



## Original Research Paper

## Flood hazard potential zonation of Babolrood watershed using fuzzy process method (FAHP) analytic hierarchy

Saeed Karimi, Sajedah Rostamzadeh\*

Department of Environment, Faculty of Environment, Technical Faculties Campus, University of Tehran

### Key Words

Flood  
Analytic hierarchy process  
Fuzzy  
GIS  
Babolrood

### Abstract

**Introduction:** Flood is one of the most complex and destructive natural events that endangers social, economic and environmental conditions more than any other natural disaster. Due to the existence of suitable conditions in the areas adjacent to the rivers, most economic activities are carried out in these areas and due to the role of habitat destruction in the extinction of plant and animal species, it is necessary to study flooding and Preparation of flood zoning maps of the mentioned areas should be given priority.

**Materials & Methods:** In this research, to achieve this goal, nine natural and human factors including: altitude, distance from waterway, drainage network density, slope, land use, land shape, vegetation density, geology and rainfall have been used. Each of the factors, by their nature, is fuzzy in the flood zoning potential zoning model and is used. By forming pairwise comparison matrices, the normal and final weight of each factor was obtained. Using ArcGIS software, each fuzzy layer was multiplied by its relative weight, and finally the weighted fuzzy layers were stacked using the Gamma operator, and the final map was obtained.

**Results:** The final flood zonation map of Babolrood watershed showed that in total about 44% of the basin area is in the moderate to very high risk zone.

**Conclusion:** There is also the highest risk of floods in the southwestern parts of the basin, which have high altitudes and heavy rainfall.

\* Corresponding Author's email: [rostamzade.sajedee@gmail.com](mailto:rostamzade.sajedee@gmail.com)

Received: 20 January 2021; Reviewed: 20 February 2021; Revised: 23 April 2021; Accepted: 31 May 2021

(DOI): [10.22034/AEJ.2021.284263.2519](https://doi.org/10.22034/AEJ.2021.284263.2519)

## مقاله پژوهشی

## پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی حوضه آبخیز بابلرود با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)

سعید کریمی، ساجده رستم‌زاده\*

گروه محیط زیست، دانشکده محیط زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

## چکیده

## کلمات کلیدی

**مقدمه:** سیل یکی از پیچیده‌ترین و مخرب‌ترین رویدادهای طبیعی است که بیش از هر بلای طبیعی دیگری شرایط اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی را به مخاطره می‌اندازد. از آن‌جا که به علت وجود شرایط مناسب در مناطق مجاور رودخانه‌ها بیش‌تر فعالیت‌های اقتصادی در این مناطق صورت می‌گیرد و با توجه به اثر تخریب زیستگاه‌ها در تنوع گونه‌ای (گیاهی و جانوری)، ضروری است که بررسی سیل خیزی و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیل مناطق مذکور در اولویت قرار گیرد.

سیل  
روش تحلیل سلسله مراتبی  
منطق فازی  
GIS  
بابلرود

**مواد و روش‌ها:** در این تحقیق، برای رسیدن به این هدف از نه فاکتور طبیعی و انسانی شامل: ارتفاع، فاصله از آبراهه، تراکم شبکه زهکشی، شیب، کاربری اراضی، شکل زمین، تراکم پوشش گیاهی، زمین شناسی و بارش استفاده شده است. هر یک از فاکتورها بنا به ماهیت‌شان در مدل پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی عضویت‌دهی فازی شده و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. با تشکیل ماتریس‌های مقایسه زوجی، وزن نرمال و نهایی هر یک از فاکتورها به‌دست آمد. به کمک نرم‌افزار ArcGIS، هر لایه فازی در وزن نسبی خود ضرب شده و در آخر لایه‌های فازی وزن‌دار با استفاده از عملگر Gamma روی هم گذاری شدند و نقشه نهایی به‌دست آمد.

**نتایج:** نقشه نهایی پهنه‌بندی سیلاب حوضه آبخیز بابلرود نشان داد که در مجموع حدود ۴۴ درصد از سطح حوضه در پهنه خطر متوسط تا خیلی زیاد قرار دارند.

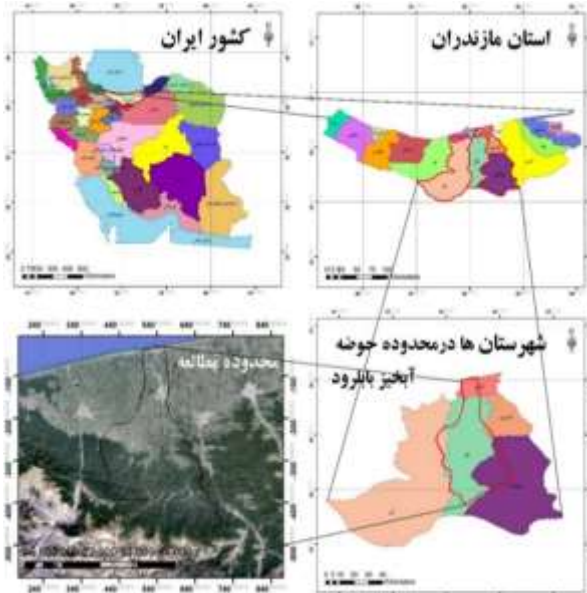
**بحث و نتیجه‌گیری:** بیش‌ترین خطر سیل در نواحی جنوب غربی حوضه که از ارتفاع و مقدار بارش زیادی برخوردارند، وجود دارد.

## مقدمه

سیل یکی از پیچیده ترین و مخرب ترین رویدادهای طبیعی است که بیش از هر بلای طبیعی دیگری شرایط اجتماعی، اقتصادی و محیط زیستی جوامع را به مخاطره می اندازد. بررسی های سازمان ملل حاکی از آن است که سیل را باید یکی از جدی ترین بلایای طبیعی به شمار آورد و تنها معدودی از کشورهای جهان را می توان یافت که فارغ از مسایل و مصائب سیل باشند. در مقایسه با سایر مخاطرات طبیعی، سیلاب ها با فراوانی زیاد و در فضایی گسترده اتفاق می افتند (۱). شواهد نشان می دهد که خسارات ناشی از سیل بیش تر از سایر سوانح طبیعی است (۲). Ghaffari و همکاران، در مطالعه ای به پهنه بندی خطر و ارزیابی خسارت سیل با استفاده از HEC-GeoRAS و با در نظر گرفتن ۱۰۳ مقطع در طول ۵/۵ کیلومتر بر روی رودخانه بابلرود در ۷ دوره بازگشت پرداختند و نشان دادند که از کل مساحت تحت تاثیر سیل ۲۰۰ ساله، ۸۹/۵۳ درصد آن مستعد سیل گیری توسط سیل های زیر ۲۵ سال است (۳). پدیده سیل نه تنها در کشورهای در حال توسعه، بلکه در تمام جهان شایع ترین مخاطره طبیعی است (۴). برخی از علل وقوع انواع سیل را می توان، ریزش باران شدید یا طولانی، ذوب برف، شکستن سد و لغزش زمین، امواج مرتفع، بستن کانال، شدت بارندگی، نوع بارندگی، زمان و حجم بارندگی، شرایط قبلی رودخانه، زهکشی حوضه، کاربری های نامناسب و قطع درختان جنگلی در سرچشمه رودها عنوان کرد (۵، ۶). با توجه به علل مختلف و مؤثر در بروز سیل، می توان با اعمال روش ها و راهکارهای علمی و عملی، از وقوع بسیاری از سیل ها جلوگیری نمود؛ در مواقعی هم که نتوان از وقوع آن جلوگیری کرد، امکان انجام اقدامات مختلف از جمله پهنه بندی مناطق سیل خیز و به دنبال آن تعیین کاربری مناسب برای این مناطق به منظور کاهش خسارات ناشی از سیل وجود خواهد داشت. Isma'il و همکاران، به بررسی تکنیک های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به منظور تولید نقشه آسیب پذیری سیل در بخشی از رودخانه کادونا در کشور نیجریه پرداختند. بخش میانی رودخانه وسیعی را پوشش می دهد و از میان کلان شهر کادونا عبور می کند و در صورت بروز سیل آسیب بسیاری به مناطق اطراف وارد می شود. آن ها در این مطالعه با استفاده از تصاویر هوایی و مدل رقومی ارتفاع (DEM) و نرم افزار ArcGIS 9.3 نواحی مستعد سیل را شناسایی نموده و مدل جریان تجمع می را به کمک مدل رقومی ارتفاع به طبقات ریسک بالا، ریسک متوسط و ریسک پایین طبقه بندی کردند. در نهایت به این نتیجه رسیدند که نقشه سیل می تواند در اطلاع رسانی عمومی، برنامه ریزی روبرویی با بلایای طبیعی و مدیریت خطر سیلاب به طور مؤثر مورد استفاده قرار گیرد (۷). Roland Clement، در شهر Makurdi

نیجریه با استفاده از نرم افزار GIS و داده های رقومی توپوگرافی، خاک، زمین شناسی، پوشش گیاهی، اقلیم، جمعیت و فعالیت های اقتصادی به پهنه بندی خطر وقوع سیل پرداخت (۸). Qin و همکاران، در بزرگراه های منطقه فیولینگ چین با توجه به معیارهای زمین شناسی، شدت بارش، فراوانی سیلاب، ژئومورفولوژی و پوشش گیاهی، به پهنه بندی خطر سیلاب با استفاده از مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) پرداختند (۹). Yen an و همکاران، در حوضه رودخانه Huaihe، با استفاده از روش AHP و GIS پهنه بندی خطر سیلاب انجام دادند (۱۰). Lawal و همکاران، در شهر Perlise مالزی، مطالعه ای به منظور تجزیه و تحلیل مدل استخراج میزان سیلاب و عوامل مؤثر بر سیلاب انجام دادند و در نهایت با ترکیب داده های سنجش از دور و GIS، سه عامل زمین شناسی، کاربری زمین و شیب به عنوان عوامل مهم در سیل خیزی منتج شدند (۱۱). Meyer و همکاران، در تحقیقی با استفاده از رویکرد چندمعیاره به تهیه نقشه ریسک سیل خیزی برای رودخانه مولد در آلمان اقدام نمودند. در این مطالعه از دو قانون تصمیم گیری چند معیاره مختلف و یک رویکرد اضافه وزن دار، برای ارزیابی خطر سیل در منطقه استفاده شده است (۱۲). Qi و همکاران، در مطالعه ای به محاسبه وسعت و اندازه سیلاب اطراف دریاچه پویانگ در چین، اقدام و منطقه مورد مطالعه را مدل سازی نمودند. این مدل سازی نشان داد که منحنی های ۳۰ متری که براساس مدل رقومی ارتفاعی منطقه تولید شده اند، بهتر از نتایج به دست آمده از منحنی های به دست آمده از تصاویر رادار هستند (۱۳). دشت های سیلابی و مناطق مجاور رودخانه ها در حوضه های آبریز و آبخیز از جمله مناطقی هستند که در نقاط مختلف دنیا پیوسته در معرض خطر سیل قرار دارند. از آن جا که به علت وجود شرایط مناسب در مناطق مجاور رودخانه ها بیش تر فعالیت های اقتصادی در این مناطق صورت می گیرد، ضروری است که بررسی سیل خیزی و تهیه نقشه های پهنه بندی خطر سیل مناطق مذکور در اولویت قرار گیرد. در واقع نقشه های پهنه بندی خطر سیل همراه با تدوین ضوابط مورد نیاز در دشت های سیلابی و حریم رودخانه ها، ابزاری مهم و مؤثر در برنامه ریزی و اجرای طرح های عمرانی، کشاورزی و به طور کلی در تعیین کاربری اراضی حوضه های آبخیز تلقی خواهند شد. از اثرات محیط زیستی سیلاب ها نیز نمی توان غافل شد. با توجه به نقش تخریب زیستگاه ها در از بین رفتن گونه های گیاهی و جانوری و کاهش جمعیت یا تنوع زیستی آن ها، سیلاب ها اثرات مستقیم و غیرمستقیمی بر جانوران، به خصوص جانوران آبی دارند. اثرات مستقیم هم چون آواره نمودن و کشتن جانوران و اثرات غیرمستقیم هم چون تغییر شکل و فرم (ژئومورفولوژی) رودخانه. ساختار رودخانه تعیین کننده کیفیت و کمیت زیستگاهی جانوران آبی می باشد؛ بنابراین تغییرات ساختاری ناشی از طغیان های شدید می تواند اکولوژی رودخانه

حوضه و حداقل ارتفاع آن نسبت به سطح دریای آزاد، ۴۴- متر در بخش شمالی حوضه، می‌باشد. در شکل ۱ سلسله مراتب موقعیت سیاسی حوضه آبخیز مورد مطالعه مشاهده می‌شود.



شکل ۱: موقعیت سیاسی حوضه آبخیز بابلرود

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی و از نظر روش، توصیفی تحلیلی می‌باشد که با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شده است. در این پژوهش از نه فاکتور طبیعی و انسانی برای اجرای مدل استفاده شده است. فاکتورهای مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از: ارتفاع (DEM)، فاصله از آبراهه، تراکم شبکه زهکشی، شیب، کاربری اراضی، شکل زمین، تراکم پوشش گیاهی (NDVI)، زمین‌شناسی و هم‌بارش. این فاکتورها (زیر معیارها) در چهار دسته معیار طبقه‌بندی شده‌اند. جهت تهیه لایه‌های مربوط به زیرمعیارها از DEM منطقه با قدرت تفکیک ۳۰ متر، نقشه‌های زمین‌شناسی و شکل زمین سازمان زمین‌شناسی و باند‌های ۴ و ۵ تصویر ماهواره لندست ۸ استفاده شده است؛ از آنجایی که مساحت منطقه مورد مطالعه زیاد بوده و مطالعه به صورت پهنه‌ای می‌باشد، دقت تصاویر ماهواره لندست برای این پژوهش قابل قبول می‌باشد. هم‌چنین لایه‌های شیب، فاصله از رودخانه و تراکم شبکه زهکشی از لایه DEM استخراج شده و لایه‌های کاربری اراضی و هم‌بارش از لایه ۲۵۰۰۰:۱ کشوری تهیه شده‌اند. هر کدام از زیرمعیارها بنا به ماهیت و عملکردشان در مدل پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی و بر اساس توابع تعیین شده، عضویت‌دهی فازی شده و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. سپس معیارها در ماتریس‌های مقایسه زوجی به صورت دو به دو با یکدیگر مقایسه شده و وزن هر معیار نسبت به معیار دیگر بر

را حتی بیش‌تر از اثرات مستقیم تحت تاثیر قرار دهد. لازم به ذکر است که تمامی تغییرات ناشی از سیلاب‌ها منفی نیستند. نیروی فیزیکی سیل می‌تواند باعث گسترش یا پاکسازی دشت سیلابی و به دنبال آن ایجاد مناطق خشک به‌عنوان زیستگاهی حیاتی برای پرندگان، خزندگان، حشرات و گیاهان شود. بنابراین وقایع شدید و مکرر سیلابی ممکن است زیستگاه بیش‌تری برای ارگانیسم‌های خاصی ایجاد نماید؛ اما اگر زیستگاه دشت سیلابی حفظ نشود، گونه‌های بزرگ‌تر و ماندگارتر سرزمین‌های اطراف به آن تجاوز کرده و موجب گم شدن زیستگاه و گونه‌های آن می‌شوند. با توجه به پیشینه مطالعاتی صورت گرفته، اهمیت پرداختن به مبحث پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی آشکار می‌شود. حوضه آبخیز مورد مطالعه به دلیل جریان یافتن رودخانه بابلرود که از ترکیب سه رودخانه آذررود، کارسنگ‌رود و اسکلیمرود در سد البرز تشکیل شده و پس از گذر از شهرستان‌های سوادکوه، بابل و بابلرس به دریای مازندران می‌ریزد و هم‌چنین قرار گرفتن بخش جنوبی حوضه در ارتفاعات و بارش زیاد در سراسر حوضه، در معرض خطر سیل قرار دارد. براساس روش آمیخته اقلیم حوضه از نوع نیمه مرطوب سرد می‌باشد. قسمت اعظم سطح حوضه، حدود ۱۰۹۲۷۵ هکتار، پوشیده از جنگل است و در آن علاوه بر جنگل، مراتع، زمین‌های کشاورزی و مناطق مسکونی نیز وجود دارند. با توجه به تنوع عوامل فیزیوگرافی در سطح حوضه، وجود جنگل‌های ارزشمند، رودخانه مهم بابلرود و قابلیت کشاورزی و گردشگری که در سرزمین‌های عبوری ایجاد کرده است و خسارات مالی و جانی احتمالی بر اثر وقوع سیل در حوضه این رود، پهنه‌بندی خطر سیل آن جهت به‌کارگیری اقدامات پیشگیرانه امری ضروری است. با وجود پیشرفت روش‌های فیزیکی و ساختمانی مهار سیلاب، هم‌چنان سطح ایمنی در حاشیه بسیاری از رودخانه‌ها از جمله رودخانه بابلرود مطلوب نیست. با اجرای روش‌های غیرسازه‌ای از جمله استفاده از سیستم‌های اطلاعاتی جدیدی هم‌چون GIS می‌توان به تعیین کاربری اراضی، مطالعه و توجیه اقتصادی طرح‌های عمرانی و ایجاد محدودیت‌های اجباری در مناطق خطرپذیر پرداخت که از جمله کاربردهای نتایج این پژوهش محسوب می‌شوند.

## مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه حوضه آبخیز بابلرود در استان مازندران و در محدوده شهرستان‌های سوادکوه، بابل، بابلرس و بخشی از شهرستان آمل است که در مختصات بین  $36^{\circ} 02' 12''$  تا  $36^{\circ} 22' 50''$  عرض شمالی و  $52^{\circ} 38' 39''$  تا  $52^{\circ} 55' 24''$  طول شرقی قرار گرفته است. مساحت این حوضه  $168964/41$  هکتار بوده و حداکثر ارتفاع آن نسبت به سطح دریای آزاد،  $3709$  متر در منتهی‌الیه جنوب‌غربی

**تعیین عضویت لایه‌ها در مدل سیل خیزی:** تابع عضویت هر یک از لایه‌ها در مدل براساس نوع رابطه‌ای که هر پارامتر با پدیده سیل خیزی در حوضه بابلرود دارد، تعیین گردیده است. در ادامه به این روابط اشاره شده است.

**تراکم شبکه زهکشی:** اگر مجموع طول تمام رودخانه‌ها و آبراهه‌های حوضه اندازه‌گیری و بر مساحت حوضه تقسیم شود، عدد به دست آمده که معمولاً برحسب کیلومتر در هر کیلومتر مربع تعریف می‌شود، تراکم شبکه زهکشی نامیده می‌شود (۱۷):

$$\mu = \frac{\sum Li}{A}$$

در این رابطه  $Li$ ، طول آبراهه‌ها (دائمی و موقتی) به کیلومتر،  $A$  مساحت حوضه بر حسب کیلومتر مربع و  $\mu$  تراکم شبکه زهکشی بر حسب کیلومتر بر کیلومتر مربع است. در حوضه مورد مطالعه، مجموع طول آبراهه‌ها  $1417/13$  کیلومتر، مساحت حوضه  $1689644/12$  کیلومتر مربع و تراکم شبکه زهکشی  $0/000839$  کیلومتر در هر کیلومتر مربع می‌باشد. جهت فازی‌سازی این لایه، از آن‌جاکه این پارامتر با سیل خیزی رابطه عکس دارد، از رابطه خطی و کاهنده در تعیین عضویت این لایه استفاده شده است.

Membership Function: Small  
Midpoint: 257  
Spread: 5

**مدل رقومی ارتفاع (DEM):** برای آن‌که نتایج مدل سیل خیزی

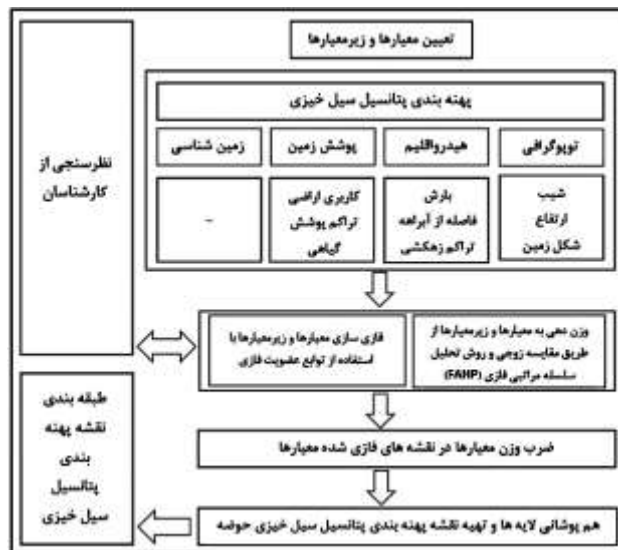
نشان دهند که مدل رقومی ارتفاعی منطقه می‌تواند نواحی مستعد سیل خیزی را تعریف کند، باید دقت مناسبی داشته باشند. از آن‌جا که با افزایش ارتفاع مقدار بارندگی نیز افزایش می‌یابد و با افزایش بارندگی در منطقه رواناب حاصل از آن نیز شدت می‌گیرد، جهت فازی‌سازی این لایه از رابطه خطی افزایشی استفاده شده است.

Membership Function: Linear  
Minimum: -44  
Maximum: 370

**شیب:** شیب اراضی تعیین‌کننده نحوه و میزان جریان و سرعت حرکت آب است. به این ترتیب که در اراضی با شیب شدید، تحت تاثیر نیروی ثقل، آب دارای سرعت زیادی می‌شود (۱۸). شیب حوضه به دلیل رابطه مستقیم و پیچیده‌ای که با مقدار نفوذپذیری و جریان سطحی و هم‌چنین با رطوبت خاک دارد، نقش بسیار زیادی در ایجاد جریان‌های شدید و سیلابی در حوضه‌های آبخیز ایفای می‌کند (۱۷). لایه شیب از لایه مدل رقومی ارتفاعی منطقه در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.7 تهیه گردید. با توجه به رابطه مستقیم این پارامتر با سیل خیزی، از تابع عضویت Linear جهت فازی‌سازی آن استفاده شده است.

Membership Function: Linear  
Minimum: 5  
Maximum: 290

حسب میزان اولویت به آن معیار اختصاص داده شده است. پس از تکمیل ماتریس‌های مقایسه زوجی، ساختار شبکه‌ای در نرم‌افزار Super Decision تشکیل شده، سپس نمرات اعمال شده وارد نرم افزار شده و در نهایت وزن نرمال و نهایی هر یک از زیر معیارها حاصل شدند. در حین مقایسه زوجی برای هر مجموعه، محاسبه میزان نرخ سازگاری نیز صورت گرفته است. به کمک نرم‌افزار ArcGIS، هر لایه فازی در وزن نسبی خود ضرب شده و لایه‌های فازی وزن‌دار با استفاده از عملگر Gamma و با سه مقدار  $0/5$  و  $0/7$  و  $0/9$  روی هم گذاری و مقایسه شدند و در نهایت لایه Gamma  $0/9$  به دلیل برخورداری از بیش‌ترین همبستگی با لایه‌های فازی وزن‌دار به‌عنوان نقشه نهایی پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی به دست آمد. فرآیند کلی تحقیق در شکل ۲ نمایش داده شده است. پس از آن نیز نقشه‌های مربوط به لایه‌های اولیه تحقیق قابل مشاهده می‌باشند.



شکل ۲: فرآیند کلی تحقیق

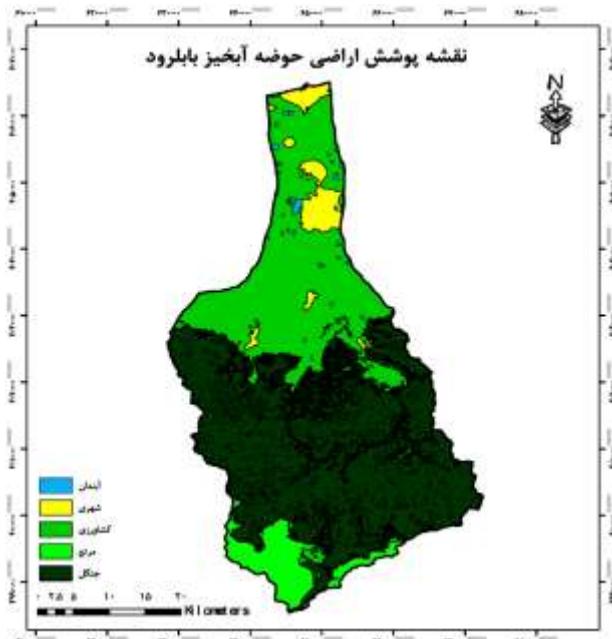
**روش فازی-تحلیل سلسله مراتبی (FAHP):** به منظور استفاده از مزایای هر دو تکنیک فازی و AHP و نیز غلبه بر نقاط ضعف آن‌ها، Pedrycz و Laarhoven، اولین بار اصول منطق فازی را در تحلیل سلسله مراتبی به کار بردند (۱۴). این روش دامنه‌ای از مقادیر را برای بیان عدم قطعیت تصمیم‌گیرندگان به کار می‌گیرد (۱۵). Chang، روش فازی تحلیل سلسله مراتبی (FAHP) را ارائه نمود (۱۶). با توجه به این‌که پدیده‌هایی نظیر سیلاب تحت تاثیر عوامل بسیاری قرار دارند و این عوامل قطعی و صددرصدی نیستند، بنابراین بهتر است در مطالعه چنین پدیده‌هایی به جای استفاده از مدل بولین که لازمه آن داده‌های دقیق و کمی است، از مدل فازی استفاده شود. با استفاده از نظریه فازی می‌توان متغیرهای نادقیق و مبهم را به شکل ریاضی درآورد.



بالایی از کاربری‌های شهری) در مقایسه با نواحی مشابه که به‌وسیله جنگل و چمن پوشیده شده‌اند، رواناب شدیدتری جاری می‌شود (۱۷). هرگونه عملیاتی در حوضه که سبب کاهش ذخیره رطوبت خاک و یا کاهش نفوذپذیری گردد، موجب افزایش بده سیلابی می‌گردد (۲۰). کاربری‌های محدوده مورد مطالعه شامل پنج کاربری جنگل، سطوح آبی، کشاورزی آبی، مرتع مرغوب و شهری می‌شود که در شکل ۳ نشان داده شده‌اند. اطلاعات مربوط به نوع کاربری‌ها، با مشخص نمودن سهم هر نوع کاربری در سیل‌خیزی، در جدول ۱ به‌صورت کمی در آورده شد. این سهم به‌صورت بازه ۰ تا ۱ تعیین شده است. جهت‌فازی این لایه از نرم‌افزار TerrSet و از تابع User defined استفاده می‌شود.

جدول ۱: سهم انواع کاربری‌های حوضه در پتانسیل سیل‌خیزی

| سهم | نوع کاربری  |
|-----|-------------|
| ۰/۱ | جنگل        |
| ۰/۹ | سطوح آبی    |
| ۰/۴ | کشاورزی آبی |
| ۰/۲ | مرتع مرغوب  |
| ۰/۸ | شهری        |



شکل ۳: نقشه پوشش اراضی حوضه آبخیز بابلرود

شکل زمین: حوضه آبخیز مورد مطالعه از دو تیپ اراضی کوهستانی و دشت‌های دامنه‌ای تشکیل شده است. جهت‌فازی این لایه از نرم‌افزار TerrSet و تابع User defined استفاده می‌کنیم. زمین‌شناسی: این لایه از سیزده طبقه تشکیل شده است. امتیازدهی به واحدهای زمین‌شناسی براساس چگونگی نفوذپذیری

### فاصله از رودخانه و آبراهه: از جمله مهم‌ترین عوامل افزایش

خسارات سیل استفاده نامعقول از حریم مسیل‌های به‌ظاهر مساعد و بالقوه خطرناک است که در معرض سیلاب‌های ادورای قرار دارند (۲). لایه فاصله از آبراهه‌ها از طریق فاصله‌گذاری بر روی لایه آبراهه‌های موجود و با استفاده از دستور Euclidean Distance در محیط ArcGIS 10.7 تولید شد. از آن‌جاکه با افزایش فاصله از آبراهه یا رودخانه، پتانسیل سیل‌خیزی کاهش می‌یابد، جهت عضویت‌دهی این لایه از حالت معکوس تابع Linear استفاده می‌شود. مقدار Minimum ۵۰ متر تعیین شد، زیرا از ۰ تا ۵۰ متر، پتانسیل سیل‌خیزی بسیار زیاد می‌باشد.

Membership Function: Linear

Minimum: 50

Maximum: 1900

بارش: بارندگی را می‌توان مهم‌ترین عاملی دانست که به‌طور

مستقیم در چرخه هیدرولوژی دخالت دارد (۱۹). از آن‌جا که رابطه بارش با پتانسیل سیل‌خیزی رابطه‌ای مستقیم است، جهت عضویت‌دهی این لایه از تابع Large استفاده می‌شود. لازم به ذکر است با استفاده از این تابع هیچ‌گاه به ارزش ۱ نخواهیم رسید.

Membership Function: Large

Midpoint: 485

Spread: 2

تراکم پوشش گیاهی (NDVI): وقوع سیل رابطه معکوسی با

تراکم پوشش گیاهی دارد. بدین معنی که با افزایش پوشش گیاهی شدت رواناب کاهش یافته و با کاهش پوشش گیاهی رواناب منطقه افزایش می‌یابد. بنابراین شاخص پوشش گیاهی یک پارامتر مهم در سیل‌خیزی حوضه آبخیز می‌باشد (۱۷). به این منظور از روی تصویر ماهواره لندست ۸، باندهای ۴ (مادون قرمز) و ۵ (مادون قرمز نزدیک) استخراج گردید. جهت محاسبه NDVI از رابطه زیر استفاده شد:

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R}$$

بازه مقادیر به‌دست آمده با استفاده از این دو باند و رابطه بالا در محیط ArcGIS 10.7، از ۰/۱۵- تا ۰/۶۵ می‌باشد که هر چه به ۰/۶۵ نزدیک‌تر می‌شود، تراکم پوشش گیاهی افزایش می‌یابد. برای عضویت‌دهی فازی این لایه از تابع Linear استفاده می‌شود و حالت معکوس آن مدنظر است. نکته قابل توجه در رابطه با Maximum و Minimum است که به Maximum عدد ۰ (کوچک‌تر از ۰ کاملاً مطلوب است) و به Minimum بیش‌ترین عدد بازه (۰/۶۵) را می‌دهیم.

Membership Function: Linear

Minimum: 0/65

Maximum: 0

کاربری اراضی: بارش‌های زمین‌های لم‌یزرع و بدون پوشش

گیاهی در مقایسه با نواحی جنگلی، به‌سرعت بر روی سطح زمین جاری می‌شوند. در نتیجه در برخی نواحی کاربری اراضی (برای مثال درصد

عوامل موثر در وقوع سیلاب در منطقه مطالعاتی، وزن‌دهی به معیارها برای اولویت‌بندی عوامل نسبت به یکدیگر صورت گرفت و ماتریس‌های مقایسه زوجی براساس ویژگی‌های منطقه و مطالعات تطبیقی برای معیارها و زیر معیارها شکل گرفت. جهت محاسبه پایایی وزن‌دهی و میزان سازگاری یا ناسازگاری آن، باید از شاخص نرخ سازگاری (CR) بهره جست؛ چرا که هنگام برآورد اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر احتمال ناهماهنگی در قضاوت‌ها وجود دارد و باید سنج‌ای یافت که میزان ناهماهنگی‌ها را مشخص سازد. چنان‌چه مقدار ضریب سازگاری CR مساوی یا کوچک‌تر از ۰/۱ باشد، نشان‌دهنده این است که سازگاری لازم در قضاوت‌ها رعایت شده است (۲۲). اما چنان‌چه مقدار این شاخص بیش‌تر از ۰/۱ به‌دست‌آید، قابل قبول نبوده و باید مقادیر نسبت داده شده در ماتریس اولیه را تغییر داد:

$$CR = CI/RI$$

$$CI = LANDA \max - n/(n-1)$$

$$LANDA \max = Average (LANDA/W)$$

$$LANDA = A * W$$

$$A = \text{Main matrix} \quad W = \text{weight}$$

| n  | ۱ | ۲ | ۳    | ۴   | ۵    | ۶    | ۷    | ۸    | ۹    |
|----|---|---|------|-----|------|------|------|------|------|
| RI | ۰ | ۰ | ۰/۵۸ | ۰/۹ | ۱/۱۲ | ۱/۲۴ | ۱/۳۲ | ۱/۴۱ | ۱/۴۵ |

در این فرمول، RI شاخص سازگاری تصادفی، n بعد ماتریس، W وزن نهایی و A ماتریس اصلی است. برای ماتریس معیارهای اصلی فوق، مقدار  $CR = ۰/۰۶۹$  و  $CI = ۰/۰۶۲$ ، مقدار  $LANDA \max = ۴/۱۸۸۷$ ، مقدار  $CR = ۰/۰۶۹$  و  $CI = ۰/۰۶۲$ ، مقدار  $LANDA \max = ۴/۱۸۸۷$ ، به‌دست آمد که با توجه به کوچک‌تر بودن مقدار CR حاصله از ۰/۱، قابل قبول می‌باشد.

از آن‌جاکه برای تشکیل ماتریس باید حداقل دو زیرمعیار وجود داشته باشد و معیار اصلی زمین‌شناسی، زیرمعیاری ندارد، وزن آن ۱ در نظر گرفته می‌شود. جهت اطمینان از درستی مقادیر داده شده در ماتریس زیرمعیارهای هر معیار نیز لازم است تا شاخص نرخ سازگاری (CR) برای هر کدام از آن‌ها محاسبه شود. این محاسبات انجام شده و به‌دلیل شباهت فرآیند آن به محاسبات شاخص سازگاری معیارهای اصلی، مجدداً نوشته نخواهد شد. پس از به‌دست آوردن وزن نهایی هر زیرمعیار، باید لایه‌های مربوطه را در وزن‌شان ضرب نمود. این کار با استفاده از تحلیل‌گر Raster Calculator در محیط Arc GIS 10.7 صورت گرفته است و نقشه‌های فازی وزن‌دار در بخش نتایج، شکل ۶، قرار داده شده‌اند. پس از ضرب تمامی لایه‌های فازی شده در وزن‌هایشان، نوبت به روی هم‌گذاری لایه‌های فازی وزن‌دار شده می‌رسد. به این منظور از دستور Fuzzy Overlay در محیط ArcGIS 10.7 استفاده می‌شود. جهت اجرای تکنیک فازی ۵ عملگر وجود دارد که در این مطالعه از عملگر Gamma که تعدیل‌کننده حساسیت خیلی بالای عملگر Product و دقت خیلی کم عملگر Sum می‌باشد، استفاده شده

آن‌ها انجام شده است؛ به گونه‌ای که به واحدهایی که نفوذپذیری بیش‌تری داشته‌اند، برای سیل‌خیزی امتیاز کم‌تری تعلق گرفته است و برعکس. در جدول ۲ نوع سازندها و امتیاز نسبت داده شده به آن‌ها در بازه ۱ تا ۱۰، قابل مشاهده است. جهت فازی‌سازی این لایه نیز از نرم افزار TerrSet استفاده شده است.

جدول ۲: نوع سازندهای زمین‌شناسی حوضه و میزان نفوذپذیری آن‌ها

| نام سازند | امتیاز | نام سازند | امتیاز | نام سازند | امتیاز |
|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| Olc,s     | ۴      | Sea       | ۰      | TRJs      | ۵      |
| kbrt      | ۶      | Qm        | ۳      | Ktz1      | ۵      |
| JI        | ۴      | Pel       | ۴      | Qft2      | ۳      |
| Plc       | ۳      | Mm,s,l    | ۴      | K212      | ۶      |
| TRe       | ۵      | -         | -      | -         | -      |

در ادامه و در بخش نتایج، شکل ۵، نقشه‌های فازی شده نه فاکتور قابل مشاهده می‌باشند.

#### تدوین ساختار سلسله مراتبی به منظور پهنه‌بندی پتانسیل

سیل‌خیزی: اولین مرحله در فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی تدوین ساختار است. ساختار سلسله‌مراتبی یک نمایش گرافیکی از مسئله پیچیده است که در رأس آن هدف کلی و در سطوح بعدی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها قرار دارند. در این پژوهش جهت تدوین ساختار سلسله‌مراتبی پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی در حوضه آبخیز بابلرود از ساختار هدف، معیار، زیرمعیار، گزینه که در شکل ۴ قابل مشاهده است، بهره گرفته شده است.



شکل ۴: ساختار سلسله مراتبی معیارها و زیرمعیارها

#### محاسبه وزن نسبی عوامل موثر در پهنه‌بندی پتانسیل

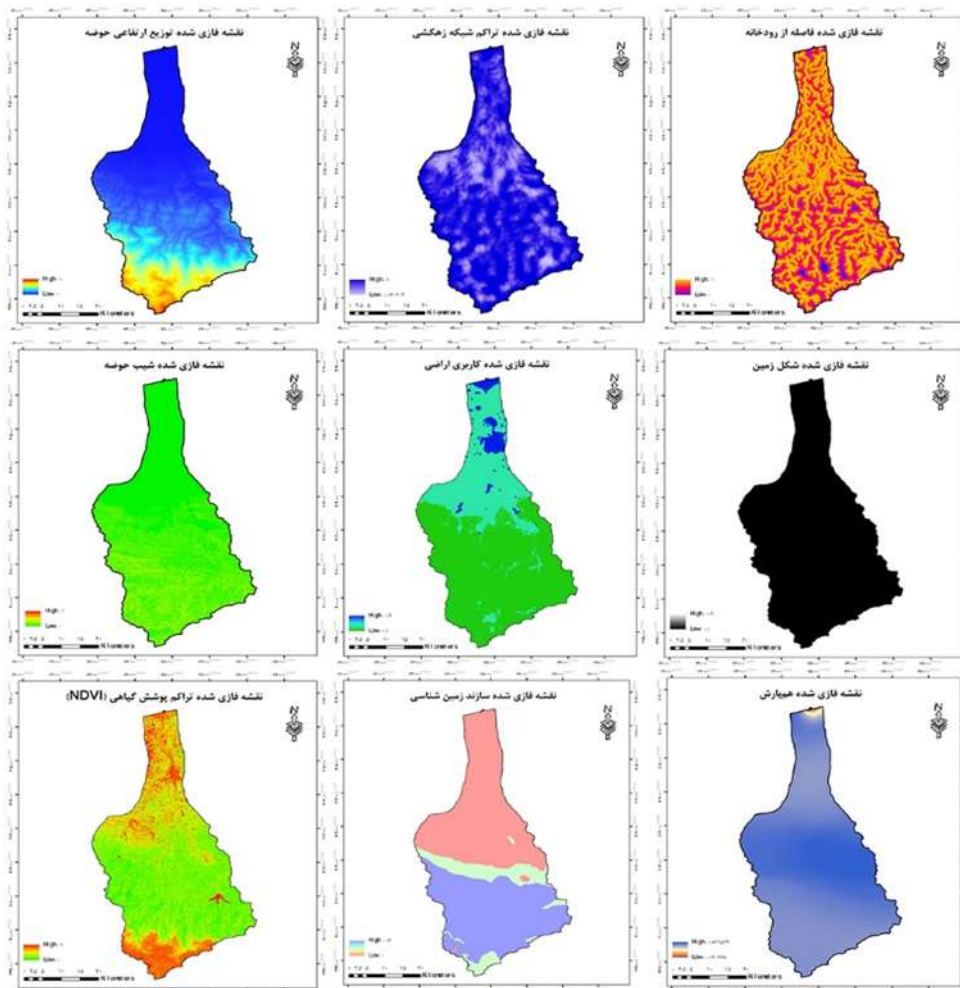
سیل‌خیزی: در فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی عوامل به‌صورت زوجی با یکدیگر مقایسه شده و بیش‌ترین وزن به لایه‌ای تعلق می‌گیرد که حداکثر تأثیر را در تعیین هدف داشته باشد (۲۱). پس از تشخیص

حوضه بابلرود دارد، تعیین گردیده است. در بخش مواد و روش‌ها تابع عضویت هر یک از نه فاکتور و علت انتخاب آن توضیح داده شد. حال در این بخش به نقشه‌های فازی شده نه فاکتور پرداخته می‌شود. پس از تشکیل ماتریس‌های مقایسه زوجی، وزن نسبی معیارها و زیر معیارها محاسبه شد. نتایج حاصل از وزن‌دهی، ماتریس‌های مقایسه زوجی و محاسبه بردار وزن عوامل موثر در پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی در منطقه مطالعاتی به صورت جداول زیر است.

است. نقشه‌های فازی شده روی هم‌گذاری لایه‌ها با عملگر گاما در بخش نتایج، شکل ۷، آورده شده‌اند. برای رسیدن به بهترین نتیجه، از مقادیر ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹ استفاده شده که پس از مقایسه نتایج، بهترین آن‌ها برگزیده می‌شود.

## نتایج

همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، تابع عضویت هر یک از لایه‌ها در مدل بر اساس نوع رابطه‌ای که هر پارامتر با پدیده سیل‌خیزی در



شکل ۵: نقشه‌های فازی شده نه فاکتور

جدول ۳: معیارها و وزن محاسبه شده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

| معیارها    | هیدرواقلیم | پوشش زمین | زمین‌شناسی | توپوگرافی | وزن معیار |
|------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|
| هیدرواقلیم | ۱          | ۵         | ۳          | ۱         | ۰/۳۹۷     |
| پوشش زمین  | ۰/۲        | ۱         | ۲          | ۰/۲۵      | ۰/۱۲۳     |
| زمین‌شناسی | ۰/۳۳       | ۰/۵       | ۱          | ۰/۳۳      | ۰/۱۰۴     |
| توپوگرافی  | ۱          | ۴         | ۳          | ۱         | ۰/۳۷۴     |



با توجه به وزن نهایی زیرمعیارها، اولویت بندی زیرمعیارها از جهت تاثیر آنها در پتانسیل سیل خیزی به ترتیب بارش، شیب، تراکم شبکه زهکشی، شکل زمین، زمین شناسی، تراکم پوشش گیاهی، فاصله از آبراهه، مدل رقومی ارتفاع و کاربری اراضی می باشد. پس از به دست آوردن وزن نهایی هر زیرمعیار، لایه های مربوطه در وزن شان ضرب شدند. این کار با استفاده از تحلیل گر Raster Calculator در محیط Arc GIS 10.7 انجام شد. در ادامه نقشه های فازی شده وزن دار قابل مشاهده می باشند. برای آن که مشخص شود خروجی کدام یک از این سه عملگر بهتر است، از همبستگی لایه های اولیه (لایه های فازی وزن دار شده) با این سه نقشه خروجی عملگر Gamma استفاده می شود. هر یک از عملگرها که همبستگی بالاتری داشته باشند، عملگر بهتری خواهند بود. برای به دست آوردن میزان همبستگی سه لایه عملگر Gamma، از ابزار Ordinary Least Squares (OLS) در محیط ArcGIS 10.7 استفاده می شود. نتایج میزان همبستگی لایه های Gamma 0/5، 0/7 و 0/9 به تفکیک هر لایه در جدول 8 مشاهده می شود.

جدول 8: مقایسه میزان همبستگی لایه های Gamma 0/5، 0/7 و 0/9 به تفکیک نه پارامتر

| لايه             | Gamma    | 0/5      | 0/7      | 0/9 |
|------------------|----------|----------|----------|-----|
| فاصله از آبراهه  | 0/000003 | 0/000556 | 0/102155 |     |
| شیب              | 0/000003 | 0/000796 | 0/163725 |     |
| بارش             | 0        | 0/000094 | 0/058072 |     |
| تراکم پوشش گیاهی | 0/000001 | 0/000204 | 0/000128 |     |
| کاربری اراضی     | 0        | 0/000254 | 0/197005 |     |
| شکل زمین         | 0        | 0/000151 | 0/125797 |     |
| مدل رقومی ارتفاع | 0/000013 | 0/000263 | 0/418924 |     |
| زمین شناسی       | 0        | 0/000118 | 0/045311 |     |
| تراکم شبکه زهکشی | 0/000001 | 0/000150 | 0/040278 |     |

نتایج جدول 8 نشان می دهد ضرایب در عملگر Gamma 0/9 بهبود یافته و بیش تر شده اند. به عبارتی لایه Gamma 0/9 بیش ترین میزان همبستگی را با لایه های اولیه داشته است. بنابراین نقشه Gamma 0/9 به عنوان نقشه نهایی در پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی انتخاب می شود که در شکل 8 با نمایی دیگر قابل مشاهده است. نتایج ارائه شده در جدول 9 نشان می دهد که سطح 5 که 0/016 درصد از حوضه آبخیز را تشکیل می دهد، به دلیل داشتن ارتفاع زیاد، شیب زیاد، بارش زیاد و نفوذپذیری کم بیش ترین نقش را در تولید رواناب دارد. سطح 4 نیز همانند سطح 5 پتانسیل بالایی در تولید رواناب دارد و حدود 6/14 درصد از سطح حوضه آبخیز را تشکیل می دهد. پهنه های سطوح 4 و 5 بیش تر در نواحی مرتفع کوهستانی

با توجه به وزن های به دست آمده در جدول 3، اهمیت معیارها به ترتیب هیدرواقلیم، توپوگرافی، پوشش زمین و زمین شناسی می باشد.

جدول 4: زیرمعیارهای توپوگرافی و وزن به دست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

| توپوگرافی        | شیب  | مدل رقومی ارتفاع | لندفرم | وزن زیر معیار |
|------------------|------|------------------|--------|---------------|
| شیب              | 1    | 5                | 3      | 0/619         |
| مدل رقومی ارتفاع | 0/2  | 1                | 0/25   | 0/096         |
| شکل زمین         | 0/33 | 4                | 1      | 0/284         |

جدول 5: زیرمعیارهای هیدرواقلیم و وزن به دست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

| توپوگرافی       | بارش | فاصله از آبراهه | تراکم زهکشی | وزن زیر معیار |
|-----------------|------|-----------------|-------------|---------------|
| بارش            | 1    | 5               | 3           | 0/619         |
| فاصله از آبراهه | 0/2  | 1               | 0/25        | 0/096         |
| تراکم زهکشی     | 0/33 | 4               | 1           | 0/284         |

جدول 6: زیرمعیارهای پوشش زمین و وزن به دست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

| پوشش زمین        | کاربری اراضی | تراکم پوشش گیاهی | وزن زیر معیار |
|------------------|--------------|------------------|---------------|
| کاربری اراضی     | 1            | 0/33             | 0/25          |
| تراکم پوشش گیاهی | 3            | 1                | 0/75          |

پس از محاسبه وزن معیارهای اصلی و وزن اولیه زیرمعیارها، جهت محاسبه وزن نهایی زیرمعیارها و اولویت بندی آنها لازم است تا وزن هر زیرمعیار در وزن معیار اصلی آن ضرب شود. نتایج حاصل در جدول 7 قابل مشاهده است.

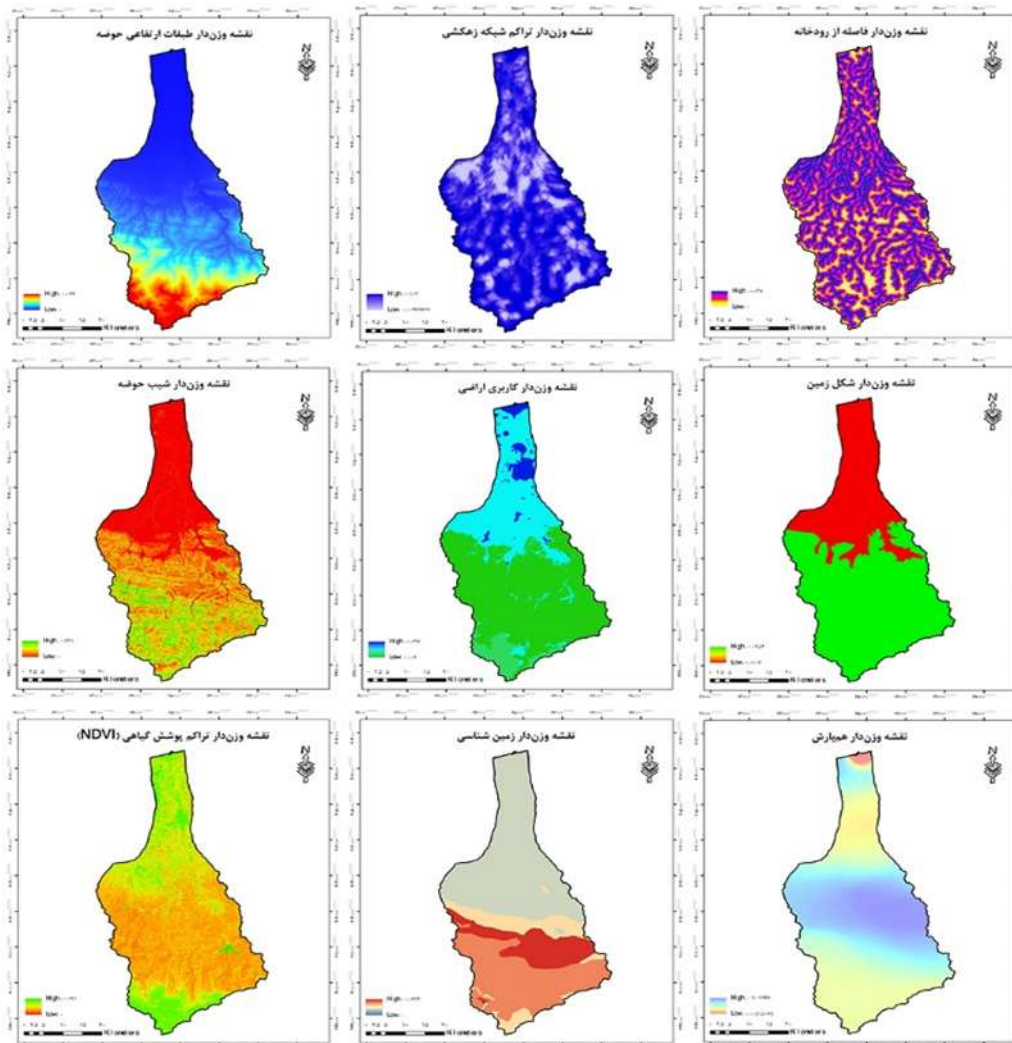
جدول 7: وزن نهایی زیرمعیارها

| وزن نهایی زیرمعیارها | وزن معیارها      | وزن اولیه زیرمعیار |
|----------------------|------------------|--------------------|
| 0/231                | شیب              | 0/619              |
| 0/036                | مدل رقومی ارتفاع | 0/096              |
| 0/106                | شکل زمین         | 0/284              |
| 0/246                | بارش             | 0/619              |
| 0/038                | فاصله از آبراهه  | 0/096              |
| 0/113                | تراکم شبکه زهکشی | 0/284              |
| 0/030                | کاربری اراضی     | 0/25               |
| 0/092                | تراکم پوشش گیاهی | 0/75               |
| 0/104                | زمین شناسی       | 1                  |

جدول ۹: مساحت هر یک از سطوح سیل‌خیزی

| سطح خطرپذیری      | مساحت (هکتار) | مساحت (درصد) |
|-------------------|---------------|--------------|
| سطح ۱ (خیلی کم)   | ۵۴۲۶۴/۱۸      | ۳۲/۲۲        |
| سطح ۲ (کم)        | ۴۰۶۶۹/۳۲      | ۲۴/۱۵        |
| سطح ۳ (متوسط)     | ۶۳۰۵۳/۴۱      | ۳۷/۴۴        |
| سطح ۴ (زیاد)      | ۱۰۳۵۳/۴۲      | ۶/۱۴         |
| سطح ۵ (خیلی زیاد) | ۲۷            | ۰/۰۱۶        |

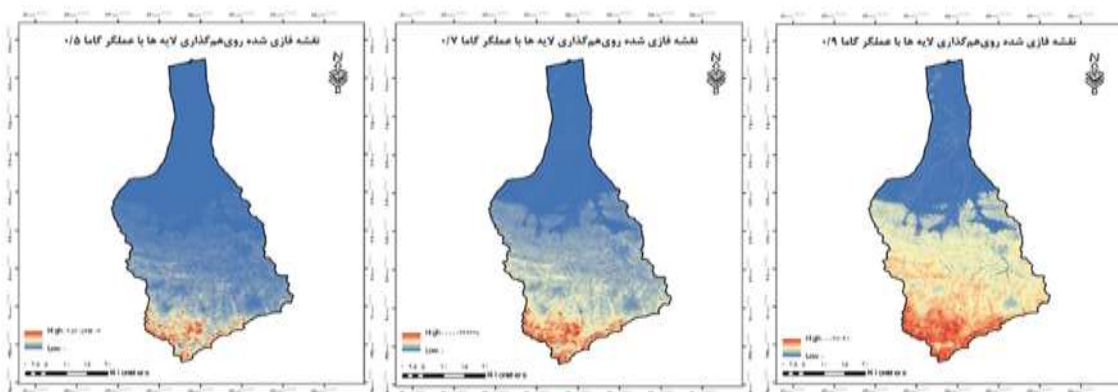
واقع شده‌اند و روی هم حدود  $۱۰۳۸۰/۴۲$  هکتار از حوضه آبخیز را شامل می‌شوند. این دو پهنه به دلیل داشتن بیش‌ترین نقش در تولید سیلاب، باید از نظر مدیریت آبخیزداری مورد توجه ویژه قرار گیرند. سطح ۳ با خطرپذیری متوسط حدود  $۳۷/۴۴$  درصد از سطح حوضه آبخیز را تشکیل داده و عمدتاً شامل دامنه‌ها و واریزه‌های مناطق کوهستانی می‌شود. سطوح ۲ و ۱ که به دلیل داشتن ارتفاع و شیب کم، کم‌ترین نقش را در ایجاد سیلاب دارند، مجموعاً  $۵۶/۳۷$  درصد ( $۹۴۹۳۳/۵$  هکتار) از سطح حوضه آبخیز را تشکیل داده و بیش‌تر در دشت‌ها واقع شده‌اند.



شکل ۶: نقشه‌های فازی وزن‌دار نه فاکتور

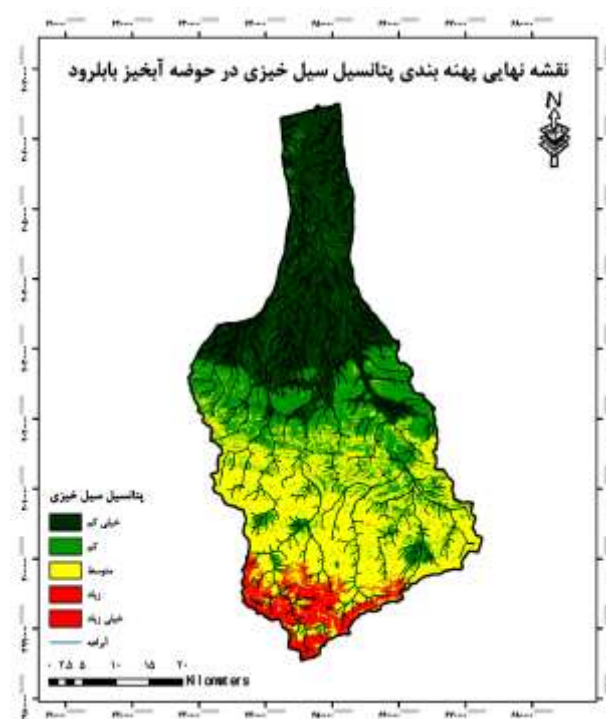
به بهترین نتیجه، از مقادیر  $۰/۵$ ،  $۰/۷$  و  $۰/۹$  برای عملگر گاما استفاده شده است.

پس از تهیه نقشه‌های فازی وزن‌دار شده، این نقشه‌ها باید با استفاده از دستور Fuzzy Overlay روی هم قرار گیرند. برای رسیدن



شکل ۷: روی هم گذاری لایه‌ها با استفاده از عملگر گامای ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹

با عنوان ارزیابی شاخص زیستی آلودگی و فون کفزیان نهر مادر سو پارک ملی گلستان مشخص کرد که سیل‌های سهمگین و عظیم رخ داده علاوه بر کندن بستر نهر مورد نظر، سبب جابه‌جایی کفزیان آن به نقاط بسیار دورتری از محل اصلی خود می‌شوند (۲۱). نتایج پژوهش دیگری با عنوان اثر برخی عوامل محیطی بر تنوع زیستی ماکروبتوزهای رودخانه‌های دالکی و حله بوشهر، نشان داد که سیل و افزایش ناگهانی دبی یکی از مهم‌ترین علل کاهش تنوع و تراکم در اکوسیستم مربوطه بوده است (۲۳). Mostafavi و همکاران، در مطالعه‌ای به تاثیر عوامل مختلف در انتخاب زیستگاه توسط ماهی قزل‌آلای خال قرمز در رودخانه کرج پرداختند و نتیجه گرفتند با وجود فراهم بودن شرایط مطلوب در برخی نقاط رودخانه کرج جهت سکونت این نوع ماهی، به نظر می‌رسد عدم حضور این گونه در آن نقاط ناشی از اختلالات انسانی بر اکوسیستم‌های آب شیرین یا تغییرات اقلیمی بسیار شدید مانند سیل باشد. با توجه به موارد گفته شده که عمدتاً خسارات محیط زیستی سیلاب‌ها بوده‌اند و با علم به خسارات جانی و مالی فراوان سیلاب‌ها، اهمیت پرداختن به موضوع سیلاب و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی پتانسیل سیلاب آشکار می‌شود (۲۴). در این مطالعه پتانسیل سیل خیزی در حوضه آبخیز رودخانه بابلرود با استفاده از منطق فازی، با درجات مختلف، معین شده است. جهت تعیین مناطق مخاطره‌آمیز در حوضه از نه فاکتور که به ترتیب اولویت عبارتند از: بارش، شیب، تراکم شبکه زهکشی، شکل زمین، زمین‌شناسی، تراکم پوشش گیاهی، فاصله از آبراهه، مدل رقومی ارتفاع و کاربری اراضی استفاده شد. فاکتور بارش بیش‌ترین وزن نسبی و عامل کاربری اراضی کم‌ترین وزن نسبی را به خود اختصاص داده‌اند. در طبقات مربوط به خطوط هم‌بارش، نواحی میانی حوضه از بیش‌ترین مقدار بارش برخوردار می‌شوند. در طبقات مربوط به شیب، نواحی جنوب‌غربی حوضه به دلیل واقع شدن در ارتفاعات، از بیش‌ترین درصد شیب برخوردار می‌باشند. در طبقات مربوط به تراکم شبکه زهکشی، از جنوب به سمت میانه حوضه تراکم



شکل ۸: نقشه نهایی پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی حوضه آبخیز بابلرود

## بحث

سیل در ایران به عنوان یک بلای طبیعی، سالیانه میلیاردها ریال خسارت‌های محیط‌زیستی، در کنار خسارت‌های مالی و جانی فراوان، به کشور تحمیل می‌کند. دبی آب رودخانه‌ها به‌ویژه در زمان وقوع سیلاب‌ها و در فصول بارندگی، اثرات مستقیم و غیرمستقیم زیادی بر جای می‌گذارد. از جمله تاثیرات مستقیم آن، از جا کنده شدن بسترهای قدیمی که توسط آبریان به‌منظور ادامه حیات ساخته شده، می‌باشد و مدت زمان زیادی طول می‌کشد که شرایط آن برای رشد و نمو موجودات زنده مساعد شود. هم‌چنین نتایج حاصل از پژوهشی

4. **Leskens, J.G., Brugnach, M., Hoekstra, A.Y. and Schuurmans, W., 2014.** Why are decision flood disaster management so poorly supported by information from flood models? *Environmental Modeling & Software*. 53: 53-61.
5. **Kolawole, O.M., Olayami, A.B. and Ajayi, K.T., 2011.** Managing Flood in Nigerian Cities: Risk Analysis and Adaptation Options-Ilorin City as a Case Study. *Scholars Research Library*. 3(1): 17-24.
6. **Tingsanchali, T., 2012.** Urban flood disaster management. *Procedia Engineering*. 32: 25-37.
7. **Isma'il, M. and Saanyol, I.O., 2013.** Application of remote sensing (RS) and geographic information systems (GIS) in flood vulnerability mapping: case study of River Kaduna. *International Journal of Geomatics and Geosciences*. 3(3): 618-627.
8. **Ronald Clement, A., 2013.** An application of Geographic Information System in mapping flood risk zones in a north central city in Nigeria. *African Journal of Environmental Science and Technology*. 6: 365-371.
9. **Qin, Q.M., Tang, H.M. and Chen, H.K., 2011.** Zoning of highway flood-triggering environment for highway in Fuling District, Chongqing. In: 2011 International Conference on Photonics, 3D Imaging, and Visualization. *International Society for Optics and Photonics*. 820530-820538.
10. **Yen, A.W., Ping, A.Z., Yu, Z., Biao, M. and Kun, Y., 2015.** Integrated flood risk assessment and zonation method: a case study in Huaihe River basin, China. *Natural Hazards*. 1: 635-651.
11. **Lawal, D.U., Matori, A.N., Yusuf, K.W., Hashim, A.M. and Balogun, A.L., 2014.** Analysis of the flood extent extraction model and natural flood influencing factors: A GIS-based and remote sensing analysis. 8th International symposium of the Digital Earth (ISDE8). *Earth and Environment Science* 18.
12. **Meyer, V., Scheuer, S. and Haase, D., 2009.** A multicriteria approach for flood risk mapping exemplified at the Mulde river, Germany. *Natural Hazards*. 48(1): 17-39.
13. **Qi, S., Brown, D.G., Tian, Q., Jiang, L., Zhao, T. and Bergen, K.M., 2009.** Inundation extent and flood frequency mapping using LANDSAT imagery and digital elevation models. *GIScience & Remote Sensing*. 46(1): 101-127.
14. **Laarhoven, V.P. and Pedrycz, W., 1983.** A fuzzy extension of Saaty's priority theory. *Fuzzy sets and Systems*. 11(1): 199-227.
15. **Lee, A.H., Chen, W.C. and Chang, C.J., 2008.** A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan. *Expert systems with applications*. 34(1): 96-107.

شبکه زهکشی افزایش یافته و از میانه حوضه به سمت شمال آن تراکم شبکه زهکشی کاهش می‌یابد. در طبقات مربوط به شکل زمین، بیش‌تر از نیمی از حوضه را اراضی مرتفع کوهستانی تشکیل می‌دهند که نسبت به اراضی دشتی سهم بیش‌تری در پتانسیل سیل خیزی دارند. در طبقات مربوط به زمین‌شناسی، نیمه پایینی حوضه که از سازندهایی با نفوذپذیری کم‌تر تشکیل شده است، با افزایش مقدار رواناب پتانسیل سیل خیزی را افزایش می‌دهند. در طبقات مربوط به تراکم پوشش گیاهی، اراضی شمالی به دلیل شکل‌گیری شهرها و اراضی جنوبی به دلیل واقع شدن در ارتفاعات سهم کم‌تری در جذب سیلاب و نفوذ آن در خاک دارند. در طبقات مربوط به فاصله از آبراهه بیش‌ترین خطر در فاصله ۰ تا ۵۰ متری از خطوط آبراهه هاست، به این دلیل که در مواقع ریزش‌های رگباری تند، این فواصل کم‌ترین فاصله را از بستر اصلی داشته و لذا خطر آب گرفتگی و سیل در این نواحی به نسبت فاصله‌های دورتر بسیار بیش‌تر می‌باشد. در طبقات مربوط به مدل رقومی ارتفاع نواحی جنوبی حوضه که دارای ارتفاع بیش‌تر از ۱۰۰۰ متر هستند، با شیب بیش‌تر و دریافت بارش بیش‌تر نقش مهمی در شکل‌گیری سیلاب دارند. در طبقات مربوط به کاربری اراضی، بیش‌ترین سهم در سیل خیزی مربوط به اراضی شهری بوده و به‌طور کل با حرکت از جنوب حوضه به طرف شمال حوضه، به دلیل افزایش دخالت‌های انسان، سیل خیزی افزایش می‌یابد. پس از تعیین سهم هر یک از فاکتورها در پتانسیل سیل خیزی به‌طور جداگانه، به هر یک از آن‌ها با توجه به نوع روابطشان با پدیده سیل خیزی و بر اساس توابع تعیین شده مقدار عضویتی نسبت داده شده و وارد مدل گردیدند. در نهایت با توجه به نقشه‌نهایی به‌دست آمده (گامای ۰/۹)، نواحی جنوب‌غربی حوضه بیش‌ترین پتانسیل سیل خیزی را داشته‌اند. با توجه به مطالب گفته شده در رابطه با اثرات سیل بر جانوران آبی و زیستگاه‌شان، مسلم است که نواحی جنوب‌غربی حوضه، در صورت بروز سیل، بیش‌ترین اثرات را به‌جا خواهند گذاشت.

## منابع

1. **Green, C., Diepernk, G., EK, K., Hegger, D., Petterson, M., Priest, S. and Tapsell, S., 2014.** Flood risk management in Europe: the flood problem and interventions. *Star flood*. 1-250.
2. **Ghayor, H., 1992.** Forecasting floods in wet areas. *Geographical Researches*. 7(2): 87-105. (In Persian)
3. **Ghaffari, G., Solaiani, K. and Mosaedi, A., 2007.** Flood Hazard Zoning and Damage Assessment Using HEC GeoRAS (Case Study: Babolrood River). *Journal of the Iranian Natural Researches*. 60(2): 439-451. (In Persian)

16. **Chang, C.T., 2008.** Revised multi-choice goal programming. *Applied mathematical modelling*. 32(12): 2587-2595.
17. **Nasrinnejad, N., Rangzan, K., Kalantari, N. and Saberi, A., 2015.** Flood hazard potential zonation of Baghan watershed using fuzzy analytic hierarchy process method (FAHP). *RS & GIS for Natural Resources*. 5(4): 15-34. (In Persian)
18. **Asghari Moghadam, M.R., 1999.** Natural Geography of the City 2 (Hydrology and Flooding of the City). First Edition, Masai Publications, Tehran. (In Persian)
19. **Alizadeh, A., 2011.** Principles of applied hydrology. 33rd edition, Ferdowsi University of Mashhad. 990 p. (In Persian)
20. **Mehdizadeh, J., 2013.** climate risk analysis in Tabriz city using fuzzy logic and ANP model. master's thesis in geography, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil. 152 p. (In Persian)
21. **Dalal ughli, A., Fathi, M. and Khoshdel, K., 2017.** Application of new multi-criteria decision making methods for the estimation of flooding potential with emphasis on geomorphic factors (Case Study: Ajarlu Basin). *Journal of Geographic Space*. 17(59): 67-82. (In Persian)
22. **Parhizgar, A. and Ghaffari, A., 2006.** Geographic Information System and Multi-Criteria Decision Analysis. Malchfsky, Y., first edition, Samt Publications. 597 p. (In Persian)
23. **Norouzi, N., Ghorbani, R., Sadoddin, A., Molae, M. and Naimee, A., 2015.** Monitoring of Zyarat Stream by macro invertebrate fauna Golestan Province. *Journal of Animal Environment*. 7(2): 141-148. (In Persian)
24. **Mostafavi, S.M., Rahmani, M., Kaboli, M. and Abdoli, A., 2020.** The effect of different environmental factors on habitat selection by *Salmo trutta* in Karaj River. *Journal of Animal Environment*. 12(3): 251-258. (In Persian)