجانی، ع.، فتح‌زاده، ع.، حیات‌زاده، م.، فتوحی‌فیروزآباد، ف.، و فاضل‌پور، م. (۱۴۰۲). پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره (مطالعه موردی: حوزه آبخیز ترک آباد اردکان). مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، (۳)۳، ۱۵-۱.

شاپا: ۰۱۸۲-۲۸۲۱
DOI: 10.22034/emj.2025.719755

## ۱- مقدمه

بررسی آمار و اطلاعات خسارات سالانه ناشی از وقوع سیلاب‌ها در ایران و جهان بیانگر گستردگی صدمات ناشی از سیلاب به منابع طبیعی، انسانی و اقتصادی مناطق مختلف می‌باشد. با وجود تلاش‌های انجام شده برای مهار سیل، بشر نتوانسته به‌طور کامل از خسارات ناشی از آن در امان بماند. با افزایش جمعیت جهان نیاز بشر به زمین و منابع طبیعی افزایش پیدا کرده است. یکی از نتایج این مساله تجاوز به مناطق مسکونی، صنعتی و راه‌های ارتباطی به مزارع، مراتع و جنگل‌ها و تخریب آن‌ها می‌باشد. این امر باعث افزایش مناطق نفوذناپذیر و در نتیجه افزایش سرعت و حجم سیلاب می‌شود (ندافی و حسینی، ۱۳۹۴). از جمله اقدامات مدیریتی که می‌تواند نقش به‌سزایی در کاهش خسارات ناشی از وقوع سیلاب داشته باشد، پهنه‌بندی خطر سیل است (وهابی، ۱۳۸۵). یکی از روش‌های اصلی در مدیریت و کاهش سیل در حوضه‌ها، مدل‌سازی و پیش‌بینی سیل قبل از وقوع آن می‌باشد. از این رو با توجه به اهمیت موضوع دستیابی به راه‌های مقابله با خسارت این بلای طبیعی به شدت احساس می‌شود. سیلاب معمولاً مناطق هم‌جوار رودخانه‌های واقع در حوضه‌ها را بیش‌تر تحت تأثیر قرار می‌دهد، از طرفی دیگر این مناطق غالباً برای فعالیت‌های اقتصادی مناسب می‌باشند؛ بنابراین مطالعه این مناطق از نظر پارامترهای سیل‌خیزی و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیل و خطرات سیل یکی از ضروریات برنامه‌ریزی است (اعظمی‌راد و سعیدیان، ۱۳۸۹). به‌طور کلی شاخص سیل‌خیزی عبارت است از میزان تأثیر رواناب تولید شده در سطح زیر حوضه‌ها با در نظر گرفتن کلیه ویژگی‌های زیر حوضه‌ها در افزایش یا کاهش مشخصه‌های سیل خروجی کل حوضه می‌باشد (قمی‌اویلی و همکاران، ۱۳۸۹).

اقدامات انسان نظیر احداث سدها، خاک‌ریزها، پل‌ها و آبگذرها تماماً روی رواناب سطحی مؤثرند. انسان همواره پوشش گیاهی را از بین می‌برد، زمین را تخریب می‌نماید و شرایط زیستی جدیدی را به وجود می‌آورد. در نتیجه سیستم فرسایش جدیدی را به نام سیستم انسانی برقرار می‌سازد. تغییرات انسانی در سطح حوضه‌ها به‌صورت تخریب پوشش گیاهی و خاک از عوامل اصلی تشدید سیلاب می‌باشد. به‌طوریکه بهره‌برداری بیش از حد و غیراصولی از معادن خصوصاً برداشت شن و ماسه در بستر رودخانه‌ها عامل اصلی خسارات سیل در مناطق مختلف بوده است. برهم زدن مسیر طبیعی آبراهه‌ها و بعضاً تجمیع حجم رواناب در یک آبراهه باعث افزایش حجم آب بیش از ظرفیت آبگذری آن می‌شود. در نتیجه سیل به خارج از آبراهه جریان یافته و به مناطق مجاور خسارت وارد می‌کند (زاهدی و خطیبی،۱۳۸۷). از این منظر مطالعه و پژوهش در زمینه پهنه‌بندی مناطق سیل‌خیز و اولویت‌بندی مناطق پرخطر بسیار حائز اهمیت می‌باشد. در این راستا تحقیقات زیادی صورت پذیرفته است (میهن‌پرست و همکاران، ۱۳۹۸؛ Ronald Clement (2013)؛ Morelli et al., (2012) ؛ Farish et al., (2017)). از جمله قنواتی و همکاران (۱۳۹۳) پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی با استفاده از تلفیق مدل هیدرولوژیکی CN[1] و AHP[2] در محیط GIS را در رودخانه بالخلو اردبیل انجام دادند. در این راستا فاکتورهای رواناب، گروه‌های هیدرولوژیک خاک، شیب، کاربری زمین، تراکم پوشش گیاهی و تراکم زهکشی وزن‌دهی شد و با اعمال وزن لایه‌ها نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه با دوره بازگشت‌های مختلف تهیه شد. نتایج نشان داد که حدود ۱۴ تا ۲۴ درصد منطقه دارای پتانسیل سیل‌خیزی زیاد می‌باشد. حجازی و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره و سنجش از دور مناطق حساس به وقوع سیل را در حوضه لیقوان چای بررسی نمودند. نتایج نشان داد که ۲۸ درصد از مساحت حوضه در کلاس خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارند؛ که با توجه به قرارگیری این بخش از حوضه در ورودی شهر تبریز بایستی اقدامات مدیریت سیل در آن انجام گردد.

ندیری (۱۳۹۸) در تحقیقی به پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی با استفاده از منطق فازی AHP –TOPSIS در محیطGIS (مطالعه موردی حوضه آبخیز آیدوغموش) پرداخت. نتایج در ۵ کلاس سیل‌خیزی به صورت نقشه ارائه شد و بیش‌ترین میزان سیلاب را در پایین‌دست حوضه از نظر وقوع به‌عنوان نتیجه تحقیق نشان داده شد. میرموسوی و اسمعیلی (۱۴۰۰) در تحقیقی به پهنه‌بندی نواحی سیل‌خیز با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در منطقه داراب پرداختند. نتایج نشان داد که حدود ۳۵ درصد از سطح منطقه در دوره بازگشت‌های بالای سیل دارای خطر سیل‌خیزی خیلی زیاد می‌باشد. اسماعیلی و طاهری (۱۴۰۱) به ارزیابی مناطق مستعد خطر سیل با نگرش فازی در حوزه آبریز نکا پرداختند. نتایج نشان داد که ۱۵/۷ درصد از مساحت منطقه در محدوده خطر بسیار زیاد و زیاد قرار دارد و ۳۰ درصد مناطق روستایی و شهری حوضه در این محدوده‌های خطر قرار گرفته‌اند.

Haile et al. (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای در حوضه آبخیز بئو در مرکز نیجر، با استفاده از داده‌های پیش‌بینی ماهواره‌ای و مدل HEC-HMS به پیش‌بینی سیلاب و توسعه سیستم هشدار سیلاب پرداختند. نتایج این محققان نشان داد که در مناطقی که با کمبود داده مواجه می‌باشند، پیش‌بینی سیلاب با استفاده از داده‌های پیش‌بینی بارش مدل‌های هواشناسی، دارای پتانسیل بسیار بالایی برای دسترسی به سیستم هشدار سیلاب و پیش‌بینی زمان واقعی سیل می‌باشد. این محققان بیان کرده‌اند که با توجه به محدوده‌هایی دسترسی به داده‌های قابل اعتماد، به‌موقع و دقیق، پیش‌بینی سیل و سیستم‌های هشدار دهنده زودهنگام با استفاده از داده‌های پیش‌بینی ماهواره‌ای در بسیاری از مناطق آفریقا ضرورت دارد. Dano et al. (۲۰۱۹)با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای، به‌عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، به پهنه‌بندی خطر سیلاب در پرلیس[3] مالزی پرداخته‌اند. با توجه به نتایج مطالعه، به ترتیب ۳۸/۴ و ۱۹ درصد از مساحت منطقه، در طبقات پرخطر و بسیار پرخطر قرار دارند. هم‌چنین در این مطالعه کارایی و دقت استفاده از تحلیل

1. Curve number
2. Analytical Hierarchy process
3. Perlis

چند معیاره، مورد تائید واقع شده است. Wang et al. (۲۰۱۹) با استفاده از روش دیماتل و فرآیند تحلیل شبکه‌ای و WLC و با در نظر گرفتن یازده عامل، پهنه‌بندی سیلاب را در شانگوچین مورد مطالعه قرار دادند. نتایج مطالعه نشان داد، روش WLC برای مطالعه خطر سیلاب در منطقه مورد مطالعه مؤثرتر از سایر روش‌ها است.

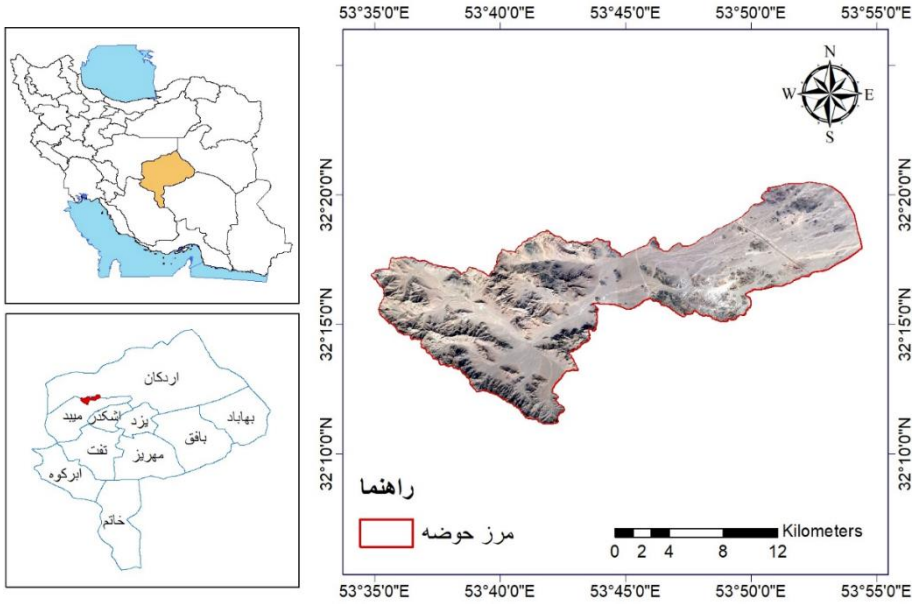
به‌طور کلی به‌منظور کاهش خسارات حاصل از وقوع سیل علی‌رغم اجرای عملیات آبخیزداری کنترل سیلاب می‌بایست شناخت لازم از وضعیت سیل‌خیزی مناطق و حوزه‌های آبخیز منطقه انجام شود تا بتوان نسبت به آمادگی و پیشگیری، مدیریت و برنامه‌ریزی لازم را انجام داد. حوزه‌آبخیز ترک آباد اردکان هر چند با مساحت نسبتاً پایین ولی از نظر توپوگرافی دارای تنوع می‌باشد. لذا قرارگیری کوهستان با متوسط شیب زیاد در کنار دشت و کویر با شیب کم با وجود کاربری‌های کشاورزی و صنعتی از نظر میزان سیل‌خیزی و زمان تمرکز اندک، شرایط خاصی را ایجاد نموده است.

لذا انجام تحقیق حاضر با هدف پهنه‌بندی خطر سیل‌گیری در حوزه آبخیز ترک آباد با توجه به عدم وجود داده‌های هیدرومتری در منطقه، از طریق تلفیق روش تصمیم‌گیری چندمعیاره با روی‌کرد فازی با سامانه اطلاعات جغرافیایی، یکی از ضرورت‌های موضوع می‌باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱-منطقه مورد مطالعه

حوزه‌آبخیز مورد مطالعه با مساحتی در حدود ۲۰ هزار هکتار در استان یزد و در شهرستان‌های اردکان و میبد و در محدوده ۵۳ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۵۴ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۱۱ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. این حوضه در شمال غرب شهرستان میبد و در مجاورت مرزهای جنوبی شهرستان اردکان قرار دارد که از طریق راه‌های آسفالته و خاکی فرعی از شهرستان‌های میبد و اردکان قابل دسترسی می‌باشد. محیط کل حوزه ۹۷ کیلومتر، بلندترین ارتفاع منطقه ۲۷۰۵ متر و کمترین ارتفاع منطقه معادل ۱۰۸۵ متر از سطح دریا می‌باشد. متوسط بارش سالانه منطقه ۱۰۷/۳ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۲۶/۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. مراتع فقیر و رخنمون سنگی سطح غالب منطقه را پوشانده‌اند. این حوزه آبخیز دارای یک روستا در بخش کوهستان حوزه با جمعیت ساکن حدود ۵۰ نفر می‌باشد.




**شکل (۱): موقعیت حوزه آبخیز ترک‌آباد**

### ۲-۲- داده‌ها و روش‌ها

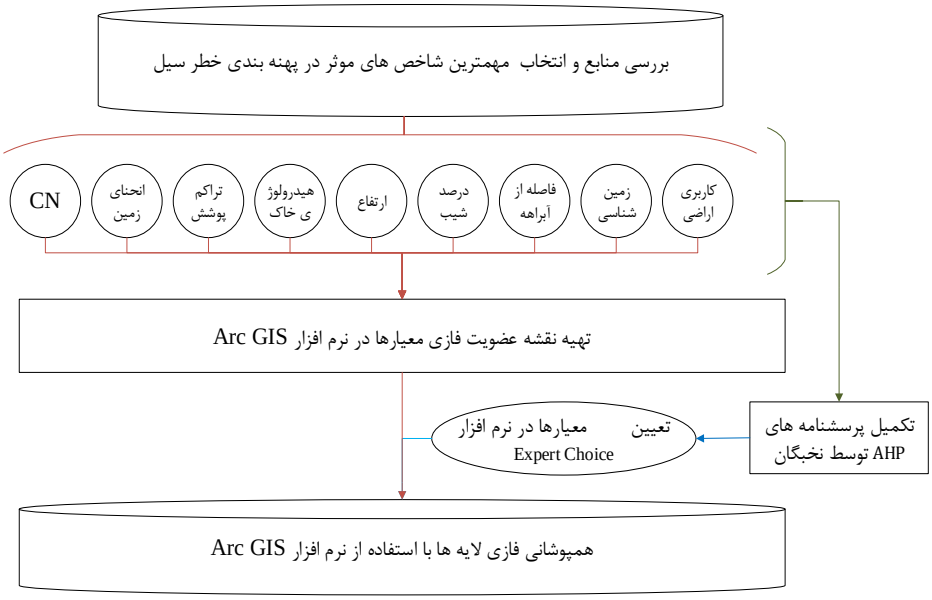
در این مطالعه جهت انتخاب ایستگاه‌های هواشناسی عواملی نظیر نزدیک بودن به حوضه مورد مطالعه، معتبر بودن آمار از لحاظ طول دوره و نوع ایستگاه مد نظر قرار گرفتند. بدین منظور حتی المقدور از آمار نزدیکترین ایستگاه‌های سینوپتیک و ایستگاه‌های باران‌سنجی و تبخیرسنجی دارای آمار طولانی (۳۰ ساله) استفاده شده است. در نهایت از داده‌های ۶ ایستگاه سینوپتیک و ۸ ایستگاه باران‌سنجی با مشخصات جدول (۱) استفاده شد.

1. Shangyou

**جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی منتخب**

| نام ایستگاه | نوع | سال تاسیس | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | ارتفاع |
|---|---|---|---|---|---|
| رباط | سینوپتیک | ۱۳۷۳ | ۳۲ درجه، ۱ دقیقه | ۵۵ درجه، ۳۳ دقیقه | ۱۱۸۸ |
| میبد | سینوپتیک | ۱۳۷۵ | ۳۲ درجه، ۲۳ دقیقه | ۵۴ درجه، ۱ دقیقه | ۱۱۱۰ |
| اردکان | سینوپتیک | ۱۳۷۴ | ۳۲ درجه، ۱۹ دقیقه | ۵۴ درجه، ۱ دقیقه | ۱۱۰۴ |
| اشکذر | سینوپتیک | ۱۳۷۵ | ۳۲ درجه، ۰ دقیقه | ۵۴ درجه، ۱۹ دقیقه | ۱۱۴۰ |
| چادرملو | سینوپتیک | ۱۳۷۵ | ۳۲ درجه، ۱۷ دقیقه | ۵۵ درجه، ۳۰ دقیقه | ۱۴۳۰ |
| چاه افضل | سینوپتیک | ۱۳۷۳ | ۳۲ درجه، ۳۱ دقیقه | ۵۳ درجه، ۵۲ دقیقه | ۱۰۳۶ |
| سروعلیا | باران سنجی | ۱۳۷۵ | ۳۲ درجه، ۱۹ دقیقه | ۵۳ درجه، ۲۲دقیقه | ۱۵۵۲ |
| فخرآباد عقدا | باران سنجی | ۱۳۷۵ | ۳۲ درجه، ۱۹ دقیقه | ۵۳ درجه، ۴۰ دقیقه | ۱۴۷۱ |
| مزرعه آقا خرانق | باران سنجی | ۱۳۴۷ | ۳۲ درجه، ۲۰ دقیقه | ۵۴ درجه، ۳۶ دقیقه | ۱۹۰۶ |
| مزرعه نو عقدا | باران سنجی | ۱۳۵۰ | ۳۲ درجه، ۲۳ دقیقه | ۵۳ درجه، ۲۹ دقیقه | ۱۳۷۵ |
| حسین‌آباد رستاق | باران سنجی | ۱۳۴۶ | ۳۲ درجه، ۳ دقیقه | ۵۴ درجه، ۱۳ دقیقه | ۱۱۳۶ |
| سورک ندوشن | باران سنجی | ۱۳۷۵ | ۳۲ درجه، ۹ دقیقه | ۵۳ درجه، ۲۵ دقیقه | ۱۹۸۰ |
| صدرآباد | باران سنجی | ۱۳۷۵ | ۳۱ درجه، ۵۵ دقیقه | ۵۳ درجه، ۳۵ دقیقه | ۲۱۷۱ |
| کذاب | باران سنجی | ۱۳۶۵ | ۳۱ درجه، ۵۱ دقیقه | ۵۳ درجه، ۵۲ دقیقه | ۱۸۹۵ |

برای انجام تحقیق با انجام بررسی منابع و تحقیقات صورت گرفته در این زمینه اقدام به انتخاب شاخص‌های مهم در سیل‌خیزی شد. شاخص‌های مهم در این تحقیق شامل کاربری اراضی، زمین‌شناسی، فاصله از آبراهه، درصد شیب، ارتفاع، انحنای زمین، تراکم پوشش گیاهی، گروه‌های هیدرولوژی خاک و ضریب CN می‌باشد؛ که در ادامه به تشریح هرکدام پرداخته شده است. شکل (۲) مراحل انجام تحقیق را نشان می‌دهد.




**شکل (۲): مراحل انجام تحقیق**

**۲-۲-۱- زمین‌شناسی و نفوذپذیری**

خصوصیات و رفتار هیدرودینامیکی هر یک از رخساره‌های سنگی و رسوبی به‌طورکلی توسط عوامل متعددی مثل جنس سنگ، ساخت و بافت، میزان تخلخل و ضخامت آن‌ها، لایه‌بندی و چگونگی تناوب طبقات تراوا و ناتراوا، تراکم و توسعه سیستم‌های درز و شکاف، شیب و خصوصیات توپوگرافی حوزه و غیره کنترل می‌گردد. در این مطالعه نقشه زمین‌شناسی حوزه آبخیز ترک آباد از نقشه با مقیاس ۲۵۰۰۰۰ تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی استخراج شد. هم‌چنین نقشه نفوذپذیری با توجه به شاخص نفوذپذیری سنگ‌ها (پیروان و شریفی، ۱۳۹۷)تهیه شد.

**۲-۲-۲- کاربری اراضی**

کاربری اراضی به علت تأثیر در نفوذ و فرسایش و تبخیر و تعرق نقش مهمی در تولید رواناب و ایجاد سیل دارد. رخنمون‌های سنگی متراکم و پراکنده بیش‌ترین نقش را در ایجاد سیل در محدوده مورد مطالعه دارند (شکل ۳). در این مطالعه جهت استخراج نقشه کاربری اراضی حوزه مورد مطالعه از

تصویر لندست ۸ منطقه متعلق به تیرماه سال ۱۳۹۵ از روش نمونه‌برداری تعلیمی استفاده شد. سپس خطاهای شاخص طبقه‌بندی از طریق تصاویر گوگل ارث اصلاح شد.

**۲-۲-۳- فاصله از آبراهه**

بر طبق مطالعات صورت گرفته از رخدادهای سیل در طبیعت، با دور شدن از رودخانه، احتمال سیل‌گیری کمتر می‌گردد (احمدزاده و همکاران، ۱۳۹۴). در این تحقیق نیز هر چه فاصله از رودخانه و آبراهه‌ها بیش‌تر می‌شود امتیاز کمتری به آن تعلق می‌گیرد. که بدین منظور جهت تهیه نقشه فاصله از آبراهه در محیط Arc Gis از دستور فاصله از عارضه استفاده شد.

**۲-۲-٤- درصد شیب**

نقشه شیب در این تحقیق از روی نقشه مدل رقومی ارتفاعی[1] با دقت مکانی ۳۰ متر استخراج شد. بر اساس طبیعت رخداد سیل، مناطق با شیب کم و پست پتانسیل بالاتری برای وقوع سیل و زیر آب رفتن نسبت به دیگر شیب‌های بالا دارند.

**۲-۲-٥- ارتفاع**

با استخراج طبقات ارتفاعی از روی مدل رقومی ارتفاعی منطقه و طبق بررسی‌های صورت گرفته، با افزایش طبقات ارتفاعی از حساسیت به وقوع سیل کاسته می‌شود، به عبارتی، بیش‌ترین خطر وقوع سیل در طبقات ارتفاعی پایین و نزدیک خروجی حوضه آبخیز رخ می‌دهد (اسماعیلی و طاهری، ۱۴۰۱).

**۲-۲-٦- انحنای زمین**

در این مطالعه جهت تعیین انحنای زمین از روش سایه‌زنی بر روی شبکه نامنظم مثلثی[2] استفاده شد. با توجه به بررسی مطالعات صورت گرفته برای شاخص انحنای سطح زمین، بیش‌ترین تأثیر بر وقوع سیل را مناطق مسطح زمین دارد و کمترین تأثیر نیز مربوط به انحنای محدب می‌باشد. این ادعا با واقعیت و تئوری رخداد سیلاب منطبق می‌باشد (اسماعیلی و طاهری، ۱۴۰۱).

**۲-۲-۷- تراکم پوشش گیاهی**

به‌طور کلی بررسی منابع نشان داد که هر جا تراکم پوشش گیاهی بیشتر باشد، احتمال وقوع سیل کمتر است (حسینی و همکاران، ۱۴۰۲). در این پژوهش به‌منظور ارزیابی تراکم پوشش گیاهی از شاخص SAVI[3] استخراج شده از ماهواره لندست برای محدوده مورد مطالعه استفاده شد. این شاخص توسط Huet (۱۹۸۸) پیشنهاد شده است. هدف از آن به حداقل رساندن اثرات پس‌زمینه خاک بر سیگنال پوشش گیاهی با استفاده از یک فاکتور ثابت تعدیل خاک (L) در معادله NDVI[4] است. این فاکتور بر مبنای مشخصات بازتابی خاک (مثل رنگ و روشنایی) تغییر می‌کند و مقدار آن بین صفر تا ۱۰۰ است. اگر L برابر صفر باشد SAVI برابر NDVI است و اگر ۱۰۰ باشد SAVI برابر PVI[5] است. هیوت (۱۹۸۸) یک نمودار پیشنهاد نمود که از آن مقادیر L می‌توان استخراج کرد. فاکتور L انتخاب شده بستگی به تراکم پوشش گیاهی دارد او پیشنهاد کرد که برای پوشش‌گیاهی بسیار کم L برابر یک، برای تراکم متوسط ۰/۵ و برای تراکم‌های بالا ۰/۲۵ باشد. در این پژوهش مقدار فاکتور L برابر ۰/۵ گرفته شد. رابطه (۱) نحوه محاسبه شاخص SAVI را نشان می‌دهد.

$$SAVI = \frac{NIR - R}{NIR + R + L} \times (1 + \mathrm{L}) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این معادله NIR انعکاس باند مادون‌قرمز نزدیک، R انعکاس باند قرمز، L فاکتور تعدیل خاک (۰/۵) می‌باشد.

**۲-۲-۸- گروه‌های هیدرولوژی خاک**

فاکتور مؤثر دیگر در وقوع سیل گروه‌های هیدرولوژی خاک است. خاک‌های مختلف توانایی ایجاد رواناب متفاوتی را دارند که این استعداد و توانایی متأثر از خصوصیات خاک از قبیل ساختمان خاک، بافت خاک، نوع و میزان خلل و فرج خاک، میزان سنگریزه و قلوه‌سنگ سطح و داخل خاک، عمق خاک و نوع لایهٔ محدودکننده می‌باشد. عموماً این توانایی را با یک عامل هیدرولوژیکی بیان می‌کنند. به این صورت که مقدار آن عبارت از حداقل سرعت نفوذپذیری خاک در حالت رطوبت طولانی‌مدت خاک است (Shivaprasad et al., 2018).

طبق تقسیم‌بندی سازمان حفاظت خاک آمریکا NRCS[6] تمامی خاک‌ها بر اساس پتانسیل ایجاد رواناب شامل چهار گروه اصلی هیدرولوژیکی A، B، C و D به شرح زیر می‌باشد که هر گروه در صورت نیاز می‌تواند به زیرگروه‌هایی تقسیم گردد (امیدی و همکاران، ۱۳۹۲).

-گروه هیدرولوژیکی A (پتانسیل تولید رواناب ضعیف)، شامل خاک‌هایی با نفوذپذیری زیاد است این خاک‌ها دارای بافت سبک و شنی و سنگریزه‌ای و قلوه‌سنگی با عمق متوسط تا زیاد می‌باشند.

-گروه هیدرولوژیکی B (پتانسیل تولید رواناب متوسط)، خاک‌هایی با نفوذپذیری متوسط و زهکشی طبیعی متوسط یا خوب می‌باشد. بافت این خاک‌ها متوسط و دارای عمق متوسط تا نسبتاً زیاد (نیمه عمیق تا عمیق) هستند.

1. Digital elevation model
2. Triangulated irregular network
3. Soil Adjusted Vegetation Index
4. Normalized Difference Vegetation Index
5. Perpendicular Vegetation Index
6. Natural Resources Conservation Service

–گروه هیدرولوژیکی C (پتانسیل تولید رواناب نسبتاً زیاد)، خاک‌هایی هستند که در زمانی که کاملاً مرطوب می‌باشند، نفوذپذیری کمی دارند. غالباً این خاک‌ها دارای یک لایهٔ غیرقابل نفوذ در عمق می‌باشند. بافت این خاک‌ها متوسط تا نسبتاً سنگین است.

–گروه هیدرولوژیکی D (پتانسیل تولید رواناب زیاد)، شامل خاک‌هایی با نفوذپذیری کم هنگامی که مرطوب هستند می‌باشد. این گروه دربرگیرنده خاک‌های با بافت سنگین (رسی)، سطح آب زیرزمینی دائمی بالا و نیز دارای لایه‌های سخت رسی[1]در سطح و یا نزدیک سطح خاک می‌باشد (Kain et al., 2018).

**۲-۲-۹- عدد شماره منحنی (CN)**

آخرین فاکتور در نظر گرفته شده در این تحقیق، شماره منحنی رواناب می‌باشد. شماره منحنی بیش‌تر مؤید جاری شدن رواناب بیشتر از یک بارندگی می‌باشد، در نتیجه هر چه شماره منحنی بیشتر باشد، به‌دلیل رواناب بیشتر احتمال وقوع سیل بیشتر می‌باشد. با توجه به نقشه‌های گروه‌های هیدرولوژیکی و کاربری اراضی، مقدار CN تعیین و سپس میانگین وزنی آن را گرفته و CN حوضه در شرایط متوسط به‌دست آمده است.

**۲-۲-۱۰- روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و تلفیق نقشه‌ها**

در ادامه با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره AHP اقدام به تهیه ساختار سلسله مراتبی و پرسشنامه برای مقایسه زوجی شاخص‌ها شد و با استفاده از نظرات خبرگان و کارشناسان اهمیت شاخص‌ها استخراج شد. بر اساس کل جامعه آماری در دسترس در منطقه مورد مطالعه اعم از کارشناسان بخش اجرا، دانشگاهیان و مردم محلی بر اساس آزمون کفایت نمونه (کوکران) در مطالعه حاضر تعداد ۳۵ پرسشنامه تکمیل گردید. پس از به دست آمدن وزن عوامل از روش نسبت فراوانی، برای همپوشانی معیارها و زیرمعیارها ابتدا نقشه عضویت فازی زیرمعیارها در نرم‌افزار Arc GIS محاسبه و در وزن‌های به دست آمده، ضرب شد (ذرتی‌پور و همکاران، ۱۴۰۰). در مرحله بعد با استفاده از همپوشانی فازی[2]در نرم‌افزار Arc GIS نقشه زیر معیارها باهم ترکیب و نقشه معیارها تشکیل شد. تئوری فازی شامل تمام تئوری‌هایی است که از مفاهیم اساسی مجموعه‌های فازی یا توابع عضویت استفاده می‌کنند. برای مشخص شدن اعضای یک مجموعه می‌بایست تابع عضویت تعریف شود یعنی میزان عضویت می‌تواند دقیقا صفر و یک نباشد بلکه مقادیری مابین این دو است. صفر به این معنی است که هیچ عضویتی در آن مجموعه ندارد و یک یعنی به‌طور کامل عضو آن مجموعه می‌باشد (Hu and Scott Mackay, 2001).

بدین منظور پس از تشکیل نقشه‌های عضویت فازی مربوط به هر یک از زیرمعیارها، لایه‌ها در وزن‌های به دست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی ضرب (نتایج مرحله قبل) و سپس با استفاده از عملگر فازی گاما[3]در نرم‌افزار Arc GIS با یکدیگر ترکیب شدند. نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر سیل نیز از همپوشانی نقشه معیارها نتیجه شد.

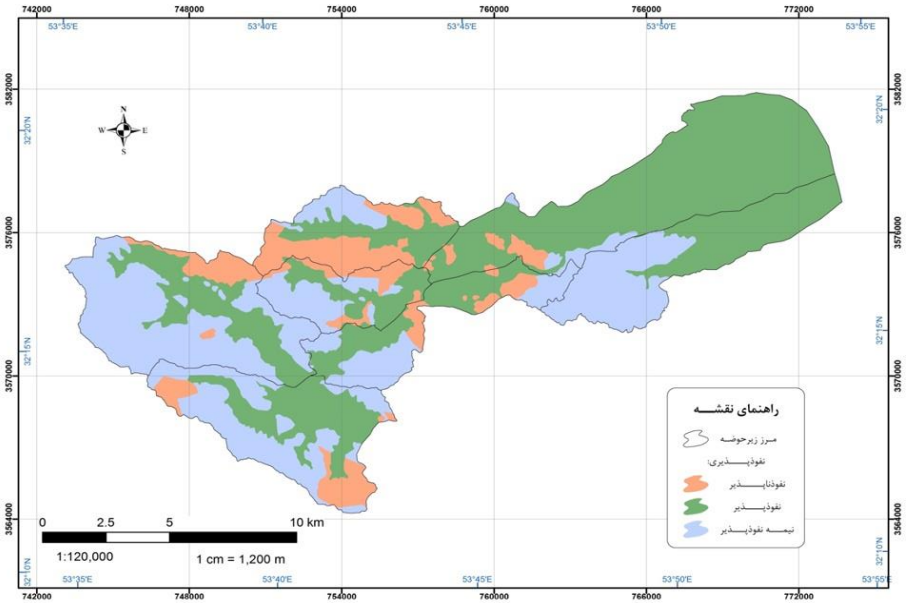
**۲-۲-۱۱- طبقه بندی کلاس‌ها براساس روش شکست طبیعی[4]**

کلاس‌ها و طبقه‌بندی در این روش بر اساس گروه‌بندی‌های طبیعی ذاتی در هر گروه تعیین می‌شود. شکست کلاس‌ها یا حد آستانه هر کلاس و طبقه در واقع تعیین‌کننده این حالت است که عوارض این گروه بیش‌ترین شباهت را دارند و از طرفی کلاس‌ها نیز بیش‌ترین تفاوت را با یکدیگر نشان می‌دهند. در واقع کلاس‌ها و عوارض در موقعیتی از هم‌دیگر فاصله می‌گیرند و کلاس‌بندی می‌شوند که بیش‌ترین اختلاف و تفاوت را با یکدیگر دارند. این روش بر اساس الگوریتم جانک[5]فرایند طبقه‌بندی را انجام می دهد (اسماعیلی و طاهری، ۱۴۰۱).

## ۳- نتایج

مطابق نتایج تحقیق در جدول (۲) دسته‌بندی واحدهای زمین‌شناسی حوضه از نظر نفوذپذیری و هم‌چنین نقشه نفوذپذیری حوضه در شکل (۳) آمده است. شکل (۴) برخی از خصوصیات فیزیکی و همچنین گروه‌های هیدرولوژیکی خاک حوضه که براساس بافت، ساختمان و نفوذپذیری خاک تهیه شده را نشان می‌دهد.

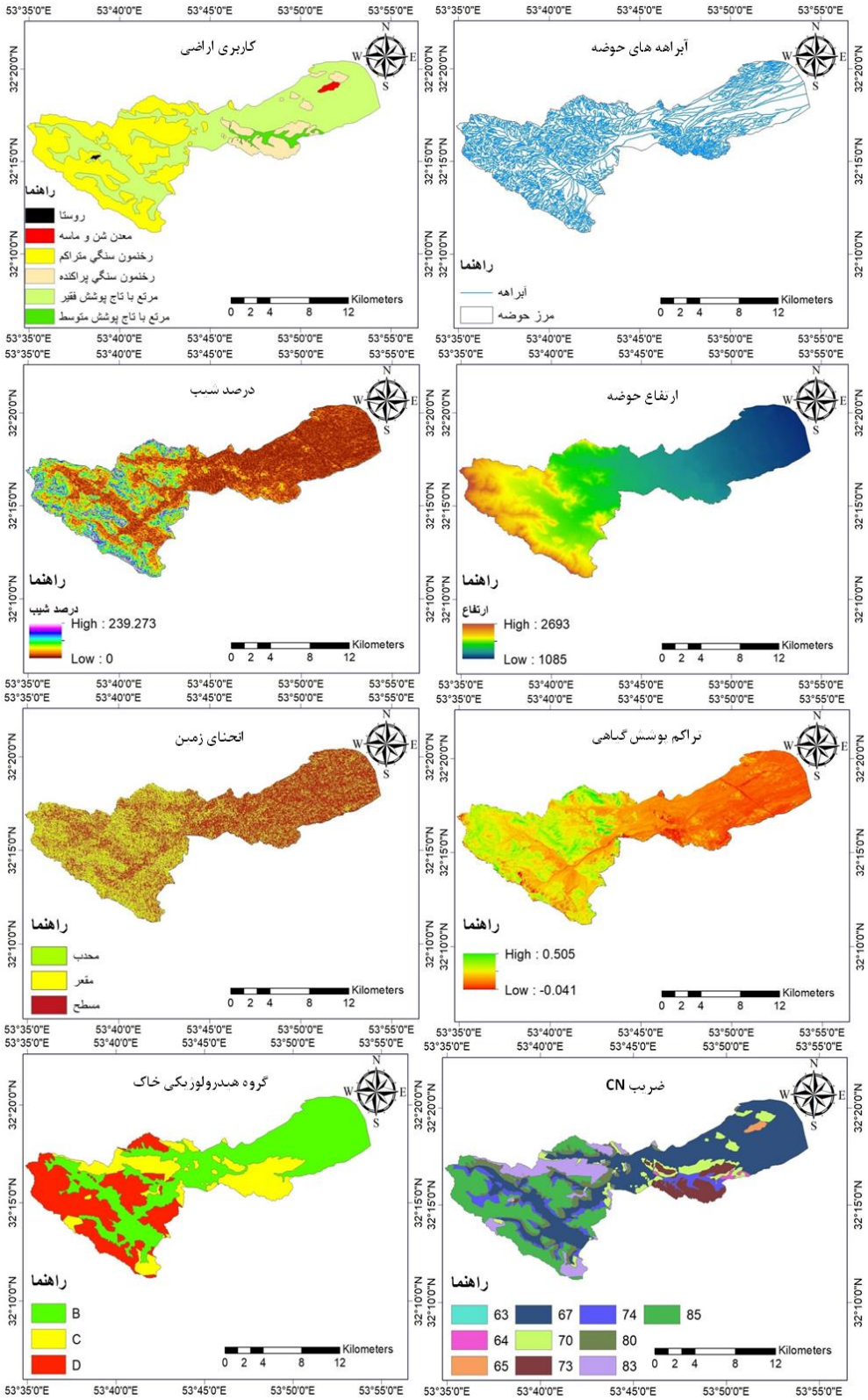
1. Clay pan
2. Fuzzy Overlay
3. Fuzzy Operation Gamma
4. Natural break method
5. Janc algorithm




**شکل (۳): نقشه نفوذپذیری حوضه**

**جدول (۲): دسته‌بندی واحدهای سنگی با نفوذپذیری**

| نام واحد سنگی | علامت | وضعیت نفوذپذیری |
|---|---|---|
| سنگ‌آهک سیاه | Єagl | نیمه نفوذپذیر |
| مجموعه گدازه‌ای | Єdrhy | نفوذناپذیر |
| دولومیت | Єddo | نیمه نفوذپذیر |
| شیل‌های تیره تا خاکستری | Єdsh + do | نفوذناپذیر |
| ماسه‌سنگ‌های کوارتز | Єds | نیمه نفوذپذیر |
| ماسه‌سنگ | Єls | نیمه نفوذپذیر |
| توف‌ها و گدازه‌های آندزیتی | Ev | نیمه نفوذپذیر |
| گچ | Єdgy | نفوذناپذیر |
| سنگ‌آهک خاکستری تا زرد | Єml | نیمه نفوذپذیر |
| تراس‌های جوان و مخروط افکنه‌های درشت‌دانه | Q2 | نفوذپذیر |
| نهشته‌های رودخانه‌ای کواترنر | Qal | نفوذپذیر |




**شکل (٤): نقشه معیارهای مورد استفاده در پهنه‌بندی سیل**

### ۳-۱- نتایج اوزان معیارها

پس از تهیه پرسشنامه و پر کردن آن توسط نخبگان و کارشناسان، نتایج در نرم‌افزار Expert Choice مورد تحلیل قرار گرفت و اوزان معیارها محاسبه شد. جدول (۳) اوزان معیارها استفاده شده در این پژوهش را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که نرخ ناسازگاری نهایی ۰/۰۸ است که با توجه به

کوچک‌تر بودن از ۰/۱ نتایج اوزان به دست آمده را تائید می‌کند. با توجه به جدول (۳) معیارهای شیب، تراکم پوشش گیاهی و فاصله از آبراهه بیشترین وزن در خطر وقوع سیل در منطقه دارند.

**جدول (۳): نتایج مقایسه زوجی معیارها**

| معیار | وزن |
|---|---|
| زمین‌شناسی | ۰/۰۳ |
| کاربری اراضی | ۰/۰۷ |
| فاصله از آبراهه | ۰/۱۶ |
| درصد شیب | ۰/۲۱ |
| ارتفاع | ۰/۱۴ |
| انحنای زمین | ۰/۰۹ |
| تراکم پوشش | ۰/۱۹ |
| گروه هیدرولوژی خاک | ۰/۰۵ |
| ضریب CN | ۰/۰۶ |

### ۳-۲- نتایج عضویت فازی معیارها و زیرمعیارها

در این تحقیق جهت استانداردسازی معیارها و زیر معیارها از روش فازی در نرم‌افزار Arc GIS استفاده شد. پس از استانداردسازی هر معیار و زیرمعیار در اوزان خود ضرب شد.

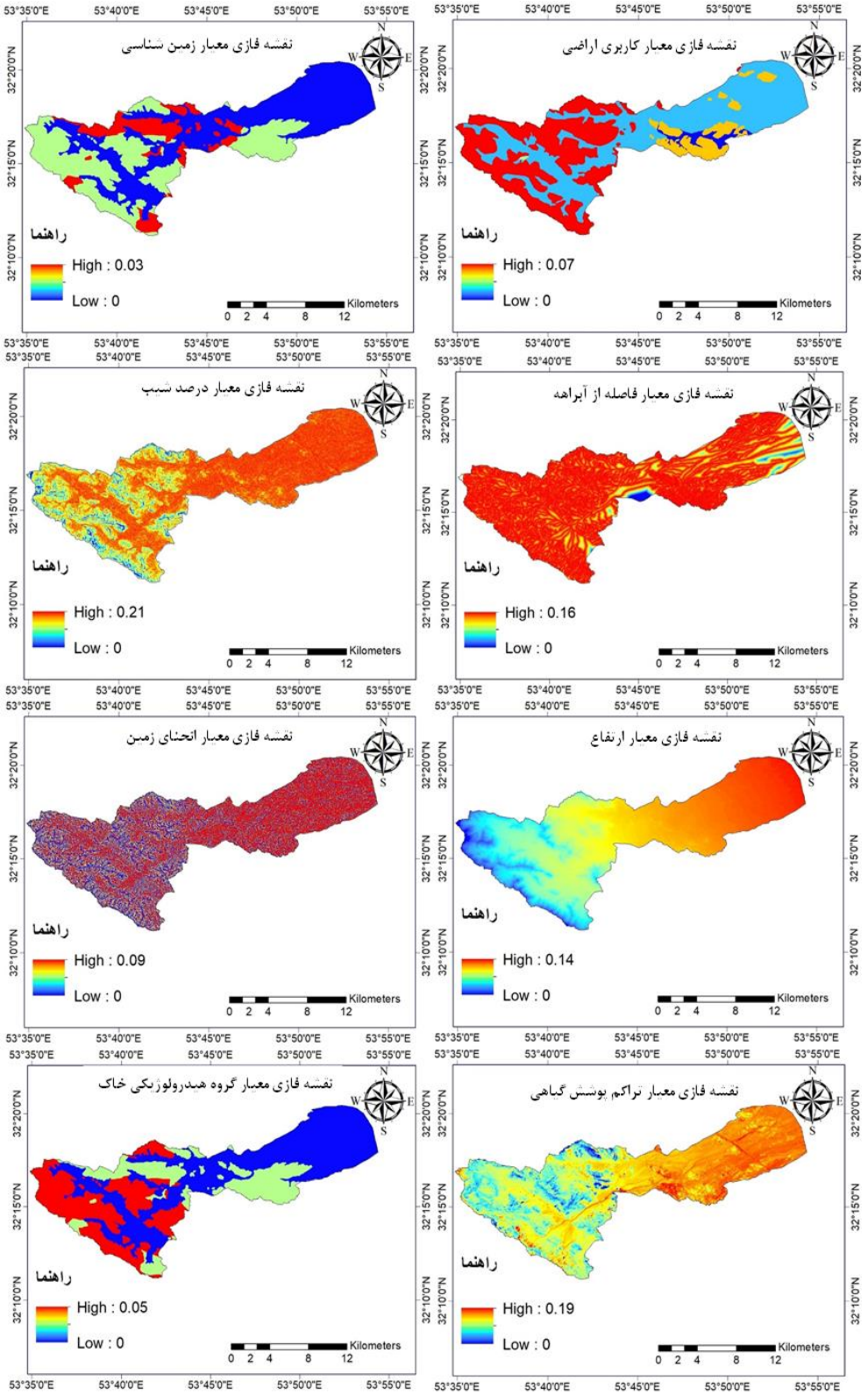
در زمینه عضویت فازی عامل کاربری اراضی با توجه به اینکه اراضی سنگی بیشترین تأثیر را وقوع سیل دارند، پس از ضرب در وزن محاسبه شده در دسته خطر وقوع سیل بالاتری نسبت به بقیه قرار گرفتند. کاربری مراتع با تاج پوشش متوسط نیز در محدوده خطر سیل پایین‌تری قرار گرفتند. هم‌چنین عضویت فازی عامل زمین‌شناسی با ضرب وزن معیار زمین‌شناسی در لایه رقومی آن حاصل شد. این نقشه نیز نشان می‌دهد که مناطقی از حوضه که از نظر زمین‌شناسی نفوذپذیری کمتر دارند، بیشترین خطر وقوع سیل را به خود اختصاص می‌دهند. مناطق با نفوذپذیری بالاتر از نظر خطر وقوع سیل در درجه اهمیت کمتری قرار دارند.

در عضویت فازی عامل فاصله از آبراهه نکته حائز اهمیت اینکه مناطق مجاور آبراهه‌ها از نظر خطر سیل بیشترین اهمیت را به خود اختصاص می‌دهند. هرچه از آبراهه دورتر شویم، خطر سیل کاهش می‌یابد. شکل (۵) عضویت فازی معیار فاصله از آبراهه را نشان می‌دهد. با توجه به نقشه به علت اینکه شبکه آبراهه‌ای حوضه گسترده می‌باشد، از نظر این معیار تقریباً بیشتر مناطق حوضه مستعد سیل می‌باشند. در عضویت فازی عامل درصد شیب از نظر سیل‌خیزی مناطق با شیب بالاتر سیل‌خیزتر می‌باشند در حالی‌که خطر سیل‌گیری مناطق با شیب کمتر را بیشتر تهدید می‌کند. لذا با توجه به نتایج بخش‌هایی از مناطق بالادست حوضه و بیشتر مناطق پایین‌دست و خروجی در معرض خطر سیل قرار دارند. از طرفی مناطق با ارتفاع پایین حوضه نسبت به مناطق با ارتفاع بیشتر در معرض خطر سیل‌گیری قرار دارند. نتایج حاصل، هم‌راستا با نتایج بدست آمده از نقشه شیب بوده به‌طوری که مناطق پست‌تر حوضه که در مجاور خروجی حوضه قرار دارند، دارای خطر سیل‌گیری بیشتری می‌باشند.

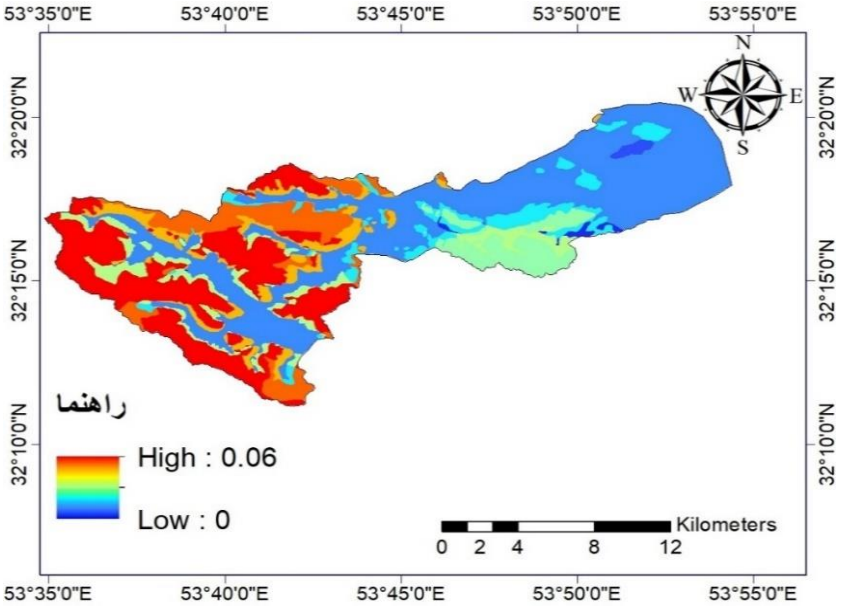
در زمینه عضویت فازی عامل انحنای زمین با توجه به اینکه مناطق مسطح بیشتر در معرض خطر سیل می‌باشند، وزن محاسبه شده نیز در لایه انحنای زمین اضافه شده و نقشه عضویت فازی آن نتیجه شد. مطابق نتایج این بخش بیشتر مناطق حوضه در معرض خطر سیل قرار دارند. بخشی از منطقه با انحنای محدب که بر روی تپه‌ها قرار دارند، خطر سیل کمتری را به خود اختصاص داده‌اند. وزن محاسبه شده برای معیار پوشش گیاهی در لایه تراکم پوشش گیاهی ضرب شده و نقشه عضویت فازی آن نتیجه شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مناطق از نظر این عامل بخش‌هایی از حوضه که در سمت خروجی حوضه قرار دارند، خطر سیل بیشتری دارند. قسمت‌های میانی و بالادستی حوضه خطر سیل کمتری را دارند (شکل ۵). در راستای عامل گروه هیدرولوژی خاک و با توجه به اینکه در مناطق نفوذپذیر خطر سیل کمتر و در مناطق با نفوذپذیری کمتر خطر سیل بیشتر می‌باشد، در مناطق شرقی حوضه خطر کمتر و در مناطق غربی خطر سیل بیشتری را مشاهده می‌شود (شکل ۵).

### ۳-۳-عضویت فازی عامل ضریب CN

وزن محاسبه شده معیار شماره منحنی نیز در لایه مربوطه اعمال شد و نقشه عضویت فازی آن نتیجه شد (شکل ۶). نتایج این نقشه شبیه نتایج نقشه عضویت گروه هیدرولوژی خاک می‌باشد. چراکه شماره منحنی نیز وضعیت نفوذپذیری خاک را نشان می‌دهد.



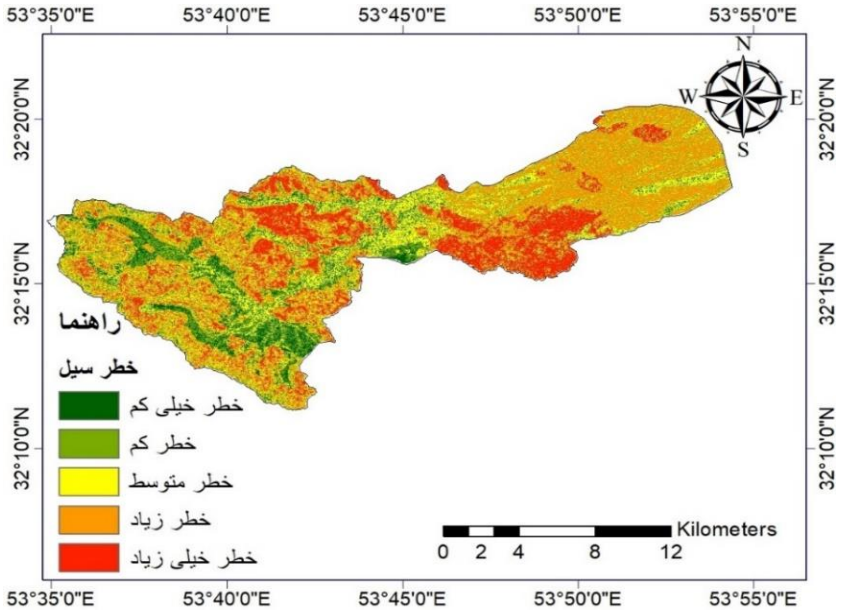

**شکل (۵): نقشه فازی معیارهای مورد استفاده در پهنه‌بندی خطر سیل**




**شکل (٦): نقشه فازی عامل ضریب CN محدوده مورد مطالعه**

### ۳-٤- همپوشانی فازی

در نهایت همپوشانی فازی معیارها با استفاده عملگرفازی گاما در نرم‌افزار Arc GIS انجام شد و لایه نهایی به دست آمد. سپس با استفاده روش شکست طبیعی در نرم‌افزار Arc GIS نقشه کلاس‌بندی و پنج کلاس قابلیت خیلی کم، کم، متوسط زیاد و خیلی زیاد تقسیم شد. شکل (۷) نقشه پهنه‌بندی خطر سیل منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در جدول (۴) مساحت طبقات خطر سیل آمده است.




**شکل (۷): نقشه کلاس‌بندی خطر سیل محدوده مورد مطالعه**

**جدول (٤): مساحت کلاس‌های خطر سیل**

| نام کلاس | مساحت (Km) | درصد مساحت |
|---|---|---|
| خطر خیلی کم | ۱۳/۹۹ | ۶/۹۸ |
| خطر کم | ۳۵/۱۳ | ۱۷/۵۳ |
| خطر متوسط | ۵۰/۱۴ | ۲۵/۰۲ |
| خطر زیاد | ۶۴/۵۱ | ۳۲/۱۹ |
| خطر خیلی زیاد | ۳۶/۶۳ | ۱۸/۲۸ |

همان‌طور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود بیشتر مساحت حوضه در کلاس خطر سیل زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته‌اند. این موضوع نشان می‌دهد، حوزه آبخیز ترک آباد نیاز به توجه در خصوص خطر سیل داشته و هرگونه توسعه در این حوضه با لحاظ وضعیت سیل آن بایستی انجام شود.

## ٤- بحث و نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، پژوهش حاضر با ارائه یافته‌های جامعی در زمینه پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوزه آبخیز ترک‌آباد اردکان، اهمیت معیارهای محیطی مانند شیب زمین، پوشش گیاهی و جنس خاک را در تحلیل ریسک سیلاب برجسته می‌کند. استفاده از مدل AHP به دلیل سادگی و توانایی در ترکیب معیارهای مختلف، به‌عنوان یک ابزار کارآمد و کاربردی در این منطقه با داده‌های محدود به شمار می‌آید. این مدل به برنامه‌ریزان و مدیران محلی کمک می‌کند تا اولویت‌های لازم برای کاهش ریسک سیلاب را شناسایی کنند و در راستای مدیریت بهتر منابع آب و کاهش خطرات سیلاب گام بردارند. نتایج این پژوهش نشان داد که این منطقه، به‌ویژه در بخش‌های با شیب زیاد و پوشش گیاهی کم، در معرض خطر بالای سیلاب قرار دارد. استفاده از مدل AHP که بر مبنای فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی است، امکان ترکیب داده‌های کمی و کیفی را برای تحلیل دقیق‌تر و وزن‌دهی مؤثرتر به معیارها و زیرمعیارهای مرتبط با سیلاب فراهم می‌کند. این مدل، از آنجا که به‌خوبی با نیازهای محلی سازگار می‌شود و در مقایسه با مدل‌های پیچیده‌تر هیدرولوژیکی زمان و هزینه کمتری نیاز دارد، ابزار مناسبی برای ارزیابی خطر سیلاب در این منطقه محسوب می‌شود.

در یک نگاه کلی نتایج تحقیق نشان داد که از بین ۹ معیار در نظر گرفته شده برای پهنه‌بندی خطر سیل در حوزه آبخیز ترک آباد، معیارهای شیب، تراکم پوشش گیاهی و فاصله از آبراهه و ارتفاع با وزن‌های ۰/۲۱، ۰/۱۹، ۰/۱۶ و ۰/۱۴ بیشترین اهمیت را به خود اختصاص داده‌اند. هم‌چنین معیارهای زمین‌شناسی، گروه هیدرولوژی خاک و ضریب CN با وزن‌های ۰/۰۳، ۰/۰۵ و ۰/۰۶ دارای کمترین اهمیت در پهنه‌بندی خطر سیل منطقه می‌باشند. این نتیجه تحقیق با نتیجه تحقیق مددی و همکاران (۱۳۹۹) که در تحقیقی به بررسی تحلیل فضایی خطر سیلاب در حوضه آبخیز خیاوچای اردبیل پرداخته‌اند، مطابقت دارد. به‌طوریکه آن‌ها ده عامل شیب، ارتفاع، بارش، شماره منحنی، ارتفاع رواناب، فاصله از رودخانه، خاک، لیتولوژی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی را به‌عنوان عوامل مؤثر برای ایجاد سیلاب در منطقه در نظر گرفتند، که با معیارهای شناسایی شده برای این تحقیق مشابهت دارد. هم‌چنین آن‌ها عامل شیب را از عوامل با وزن بالایی در خطر سیل منطقه عنوان نمودند. هم‌چنین نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با تلفیق وزن‌های محاسبه شده توسط روش سلسله مراتبی با لایه رقومی معیارها در محیط GIS می‌تواند پهنه‌بندی خطر سیل منطقه را در کلاس‌بندی‌های مختلف با کارایی مناسبی نشان دهد. این موضوع در اکثر تحقیقات داخلی و خارجی تائید شده است. به‌طوری که محققین برای پهنه‌بندی خطر سیل در مناطق مختلف از تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و GIS برای شناسایی و اولویت‌بندی معیارها و در نهایت پهنه‌بندی خطر سیل بهره برده‌اند. هم‌راستا با تحقیق حاضر در مطالعه‌ای جهت پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی از روش تحلیل سلسه‌مراتبی و منطق فازی معیارهای شیب، ویژگی‌های زمین‌شناسی، آبراهه، خاک و کاربری اراضی انتخاب شد (زیاری و همکاران، ۱۴۰۰). هم‌چنین رستمی و کاظمی (۱۳۹۸) نیز در پژوهشی معیارهای شماره منحنی، ارتفاع، فاصله از آبراهه، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، جمعیت، خاک‌شناسی، تراکم ساختمان، بافت فرسوده تجمع جریان در پهنه‌بندی خطر سیلاب استفاده کردند.

اساساً مطالعات متعددی به پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی GIS پرداخته‌اند و نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی GIS روش مناسبی برای ارزیابی پتانسیل خطر سیل و هم‌چنین پهنه‌بندی سیل رودخانه‌ها، مخصوصاً در مناطقی که داده‌های کامل آماری ندارند، می‌باشند (ندیری، ۱۳۹۸؛ خالدی و همکاران، ۱۳۹۶؛ حاتمی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۶). لذا نتایج مطالعات مشابه کاربرد روی‌کرد سلسله مراتبی را با توجه به عدم وجود داده‌های هیدرومتری در حوضه ترک آباد توجیه می‌نماید. به‌طور کلی نتایج حاصل از تحلیل شکل (۷) نشان می‌دهد که در حوضه مورد مطالعه مناطقی که بیشتر در معرض تغییر کاربری و هم‌چنین محدوده‌های معدنی و ساخت و سازهای انسانی می‌باشند بیشتر در معرض خطر سیل قرار داشته و با توجه به تغییرات اقلیمی به وقوع پیوسته در سال‌های اخیر نیاز به برنامه‌ریزی و مدیریت جامع سیل در این مناطق بیش از پیش احساس می‌گردد. همچنین با توجه به بالا بودن نسبی شیب حوزه در مناطق با پتانسیل سیل‌خیزی بالا و به دنبال آن زمان تمرکز سیل اندک با توجه به وسعت حوزه، پیشنهاد می‌گردد که اقدامات مدیریتی به شکل احداث سازه‌های مکانیکی سبک در سرشاخه‌ها توأم با استقرار گونه‌های گیاهی سازگار مرتعی صورت پذیرد.

به‌طور کلی پژوهش حاضر با ارائه یافته‌های جامعی در زمینه پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوزه آبخیز ترک‌آباد اردکان، اهمیت معیارهای محیطی مانند شیب زمین، پوشش گیاهی و جنس خاک را در تحلیل ریسک سیلاب برجسته می‌کند. استفاده از مدل AHP به دلیل سادگی و توانایی در ترکیب معیارهای مختلف، به‌عنوان یک ابزار کارآمد و کاربردی در این منطقه با داده‌های محدود به شمار می‌آید. این مدل به برنامه‌ریزان و مدیران محلی کمک می‌کند تا اولویت‌های لازم برای کاهش ریسک سیلاب را شناسایی کنند و در راستای مدیریت بهتر منابع آب و کاهش خطرات سیلاب گام بردارند. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که مناطق با خطر سیلاب بالا باید به‌عنوان کانون اصلی اقدامات حفاظتی و بازدارنده در نظر گرفته شوند.

## منابع


احمدزاده، ح.، سعیدآبادی، ر.، و نوری، ا. (۱۳۹۴). بررسی و پهنه‌بندی مناطق مستعد به وقوع سیل با تأکید بر سیلاب‌های شهری (مطالعه موردی: شهر ماکو). هیدروژئومورفولوژی، ۲(۲)، ۲۴-۱.

اسماعیلی، ر.، و طاهری، م. (۱۴۰۱). ارزیابی مناطق مستعد خطر سیلاب با نگرش فازی، منطقه مورد مطالعه: پایین دست حوضه آبریز نکا، استان مازندران. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۱(۳۴)، ۱۵۸-۱۴۵.

اعظمی‌راد، م.، و سعیدیان، ف. (۱۳۸۹). بررسی تعیین سیل‌خیزی در اثر نفوذپذیری و رواناب ناشی از سازندهای زمین‌شناسی در حوضه آبخیز سد کارده مشهد، ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری و چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب ،گروه مهندسی آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور، اردیبهشت۱۳۸۹.

امیدی، ن.، فرهادی، ب.، رحیمی، س.، و حصادی، ه. (۱۳۹۲). تهیّه نقشه شماره منحنی رواناب و بررسی دقّت آن توسّط مدل هیدرولوژیکی (مطالعه موردی: حوضه ناودار گیلان غرب). جغرافیا و پایداری محیط، ۳(۴)، ۷۳-۶۵.

پیروان، ح.، و شریفی، ف. (۱۳۹۷)، گزارش رده‌بندی تراوایی سازندهای زمین‌شناسی کشور، پروژه تهیه و یکپارچه‌سازی نقشه‌ها و داده‌های رقومی حوضه‌ها رده هفت کشور و توسعه پایگاه داده‌های مکانی زمانی و موضوعی مرتبط با ظرفیت آبی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. ص ۲۶۱.

حسینی، س. ف.، همتی، م.، جعفری، م.، و استعلاجی، ع. (۱۴۰۲). تحلیل و پهنه بندی خطر سیل‌خیزی و ارتباط آن با پوشش گیاهی در شهرستان قیروکارزین. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. ۱۰(۲)، ۹۶-۷۷.

حاتمی‌نژاد، ح.، آتش‌افروز، ن.، و آروین، م. (۱۳۹۶). پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از تحلیل چندمعیاره و GIS (مطالعه موردی :شهرستان ایذه)، دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ۷(۲)، ۱۵۵-۱۴۰.

حجازی، ا.، اندریانی، ص.، الماس پور، ف.، و مختاری اصل، ا. (۱۳۹۴). استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره سنجش‌ازدور در محیط GIS برای بررسی مناطق حساس به وقوع سیل در حوضه لیقوان چای، هیدروژئومورفولوژی، ۲(۳)، ۸۰-۶۱.

خالدی، ش.، ملکی، س.، و فرهمند، ق. (۱۳۹۶). ریز پهنه‌بندی و مقایسه ریسک سیلاب شهری با استفاده از مدل‌های تلفیقی عملگرهای فازی Arc GIS و تحلیل سلسله مراتبی فازی( مطالعه موردی: شهر ارومیه). مطالعات عمران شهری، ۱(۳)، ۷۷-۶۵.

ذرتی‌پور، ا.، و چراغی، م. (۱۴۰۰). کاربرد ترکیبی روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و سیستم‌های سنجش از دور با هدف پهنه‌بندی سلولی سیل‌خیزی حوضه آبریز رودخانه ابوالعباس استان خوزستان.علوم و مهندسی آبیاری، ۴۴(۴)، ۱۲۲-۱۰۹.

رستمی، ن.، و کاظمی، ی. (۱۳۹۸). پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر ایلام را با استفاده از روش GIS وAHP، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۱۰(۱)، ۱۹۳-۱۷۹.

زاهدی، م.، و بیاتی خطیبی، م. (۱۳۸۷). هیدرولوژی، انتشارات سمت، چاپ اول.

زیاری، ک.، رجایی، س. ع.، و داراب خانی، ر. (۱۴۰۰). پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی با استفاده از تحلیل سلسه مراتبی و منطق فازی در محیطGIS. مدیریت بحران. ۱۰(۱۹)، ۳۰-۲۱.

قمی‌اویلی، ف.، صادقیان، م. ص.، جاوید، ا. ح.، و میرباقری، س. ا. (۱۳۸۹). شبیه‌سازی پهنه‌بندی سیل با استفاده از مدلHEC-RAS (مطالعه موردی: رودخانه کارون حدفاصل بند قیر تا اهواز)، علوم و فنون منابع طبیعی، ۵(۱)، ۱۱۵-۱۰۵.

قنواتی، ع.، صفاری، ا.، بهشتی جاوید، ا.، و منصوریان، ا. (۱۳۹۳). پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی با استفاده از تلفیق مدل هیدرولوژیکی CN و AHP در محیطGIS مطالعه موردی: حوضه رودخانه بالخلو، جغرافیای طبیعی، ۷(۲۵) ، ۸۰-۶۷.

مددی، ع.، پیروزی، ا.، و شکرزاده فرد، ا. (۱۳۹۹). بررسی تحلیل فضایی خطر سیلاب در حوضه آبخیز خیاوچای، پژوهش‌های محیط‌زیست، ۱۱(۲۵)، ۲۶-۱۷.

میرموسوی، س. ح.، و اسمعیلی، ح. (۱۴۰۰). پهنه‌بندی نواحی سیل‌خیز با استفاده سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش‌ازدور(RS)، (مطالعه موردی: شهرستان داراب). مخاطرات محیط طبیعی، ۱۰(۲۷)، ۴۶-۲۱.

میهن‌پرست، ا.، سدیدی، ج.، و کرم، ا. (۱۳۹۸). برآورد و پهنه‌بندی پتانسیل خطر سیل‌گیری در حوضه آبریز کن تهران با استفاده از مدل تصمیم‌گیری فازی، کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در برنامه‌ریزی، ۱۰(۳)، ۱۱۸-۱۰۶.

ندافی، ع.، و حسینی، س. م. (۱۳۹۴). نگرشی جدید بر روش واکنش سیل واحد در اولویت‌بندی مکانی اقدامات کنترل سیل. مهندسی عمران فردوسی، ۲۷(۱)، ۶۶-۵۱.

ندیری، م. (۱۳۹۸). ارزیابی خطر سیل خیزی حوضه آبخیز آیدوغموش با استفاده از مدل AHP-TOPSIS. جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، ۹(۳)، ۳۱۹-۳۰۷.

ندیری، م. (۱۳۹۸). پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی با استفاده از منطق فازیTOPSIS– AHP در محیطGIS (مطالعه موردی حوضه آبخیز آیدوغموش)، جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، ۹(۲)، ۲۹۳-۲۰۶.

وهابی، ج. (۱۳۸۵). پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی مطالعه موردی طالقان رود، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، ۱۹(۲)، ۴۰- ۳۳.

Dano, U. L., Balogun, A. L., Matori, A. N., Wan Yusouf, K., Abubakar, I. R., Said Mohamed, M. A., Adedoyin Aina,Y and Pradhan, B. (2019). Flood susceptibility mapping using GIS-based analytic network process: A case study of Perlis, Malaysia. Water, 11(3), 615.

Farish, S., Munawar, S., Siddiqua, A., Alam, N., and Alam, M. (2017). Flood risk zonation using gis techniques: district Charsadda, 2010 floods Pakistan. Environmental Risk Assessment and Remediation, 1(2).29-35.

Haile, A. T., Tefera, F. T., and Rientjes, T. (2016). Flood forecasting in Niger-Benue basin using satellite and quantitative precipitation forecast data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 52: 475-484.

Hu, A. X., and Scott Mackay, D. (2001). Effects of spatial detail of soil information on watershed modeling. Journal of Hydrology, 284: 57 -77.

Huete, A. R. (1988). a Soil-adjusted vegetation index. Remote sensing of environment, Vol.25, pp.295-309

Kain, C. L., Rigby, E. H., and 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.

Morelli, S., Segoni, S., Manzo, G., Ermini, L., and Catani, F. (2012). Urban planning, flood risk and public policy: The case of the Arno River, Firenze, Italy. Applied Geography, 34, 205-218.

Rahmati, O., Zeinivand, H., and Besharat, M. (2016). Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 7(3), 1000-1017.

Ronald Clement, A. (2013). An application of Geographic Information System in mapping flood risk zones in a north centeral city in Nigeria. African Journal of Environmental Science and Technology, 6: 365-371.

Shivaprasad Sharma, S. V., Roy, P. S., Chakravarthi, V., and Srinivasa Rao, G. (2018). Flood risk assessment using multi-criteria analysis: a case study from Kopili River Basin, Assam, India. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 9(1), 79-93.

Wang, Y., Hong, H., Chen, W., Li, S., Pamučar, D., Gigović, L., ... & Duan, H. (2018). A hybrid GIS multi-criteria decision-making method for flood susceptibility mapping at Shangyou, China. Remote Sensing, 11(1), 62.

*Management of Natural Ecosystems*
Volume 3, Issue 3, Autumn 2023, 1-15
http://emj.ardakan.ac.ir/article_719755.html

# Flood risk zoning using multi-criteria decision-making approach(Case study: Torkabad Ardakan Basin)

Ali Naser Dehghan Tezerjani[1], Ali Fathzadeh[2*], Mehdi Hayatzadeh[3], Farzaneh Fotouhi Firoozabad[3], Mohammad Reza Fazelpour[4]

CC BY

**Research Article**

1. M.Sc. Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran.
dehghan@gmail.com

2. Associate Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran.
fat@ardakan.ac.ir
* Corresponding author

3. Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran.
mhayatzadeh@ardakan.ac.ir
f.fotouhi@ardakan.ac.ir

4. Ph.D. in Watershed Management, Natural Resources and Watershed Management Office of Ardakan, Yazd, Iran.
mr.fazelpoor@gmail.com

**Article Code:** 2409-1075
**Countinus Pagination:** 508-522

**Received:** 1 September 2024
**Accepted**: 25 December 2024
**Online:** 08 January 2025
**Review speed:** 116 days

**Citation:**
Dehghan Tezerjani, A., Fathzadeh, A., Hayatzadeh, M., Fotouhi Firoozabad, F., and Fazelpour, M. R. (2023). Flood risk zoning using multi-criteria decision-making approach (Case study: Torkabad Ardakan Basin). Management of Natural Ecosystems, 3(3), 1-15.

## Abstract
Floods cause a lot of human and financial losses in the world and in Iran every year. On the other hand, low amount of rainfall, seasonal rainfall and its irregular distribution make the necessity of flood management more obvious in the country. Therefore, the present research was done with the aim of flood risk zoning in Torkabad Ardakan basin. For this purpose, first, important indicators were selected for flood risk zoning in the basin. Were selected the indices of land use, geology, distance from stream, slope percentage, height, land curvature, vegetation density, soil hydrology groups and CN coefficient. Then, using the multi-criteria decision-making approach of AHP, a hierarchical structure and questionnaire were prepared for pairwise comparison of indicators. and the importance of indicators was extracted using the opinions of experts. For overlapping criteria and sub-criteria, First, the fuzzy membership map of the sub-criteria was calculated and multiplied in the obtained weights. Then, using Fuzzy Operation Gamma, the layers were combined with each other and and the final map of flood risk zoning was obtained. The results showed that among the 9 criteria considered in this basin, the criteria of slope, density of vegetation, distance from stream and height with weights of 0.21, 0.19, 0.16 and 0.14 are the most important Also, the criteria of geological, soil hydrological group and CN coefficient with weights of 0.03, 0.05 and 0.06 have the least importance in flood risk zoning of the region. The results of flood risk zoning showed that6.98% of the basin is in the very low risk class, 17.53% in the low-risk class, 25.02% in the medium risk class, and more than 50% of the basin is in the high and very high flood risk class. This shows Turkabad basin needs attention regarding of the flood risk and any development in this basin should be done with regard to its flood situation.

## Key Words:
Zoning, Flooding, Slope, Permeability, Hierarchical, Fuzzy.

ISSN: 2821-0182
DOI: 10.22034/emj.2025.719755