



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.2021.72600.1109>

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شماره چهل و دوم، تابستان ۱۴۰۱، صص ۳۹-۲۳

مقاله پژوهشی

### تعیین مناطق مستعد سیل خیزی با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در منطقه باقران بیرجند

جواد چزگی<sup>۱</sup> - استادیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

فرشید جهانبخشی - دانش‌آموخته علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۶/۳۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۹/۲۸ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۰/۱

#### چکیده

سیل در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل بارش‌های رگباری و کمبود پوشش گیاهی بیش‌تر اتفاق می‌افتد و باعث خسارت جانی و مالی زیادی در کل جهان می‌شود؛ بنابراین تعیین مناطق مولد سیل و مناطق پرخطر می‌تواند کمک زیادی در مدیریت و کنترل سیل داشته باشد. این تحقیق برای تعیین مناطق مستعد سیل خیزی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در منطقه باقران شهرستان بیرجند استان خراسان جنوبی انجام گرفت. ابتدا ۱۰ پارامتر مؤثر در سیل خیزی بر اساس نظرات کارشناسان انتخاب و با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و بهترین-بدترین (BWM) اهمیت نسبی آن‌ها به دست آمد. نتایج نشان داد پارامترهای شاخص رطوبت توپوگرافی و فاصله از آبراهه کم‌ترین امتیاز را در هر دو روش AHP و BWM داشته‌اند؛ به طوری که پارامتر بارش با اهمیت نسبی ۰,۲۶۵ و ۰,۱۳۷ در روش‌های AHP و BWM بیش‌ترین امتیاز را داشته است و بیش‌ترین تأثیر را در پهنه‌بندی دارد. نتایج پهنه‌بندی به پنج کلاس خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم شد که در هر دو روش کلاس زیاد بیش‌ترین مساحت و کلاس خیلی کم کم‌ترین مساحت داشته است. کلاس زیاد در روش BWM نزدیک به ۴۸ درصد منطقه را شامل می‌شود که می‌تواند برای مناطق مسکونی شهر بیرجند در پایین‌دست خسارات جبران‌ناپذیری را به وجود آورد.

کلیدواژه‌ها: سیل خیزی، AHP، BWM و منطقه باقران.

Email: [chezgi@birjand.ac.ir](mailto:chezgi@birjand.ac.ir)

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۳۵۸۵۴۹۷۸۲

نحوه ارجاع به این مقاله:

چزگی، جواد؛ جهانبخشی، فرشید؛ ۱۴۰۱. تعیین مناطق مستعد سیل خیزی با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند

معیاره در منطقه باقران بیرجند. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*. ۱۱(۲). صص ۳۹-۲۳

<https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.72600.1109>

## ۱-مقدمه

هرگاه شدت بارندگی از ظرفیت نفوذ آب به داخل خاک بیش تر باشد بخشی از آب حاصله از بارندگی در سطح حوضه باقی می ماند، این آب پس از پر کردن گودی های سطح زمین در امتداد شیب جریان پیدا کرده و از طریق شبکه آبراهه ها و سپس رودخانه اصلی از حوضه خارج می گردد (علیزاده، ۱۳۸۶). به جریان یا بالآمدن نسبتاً زیاد آب در یک رودخانه به میزانی که از مواقع معمولی به طور وضوح بیشتر باشد سیل نامیده می شود (فرهنگ فنی آبیاری و زهکشی، ۱۳۷۶). سیل یکی از پدیده های طبیعی است که هر سال خسارات فراوانی در نقاط مختلف جهان به بار می آورد (پاپائانو<sup>۱</sup> و همکاران ۲۰۱۵). بررسی های انجام شده در سال های اخیر حاکی از وقوع سیلاب های مخرب در اکثر مناطق کشور است. پژوهشی که درباره میزان خسارات و زیان های حاصل از رخداد سیل ۲۹ فروردین ۱۳۹۵ در نوده خاندوز، واقع در حوضه رودخانه گرگانرود انجام گرفته است، مشخص شده که خسارات مستقیم و ملموس ۹۲/۴ درصد از کل خسارات و زیان ها را شامل می شدند که بیشتر مربوط به بخش های تأسیسات (حدود ۶۰۰۰ میلیون ریال) و کشاورزی (حدود ۵۹۵۰ میلیون ریال) بود (میرزایی و سعدالدین، ۲۰۱۹). خسارات در سیل فروردین ۱۳۹۸ در مجموع ۱۷۹۵۳ واحد مسکونی، ۱۲۷ روستا دچار آبگرفتگی و جابجایی موقت ۲۷۴ روستا در معرض خطر در حاشیه رودخانه ها و خرابی زیرساخت های شهری و راه های ارتباطی و غیره که حدود ۱۸۰۰۰ میلیارد ریال برآورد شد (سازمان مدیریت بحران، ۱۳۹۸). بر اساس اطلاعات موجود طی سال های ۱۳۳۰ تا ۱۳۷۰ نزدیک به ۱۲۴ میلیارد تومان خسارت سیل های مهم کشور بوده است که ۵۵ درصد آن مربوط به سال های ۱۳۶۰ تا ۱۳۷۰ است (مهدوی، ۱۳۷۸). برای مقابله با سیلاب اقدامات مختلفی انجام می گیرد که بعضی از این اعمال، مقابله با خود سیل مثل ایجاد سد و احداث دیوار در حاشیه رودخانه ها است و دسته ای دیگر از این اقدامات مربوط به مدیریت در حوضه های آبخیز است که شناسایی و پیش بینی عوامل مؤثر در ایجاد و تشدید سیلاب را در بر می گیرد (اربابی و همکاران، ۱۳۸۷). با توجه به اینکه برای جلوگیری از بروز این گونه پدیده های زیانبار در حال حاضر نمی توان در عوامل و عناصر جوی تغییری ایجاد نمود؛ بنابراین هرگونه راه حل اصولی و چاره ساز را باید در روی زمین و اختصاصاً در حوضه های آبخیز جستجو کرد. از این نظر مناطقی که پتانسیل بالایی در تولید سیل دارند باید به طریقی شناسایی شوند. مسلماً برای انجام این کار نیاز به شناسایی مناطق سیل خیز در داخل حوضه است، زیرا به دلیل وسعت زیاد و گستردگی حوضه های آبخیز انجام عملیات اجرایی و اصلاحی به صورت اصولی امکان پذیر نخواهد بود (اربابی و همکاران، ۱۳۸۷). اندازه و تکرار رویداد سیلاب در هر منطقه بستگی به عوامل متعددی دارد (نیری و همکاران، ۱۳۹۵). ویژگی های فیزیکی حوضه آبخیز، ویژگی ها و اقدامات ناشی از فعالیت های بشری، از جمله این عوامل است که شناخت و دسته بندی آن ها در هر منطقه ای از اصول اولیه مهار سیلاب و خطرات آن است (رضوی، ۱۳۸۷). ایجاد

رواناب در سطح زمین مشکلاتی مانند فرسایش خاک، وقوع سیلاب، کاهش حاصلخیزی خاک و پوشش گیاهی و حتی کاهش منابع آب زیرزمینی را دربرخواهد داشت. با اطلاع از سطوحی از یک حوضه آبخیز که پتانسیل تولید رواناب و سیل خیزی بالاتری دارند می‌توان تدابیری برای کاهش رواناب در نظر گرفت (درخشان، ۱۳۸۹). پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی روشی است که با در نظر گرفتن ویژگی‌ها فیزیکی حوضه‌ها و همچنین میزان تولید رواناب در هر بخش، حوضه را بر اساس توان سیل خیزی پهنه‌بندی می‌کند. با توجه به عدم وجود ایستگاه‌های هیدرومتری کافی در سطح زیر حوضه‌ها و کم بودن آمار و اطلاعات ثبت شده از سیل در حوضه‌های آبخیز کشور، عملاً نمی‌توان شدت سیل خیزی زیر حوضه‌ها را به‌تنهایی از داده‌های موجود استنتاج نمود؛ بنابراین استفاده از روش‌هایی است که کمتر به داده‌های هیدرومتری و کمی نیاز دارند. روش‌های مختلفی برای تعیین میزان رواناب و پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی وجود دارد، که اکثر این روش‌ها بر پایه روش‌های نموداری و استفاده از فرمول‌های تجربی، تحلیل آماری داده‌های سیلاب، تفکیک حوضه به تعدادی زیر حوضه، داده‌های دورسنجی و GIS و تلفیق آن‌ها با مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است. یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره که در تبدیل معیارهای کیفی و کمی به کار می‌رود، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) است (ساتی، ۱۹۹۷). این فرایند یکی از کاربردی‌ترین مدل‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است، زیرا به کمک آن می‌توان درخت سلسله‌مراتبی (هدف، معیارها و گزینه‌ها)، نرمال‌سازی و تلفیق کلی نتایج را انجام داد (چزگی، ۲۰۱۹). سیل یکی از مهم‌ترین مخاطرات تهدیدکننده جامعه بشری محسوب می‌شود، که در دهه‌های اخیر با افزایش جمعیت و تغییر اقلیم اثرات این مخاطره بیشتر شده است؛ بنابراین مطالعه ویژگی‌های حوضه‌ها که میزان سیل خیزی با آن در ارتباط است می‌تواند به مدیریت صحیح این مخاطره کمک نماید. مطالعات زیادی با روش‌های تصمیم‌گیری برای تعیین مناطق مستعد سیل انجام شده است، که در ادامه ارائه شده است.

**محمدی و همکاران (۱۳۹۹)** با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های ایستگاه سیپویتیک، تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و روش تلفیق لایه‌ها (WLC) پتانسیل سیل خیزی حوضه آبریز قره‌سو را مدل‌سازی کردند. نقشه نهایی خطر سیل خیزی بر پایه ترکیبی از عوامل و عناصر اقلیمی و فیزیکی یعنی ۱۱ عامل پوشش گیاهی، ارتفاع، مسیل سیلابی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، بارش، فاصله از رودخانه، شیب، خاک و تراکم زهکشی تهیه شد. نتایج حاصل از پهنه‌بندی ریسک سیل خیزی نشان داد که طبقه ۴ به‌عنوان رده‌ای با خطر زیاد با ۲۱/۷ درصد و طبقه ۵ نیز با پتانسیل سیل خیزی خیلی زیاد با ۸/۴ درصد، بیشتر در مناطق کوهستانی شمال و مرکز منطقه واقع هستند، که در مجموع حدود ۳۱ درصد از محدوده حوضه آبریز را پهنه‌های سیل خیز خطرپذیر زیاد و خیلی زیاد در بر گرفته است.

1. Saaty
2. Chezgi

**خسروی و همکاران (۲۰۱۶)** در مطالعه‌ای برای تهیه نقشه‌های حساسیت به سیل با استفاده از چهار مدل، یعنی نسبت فراوانی (FR)، وزن اثبات (WofE)، فرایند تحلیلی سلسله مراتبی (AHP) و مجموعه نسبت فراوانی با- (FR-AHP)، و مقایسه آن‌ها در حوزه آبخیز هراز در استان مازندران استفاده کردند. ده عامل پهنه‌بندی سیل شامل زاویه شیب، انحنای پلان، ارتفاع، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص قدرت جریان، بارندگی، فاصله از رودخانه، زمین‌شناسی، استفاده از زمین و شاخص پوشش گیاهی تهیه شد. نتایج نشان داد که مدل نسبت فرکانس بیشترین AUC را در مقایسه با سایر مدل‌ها دارد. به‌طورکلی، این چهار مدل در مناطق مستعد سیل دقت منطقی را نشان می‌دهند. نتایج این مطالعه می‌تواند برای مدیران، محققان و برنامه ریزان مفید باشد و مناطق مستعد برای طغیان را کاهش داده و خسارات را کاهش دهد.

**رحمتی و پورقاسمی (۲۰۱۷)** در پژوهشی به بررسی کاربردهای جدید تابع شواهد قطعی (EBF)، جنگل تصادفی (RF) و مدل‌های درختان رگرسیون تقویت شده (BRT) برای شناسایی مناطق مستعد سیل در منطقه گالیکش، ایران پرداختند. از پارامترهای ارتفاع، جهت شیب، زاویه شیب، شاخص رطوبت توپوگرافی، انحنای نقشه، زمین‌شناسی، استفاده از زمین، فاصله از رودخانه‌ها، تراکم زهکشی و بافت خاک استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل‌های EBF و BRT نسبت به RF عملکرد بهتری داشته است.

**دانو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۹)** با تلفیق فرایند تحلیل شبکه (ANP)، سنجش‌ازدور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به ارزیابی حساسیت سیل پرداختند. بر اساس نظر کارشناسان این مطالعه از یک رویکرد یکپارچه مدل ریاضی ANP برای محاسبه وزن نسبی عوامل مختلف تأثیرگذار در سیل استفاده شده است. یافته‌ها با استفاده از وقایع سیل واقعی در منطقه مورد مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای تأیید شد، که تأیید کرد بسیاری از مناطق سیل‌زده بر روی مناطق VHSF و HSF توزیع شده‌اند. این رویکرد یکپارچه ساختار مدل شبکه را امکان‌پذیر می‌کند و وابستگی متقابل بین عوامل تأثیرگذار در سیل را نشان می‌دهد. این شناسایی دقیق مناطق مستعد سیل می‌تواند به‌عنوان یک مکانیسم هشدار سریع عمل کند. این رویکرد را می‌توان در شهرهایی که با بروز سیلاب در شناسایی مناطق مستعد سیلاب برای کنترل مؤثرتر فاجعه سیل روبرو هستند، تکرار کرد.

**رادوان<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۹)** برای ارزیابی خطر سیل با روش سلسله مراتبی تحلیلی فضایی و تلفیق با روش سنجش‌ازدور (RS) و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) در شهر ریاض عربستان پرداخته است. چندین داده مبتنی بر سنجش‌ازدور در انجام این تحقیق استفاده شده است، از جمله یک مدل ارتفاعی دیجیتال با دقت ۳۰ متر، نقشه‌های زمینی و نقشه‌های زمین‌شناسی، سوابق تاریخی بارندگی روزانه و داده‌های مربوط به سیستم‌های تخلیه آب

1. Dano  
2. Radwan

باران است. نتایج نشان می‌دهد که شهر ریاض با میزان بارندگی سالانه (۵۳-۷۱ میلی‌متر از جنوب شرقی به شمال غربی)، در معرض سیل ویرانگر قرار گرفته است. گروه‌های خطر سیل برای یک دوره ۱۰۰ ساله به ترتیب با ۱۷، ۴۱، ۳۳ درصد، ۸ درصد و ۱ درصد مساحت کل بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم بوده‌اند. این کلاس‌ها مربوط به مناطق مسکونی و جاده‌های اصلی است که منجر به فاجعه سیل می‌شود. این سیل‌ها باعث خسارات اقتصادی - اجتماعی، فرسایش خاک، آسیب به زیرساخت‌ها، تخریب زمین، از بین رفتن پوشش گیاهی و غوطه‌ور شدن شهرها و همچنین از دست دادن جان افراد شده است.

**تلا و بالگان<sup>۱</sup> (۲۰۲۰)** در مطالعه‌ای از یک مدل تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی یکپارچه برای طبقه‌بندی حساسیت به سیل در منطقه ایبادان، نیجریه استفاده کردند. برای بهبود دقت وزنی معیارها، از تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) برای محاسبه وزن که در محیط GIS استفاده کرده است. ۱۰ عامل ایجاد کننده سیل با استفاده از مدل‌های AHP و FAHP بررسی شد. نتایج نشان داد بارندگی، رواناب و فاصله تا جریان به‌عنوان مهم‌ترین فاکتورهای ایجاد کننده سیل با وزن FAHP و AHP به ترتیب ۰.۲۲، ۰.۱۸، ۰.۱۶ و ۰.۲۳، ۰.۲۳، ۰.۱۸ است. نقشه‌های FAHP و AHP منطقه جنوب را به‌عنوان مستعدترین منطقه شناسایی کرده‌اند، همچنین FAHP حساسیت منطقه مرکزی را برجسته می‌کند.

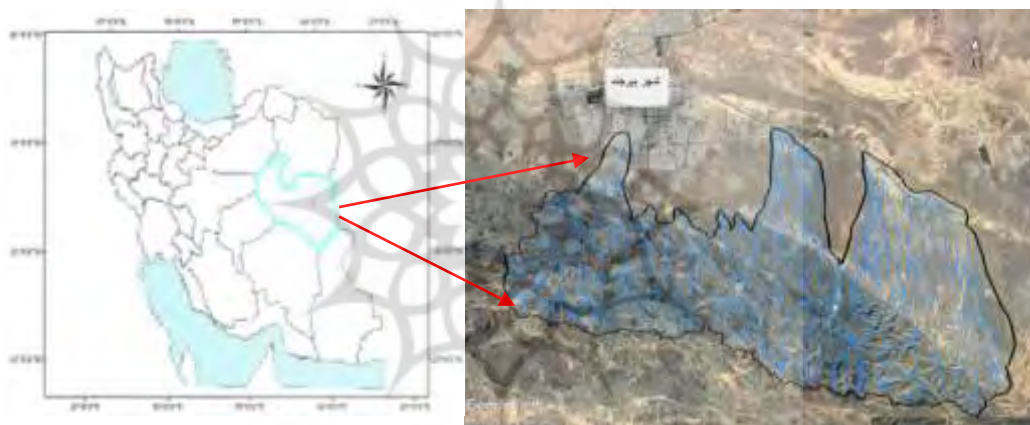
سیل و تأثیرات اقتصادی-اجتماعی آن‌ها با سرعت نگران‌کننده‌ای در سراسر جهان در حال افزایش است. از آنجاکه سیلاب‌ها بیشترین، چالش‌برانگیزترین و خسارت‌آورترین خطر طبیعی هستند، شناسایی مناطق مستعد سیل به استراتژی‌های جامع مدیریت سیلاب یک مسئله مهم است (مارکانتونیس<sup>۲</sup> و همکاران ۲۰۱۳، مارفی<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۵، پایانو و همکاران، ۲۰۱۵). پژوهش حاضر در نظر دارد مناطق مستعد سیل را با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی در منطقه باقران بیرجند پهنه‌بندی کند. در این تحقیق بر اساس نظرات کارشناسان و استفاده از روش‌های AHP و BWM مناطق مستعد مولد سیل تعیین می‌گردد. روش AHP یکی از اولین و پرکاربردترین روش‌های مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است و در عوض روش BWM از جدیدترین روش‌های چندمعیاره است که کم‌تر در بحث سیل خیزی بکار گرفته شده است که در تحقیق مورد استفاده قرار می‌گیرد.

1. Tella and Balogun
2. Markantonis
3. Marfai

## ۲- مواد و روش‌ها

## ۲-۱- منطقه مطالعاتی

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه منطقه کوه باقران با مساحت ۱۱۹۰۰ هکتار در  $5^{\circ} 58'$  تا  $11^{\circ} 59'$  طول جغرافیایی و  $32^{\circ} 43'$  تا  $32^{\circ} 51'$  عرض جغرافیایی و در جنوب غربی شهرستان بیرجند واقع شده است. متوسط بارندگی سالانه حوزه آبخیز باقران ۱۸۸ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالانه  $13/5$  درجه است. کاربری ۸۵ درصد از منطقه مرتع و ۱۳ درصد به کشاورزی (دیم و آبی) اختصاص دارد. از نظر گسترش و تنوع سنگ‌شناسی، واحدهای زمین‌شناسی متعلق به دوره کرتاسه فوقانی به‌طور وسیعی رخنمون یافته‌اند. بلندترین نقطه آن با ارتفاع ۲۷۰۶ متر ارتفاع از سطح دریا و پست‌ترین نقطه با ارتفاع ۱۴۸۰ متر در دشت بیرجند قرار گرفته است (گزارش توپوگرافی حوزه آبخیز باقران، ۱۳۹۰) (شکل ۱).

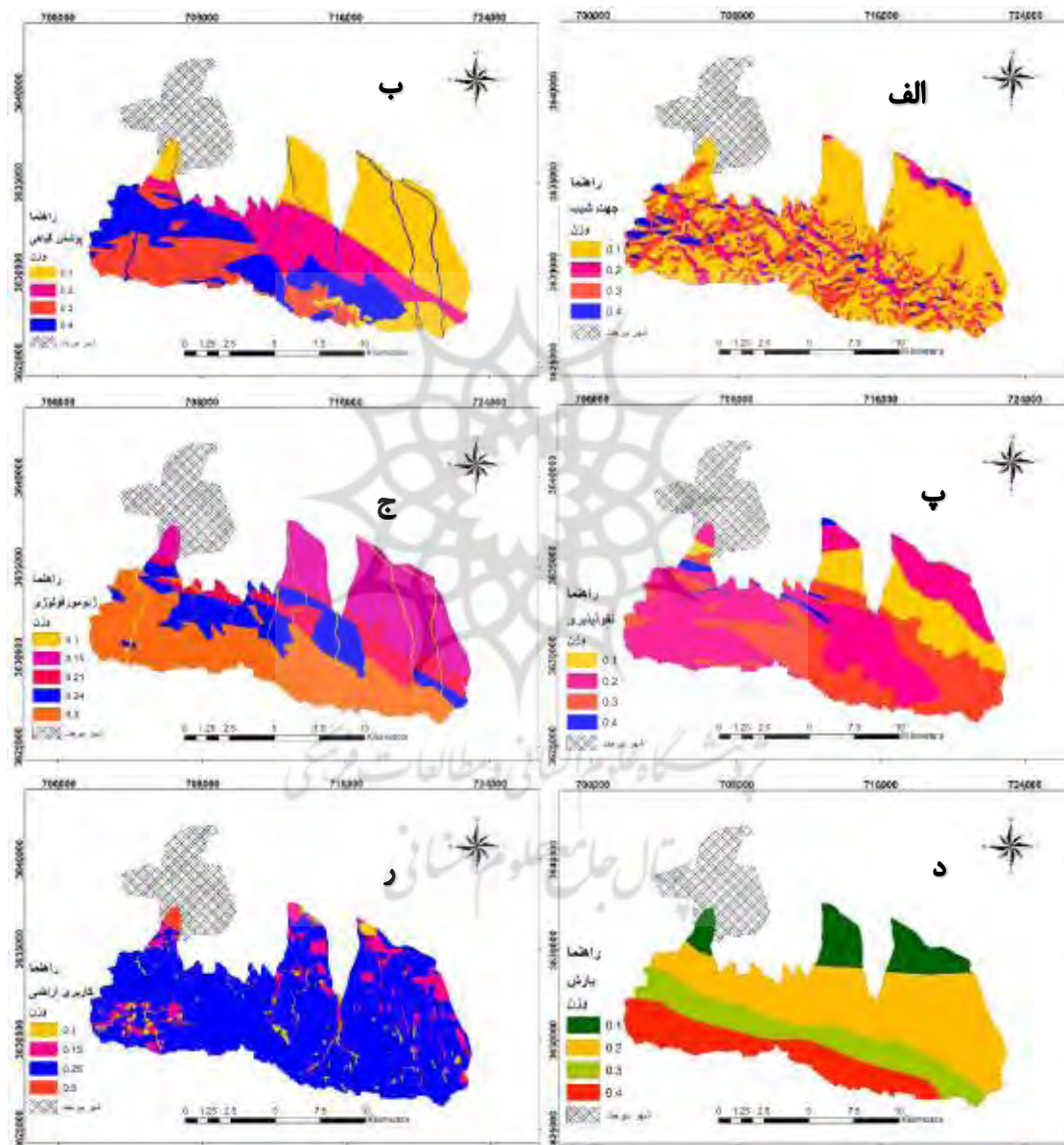


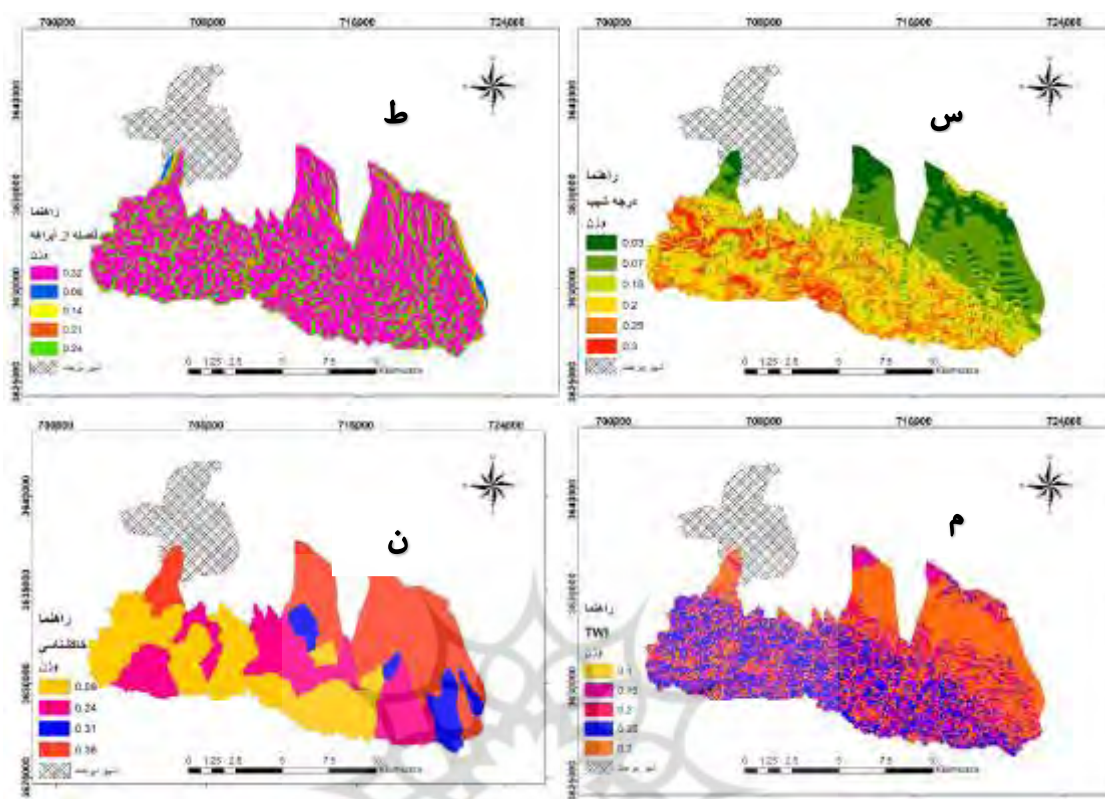
شکل ۱- منطقه مورد مطالعه حوزه آبخیز باقران بیرجند

## ۲-۲- روش کار

امروزه تصمیم‌گیری‌های چند معیاره مکانی و غیرمکانی در تمامی رشته‌ها متداول شده است (چزگی و همکاران ۱۳۹۶). بدین منظور برای تعیین مناطق پتانسیل سیل از دو روش تصمیم‌گیری تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و روش بهترین بدترین (BWM) در حوزه آبخیز باقران شهرستان بیرجند استان خراسان جنوبی استفاده شد. در این تحقیق ابتدا عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی منطقه (جهت شیب، پوشش گیاهی، نفوذپذیری، ژئومورفولوژی، بارش، کاربری اراضی، درجه شیب، فاصله از آبراهه، شاخص رطوبت توپوگرافی و خاکشناسی) بر اساس نظرات و مطالعات موردی در منطقه مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه داده‌های مورد نظر از سازمان‌های منابع طبیعی، هواشناسی (۳۰ ساله ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۸) و آب منطقه‌ای، برداشت‌های صحرایی و غیره تهیه گردید. در مرحله بعد پرسشنامه‌های طراحی شده

که شامل ۴۲ پرسشنامه برای تأثیر معیارها بر سیل خیزی برای متخصصان امر (اجرایی و دانشگاهی) ارسال گردید و پس از تکمیل پرسشنامه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice اهمیت نسبی معیارها به دست آمد. در ادامه بر اساس اهمیت نسبی معیارها نقشه‌ها تهیه شده و با هم تلفیق شدند (شکل ۲). در نهایت نقشه سیل خیزی منطقه بر اساس هر دو مدل ارائه شده به دست آمد. مراحل کلی تحقیق در شکل ۳ ارائه شده است.



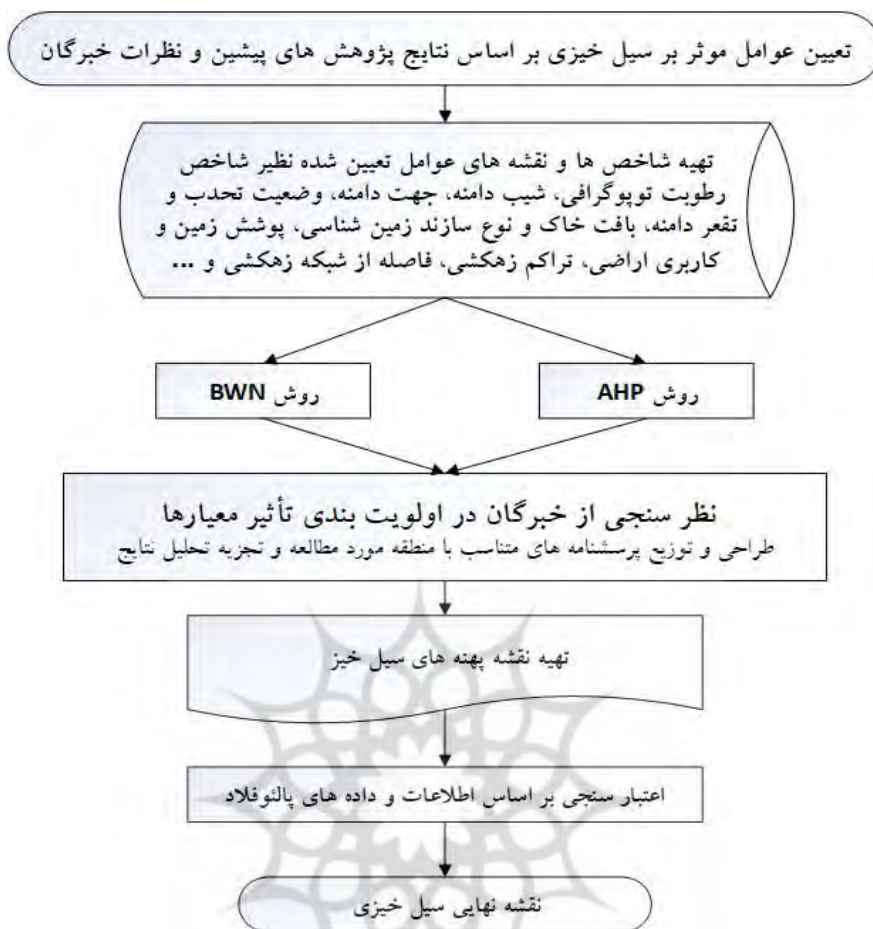


شکل ۲- نقشه‌های معیارهای مورد استفاده تعیین مناطق مستعد سیل خیزی (الف: جهت شیب، ب: پوشش گیاهی، پ: نفوذپذیری، ج: ژئومورفولوژی، د: بارش، ر: کاربری اراضی، س: درجه شیب، ط: فاصله از آبراهه، م: شاخص رطوبت توپوگرافی، ن: خاکشناسی)

### ۲-۲-۱- روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

این روش در زیرگروه هماهنگ از مدل‌های جبرانی قرار گرفته است. این روش بر اساس تحلیل فکری انسان برای مسائل پیچیده، پیشنهاد گردیده است (ساتی، ۱۹۸۰). این مدل، روشی مناسب و آسان برای تجزیه و تحلیل مسائل پیچیده است و اجازه می‌دهد که در فرآیندهای تصمیم‌گیری، تضادهای ذهنی تصمیم‌گیرنده در کنار ساختار معیارهای تأثیرگذار در نظر گرفته شوند. در واقع AHP کمک می‌کند تا ساختار یک سامانه و محیط آن به گونه‌ای که اثر متقابل اجزا را در خود دارد، درک شود؛ به عبارت دیگر AHP دو رویکرد مذکور را در یک چارچوب منطقی و ترکیبی ارائه می‌دهد (آذر و رجب پور، ۱۳۸۱).





شکل ۳- شماتیک مراحل روش کار

### ۲-۲-۲- روش بهترین-بدترین (BWM)

روش بهترین - بدترین یکی از روش‌های جدید تصمیم‌گیری چندمعیاره است که در سال ۲۰۱۵ توسط رضایی ارائه شده است (محقق و همکاران، ۱۳۹۶). بهترین و بدترین شاخص به وسیله تصمیم‌گیرنده مشخص شده و مقایسه زوجی بین هر یک از این دو شاخص (بهترین و بدترین) و دیگر شاخص‌ها انجام می‌شود. سپس یک مسئله حداکثر حداقل<sup>۱</sup> برای مشخص کردن وزن شاخص‌های مختلف فرموله و حل می‌گردد. همچنین در این روش یک فرمول برای محاسبه نرخ ناسازگاری جهت بررسی اعتبار مقایسات در نظر گرفته شده است (رضایی، ۲۰۱۶)؛ که مراحل انجام به صورت ذیل است: گام اول: تعیین مجموعه معیارهای پژوهش، در گام اول ابتدا باید مسئله مورد پژوهش مشخص شود و سپس عوامل تأثیرگذار بر روی هدف مسئله استخراج می‌شود؛ و در نهایت به تأیید خبرگان پژوهش برسد. گام

دوم: مقایسه بهترین معیار با دیگر معیارها (BO) و دیگر معیارها با بدترین معیار (OW)، در این گام ابتدا باید با اهمیت ترین و کم اهمیت ترین معیار از بین تمامی شاخص ها مشخص شود که به آن بهترین و بدترین گفته می شود سپس مقایسه زوجی بهترین معیار با دیگر معیارها و دیگر معیارها با بدترین معیار در قالب دو ماتریس تشکیل شود و توسط طیف ۱ تا ۹ ساعتی به آن مقایسات زوجی پاسخ داده شود. گام سوم: ایجاد مدل برنامه ریزی خطی، در این گام با استفاده از رابطه (۱) مدل بهینه سازی خطی روش BWM تعیین می شود (رضایی، ۲۰۱۶).

$$\min \xi^l$$

رابطه ۱

S.t.

$$|w_b - a_{bj} \cdot w_j| \leq \xi^l$$

$$|w_j - a_{jw} \cdot w_w| \leq \xi^l$$

$$\sum_j w_j = 1$$

$$w_j \geq 0, \text{ for all } j$$

$\xi^l =$  نرخ ناسازگاری

### ۳- نتایج

نظرات کارشناسان برای تعیین ارزش نسبی ۱۰ پارامتر استفاده شده در این پژوهش بر اساس مقایسات زوجی در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- مقایسه زوجی پارامترها بر اساس روش AHP

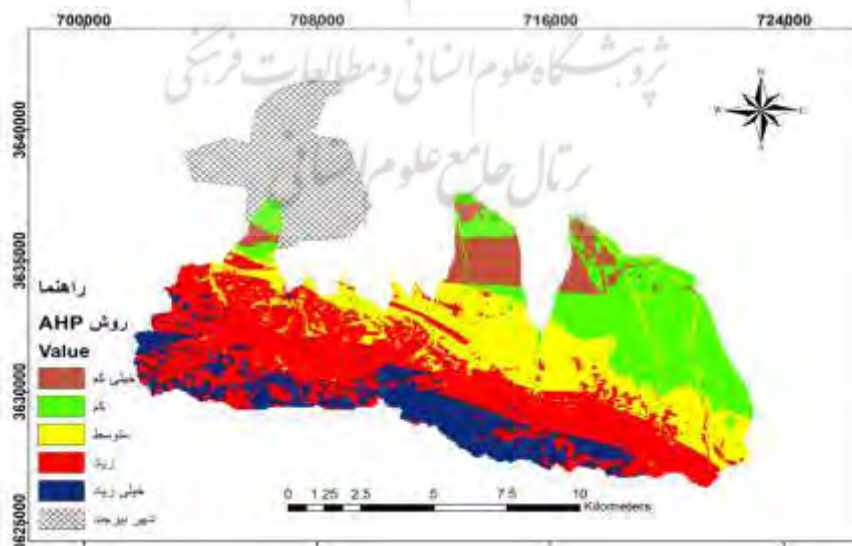
پارامتر	بارش	جهت	خاکشناسی	زمین شناسی	شیب	TWI	فاصله از آبراهه	نفوذپذیری	پوشش گیاهی	کاربری اراضی
بارش	۱	۷	۸	۵	۴	۶	۹	۳	۳	۴
جهت	۰/۱۴	۱	۳	۰/۲۵	۰/۲	۳	۲	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۴
خاکشناسی	۰/۱۲	۰/۳۳	۱	۲	۰/۱۲	۵	۵	۰/۲	۰/۱۴	۰/۱۲
زمین شناسی	۰/۲	۴	۰/۵	۱	۰/۱۴	۴	۳	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۱۶
شیب	۰/۲۵	۵	۸	۷	۱	۳	۷	۰/۵	۰/۳۳	۰/۳۳
TWI	۰/۱۶	۰/۳۳	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۱	۰/۵	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۴
فاصله از آبراهه	۰/۱۱	۰/۵	۰/۲	۰/۳۳	۰/۱۴	۰/۲	۱	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۲
نفوذپذیری	۰/۳۳	۶	۷	۸	۲	۷	۹	۱	۳	۳
پوشش گیاهی	۰/۳۳	۶	۷	۹	۳	۶	۸	۰/۳۳	۱	۰/۵
کاربری اراضی	۰/۲۵	۷	۸	۶	۳	۷	۸	۰/۳۳	۲	۱

ارزش نسبی پارامتر بارش (سالانه) در هر دو روش AHP و BWM به ترتیب با امتیاز ۰,۲۶۵ و ۰,۱۷۳ بیشترین امتیاز را داشته است، به طوری که کمترین امتیاز معیارهای شاخص رطوبت توپوگرافی و فاصله از آبراهه با ۰,۰۲۲ در روش AHP و فاصله از آبراهه با امتیاز ۰,۰۱۹ در روش BWM داشته‌اند (جدول ۲).

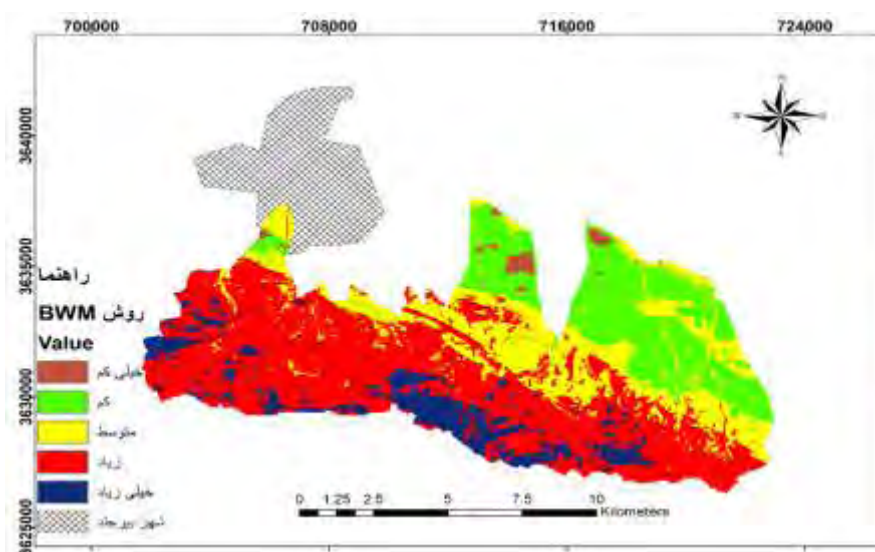
جدول ۲- ارزش نسبی پارامترها در روش AHP و BWM

روش پارامتر	W(AHP)	W(BWM)
TWI	۰/۰۲۲	۰/۰۳۸
بارش	۰/۲۶۵	۰/۱۷۳
جهت	۰/۰۴۰	۰/۰۵۸
خاکشناسی	۰/۰۴۳	۰/۰۷۷
زمین شناسی	۰/۰۵۱	۰/۰۹۶
شیب	۰/۱۳۷	۰/۱۳۵
فاصله از آبراهه	۰/۰۲۲	۰/۰۱۹
نفوذپذیری	۰/۱۹۵	۰/۱۵۴
پوشش گیاهی	۰/۱۰۸	۰/۱۱۵
کاربری اراضی	۰/۱۱۷	۰/۱۳۵

پس از تلفیق نقشه پارامترها بر اساس اهمیت نسبی، نقشه مناطق مستعد سیل خیزی در منطقه مورد مطالعه بر اساس هر دو روش AHP و BWM تهیه گردید (شکل‌های ۴ و ۵).



شکل ۴- پهنه‌بندی مناطق مستعد سیل خیزی با استفاده از روش AHP



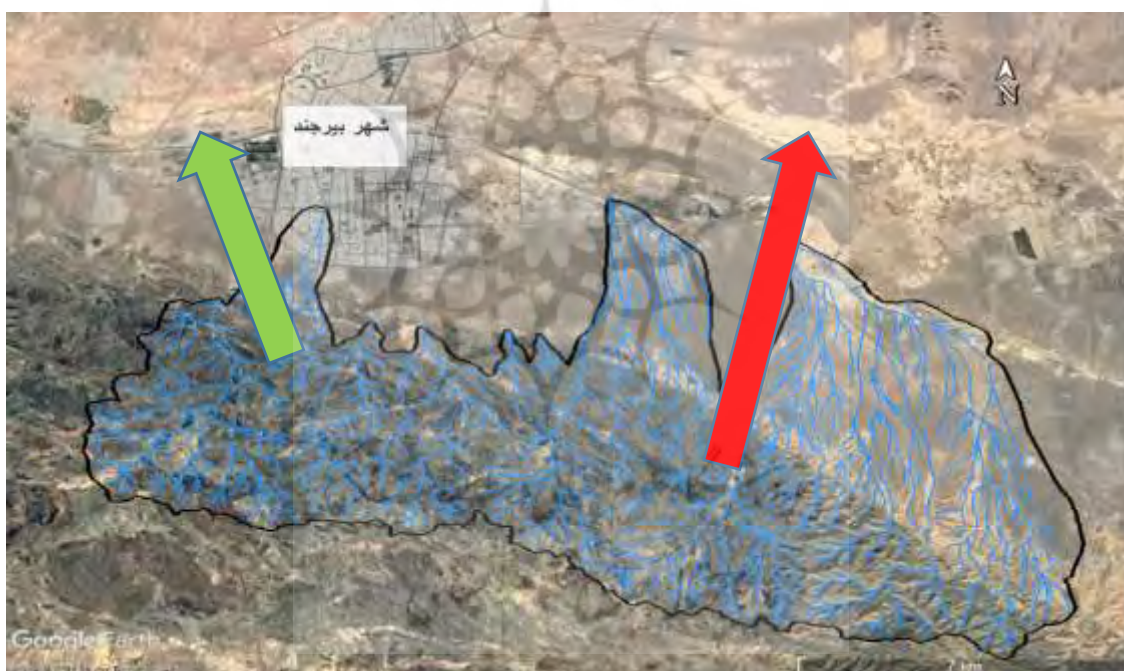
شکل ۵- پهنه‌بندی مناطق مستعد سیل خیزی با استفاده از روش BWM

نتایج پهنه‌بندی سیل خیزی نشان داد که کلاس زیاد با ارزش نسبی ۰/۲۲ تا ۰/۲۶ بیشترین مساحت را در هر دو روش دارد، کلاس خیلی کم کمترین مساحت را دارد (جدول ۳).

جدول ۳- مساحت هر کلاس (طبقه) سیل خیزی در روش‌های AHP و BWM

مساحت (h) روش AHP	مساحت (h) روش BWM	طبقه‌بندی سیل خیزی
۸۴۶	۱۵۰	خیلی کم
۲۶۴۵	۲۷۲۸	کم
۲۹۲۲	۲۷۸۱	متوسط
۴۸۷۹	۶۱۹۲	زیاد
۱۸۵۸	۱۳۰۱	خیلی زیاد

نتایج طبقه‌بندی نقشه‌های نهایی مناطق مستعد سیل خیزی در روش AHP نشان داد که کلاس‌های حداکثر و حداقل مساحت بیشتری نسبت به روش BWM دارد، و مساحت در کلاس زیاد روش BWM از روش AHP بیشتر است. ۶۳ درصد از منطقه مورد مطالعه در روش BWM و ۵۷ درصد در روش AHP در طبقه زیاد و خیلی زیاد قرار دارند که نشان می‌دهد منطقه پتانسیل بالایی در سیل خیزی دارد که هر دو روش نتایج خوبی ارائه دادند، که با بازدید صحرایی تأیید شد. به طوری که با بارش ۱۹ میلی‌متری در ۹ اردیبهشت ۱۴۰۰ سیلابی شدید در منطقه مورد مطالعه اتفاق افتاد (شکل ۶).



شکل ۶- سیل ۹ اردیبهشت ۱۴۰۰ در منطقه مورد مطالعه

#### ۴- بحث

همان‌طور که نتایج در جدول ۲ ارائه شد در روش AHP معیار باران با اهمیت نسبی  $0/256$  بیشترین تأثیر را از نظر کارشناسان در سیل خیزی منطقه مورد مطالعه داشته است، همچنین معیار باران در روش BWM نیز با کسب امتیاز  $0/173$  بیشترین تأثیر را از بین ۱۰ معیار در سیل خیزی منطقه داشته است، که با نتایج عشقی‌زاده و طالبی  $1393$  و

قنواتی و همکاران ۱۳۹۳ که معیار شماره منحنی و باران (رواناب) بیشترین اهمیت نسبی را داشته است همخوانی دارد، و با نتایج رضایی مقدم و همکاران همخوانی ندارد چون بیشترین امتیاز به خصوصیات شبکه زهکشی با امتیاز ۵۷ ارائه شده است. همچنین کمترین تأثیر را از نظر کارشناسان در هر دو روش در سیل خیزی معیارهای فاصله از آبراهه و شاخص رطوبت توپوگرافی با اهمیت نسبی ۰/۰۲۲ را به دست آوردند که با نتایج عشقی زاده و طالبی ۱۳۹۳ مطابقت ندارد چون کمترین امتیاز به جهت شیب داده شده است و همچنین قنواتی و همکاران ۱۳۹۳ کمترین امتیاز به گروه هیدرولوژیک خاک داده شد. نتایج جدول (۳) نشان داد که در BWM نزدیک به ۴۸ درصد حوزه در طبقه زیاد قرار دارند، ولی در روش AHP ۳۷ درصد منطقه در این طبقه قرار دارند که نشان می‌دهد هر دو مدل تصمیم‌گیری در طبقات خیلی زیاد و خیلی زیاد بیشترین درصد را دارند که با نتایج محمدی و همکاران ۱۳۹۹ که طبقه زیاد و خیلی زیاد با ۳۱ درصد بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده است، همخوانی دارد. افزایش اهمیت نسبی معیار کاربری اراضی در روش BWM با امتیاز ۰/۱۳۵ نسبت به امتیاز ۰/۱۱۷ در روش AHP که باعث افزایش سیل خیزی منطقه به دو برابر شد؛ بنابراین افزایش تغییرات کاربری در منطقه مورد نظر بسیار حساس است؛ چون منطقه کوهستانی و در پایاب حوزه مورد نظر شهر بیرجند قرار دارد که می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری به منطقه و شهر وارد کند؛ بنابراین ضروری است اقدامات حفاظتی از قبیل طرح‌های آبخیزداری و احداث سیل بند در مناطقی که از حساسیت بالایی برخوردارند به منظور جلوگیری از وقوع سیل یا کاهش خسارت‌های احتمالی در صورت وقوع سیل صورت بگیرد (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۹).

## ۵- جمع‌بندی

برای مدیریت سیلاب باید عوامل تولید و ایجاد سیل شناسایی شده و سپس مناطق دارای پتانسیل زیاد در تولید سیل تعیین شود. تعیین پتانسیل سیل خیزی زیرحوزه‌های آبخیز از جمله مطالعات پایه و اساسی است که می‌تواند گامی مهم در زمینه بسترسازی برای کاهش بلایای طبیعی باشد. مشخصات فیزیکی یک حوزه آبخیز از عوامل تعیین‌کننده رخ داد این حادثه بوده و اغلب مسائل هواشناسی، هیدرولوژی و حفاظت آب‌و خاک با آن در ارتباط مستقیم و غیرمستقیم است. در واقع یکی از مهم‌ترین ابزارها در آنالیز هیدرولوژیکی، بررسی پارامترهای مورفومتریکی حوزه است، که ارزیابی رفتار سیستم‌های هیدرولوژیکی حوزه را امکان‌پذیر می‌کند (آنجیلیری، ۲۰۰۸). تلفیق مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و سامانه اطلاعات جغرافیایی یکی از روش‌های نوین در تعیین مخاطرات طبیعی است که در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در رشته‌های مختلف انجام گرفته است. در این پژوهش جهت بررسی پتانسیل سیل خیزی از ۱۰ معیار مؤثر در سیل خیزی و مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره AHP و BWM در محیط

سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده گردید. نتایج هر دو مدل نشان داد که بیشتر منطقه در طبقه زیاد قرار دارد. بازدیدهای صحرائی در مواقع سیلاب و برداشت نمونه‌های سیلاب (شکل ۶) نشان داد که منطقه مستعد سیل‌خیزی است و نیاز به مدیریت و کنترل سیلاب و حتی اجرای پروژه‌های آبخیزداری چون قسمتی از حوضه آبخیز در بالادست شهر بیرجند در منطقه قرار گرفته و مسیل‌ها از داخل شهر عبور می‌کنند و می‌توانند خسارات جبران‌ناپذیری را حادث شوند.

### تقدیر و تشکر

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی به شماره ابلاغیه ۲۱۶۸۶/د/۱۳۹۹ مورخه ۱۳۹۹/۱۲/۲۰ و با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه بیرجند انجام شده است که بدین‌وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

### کتابنامه

اربابی، آزاده؛ پناهی، نورالدین؛ محمد نژاد، وحید؛ ۱۳۸۷. بررسی پتانسیل سیل‌خیزی با روش (SCS) و سیستم اطلاعات (GIS) جغرافیایی (مطالعه موردی: قلعه چای). مجله دانشنامه. دوره ۲. شماره ۱. بهار. ص ۳-۱۶.

[https://daneshnameh.srbiau.ac.ir/article\\_4097.html](https://daneshnameh.srbiau.ac.ir/article_4097.html)

آذر، عادل؛ رجب پور، علی؛ ۱۳۸۱. تصمیم‌گیری کاربردی، انتشارات نگاه دانش. ۱۵۸ ص.

<https://markaketab.com/product/>

چزگی، جواد؛ سهیلی، اسماعیل؛ نیازی، یعقوب؛ جهانبخشی، فرشید؛ ۱۳۹۶. مکان‌یابی و اولویت‌بندی مناطق مناسب برای احداث سدهای اصلاحی توری سنگی با استفاده مدل ANP (منطقه مورد مطالعه حوزه آبخیز سد طرق). نشریه ترویج و توسعه آبخیزداری. سال پنجم. دوره ۴.

<https://wmji.ir/fa/Default>

درخشان، شهرام؛ ۱۳۸۹. مطالعه پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز کسلیان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. جلد ۱۳، شماره ۱. ص ۵۱-۶۳.

<http://jgs.khu.ac.ir/article-۵۸۱-۱-fa.html>

رضایی مقدم، محمدحسین؛ حجازی، سید اسدالله؛ ولی زاده، خلیل؛ رحیم‌پور، توحید؛ ۱۳۹۹. بررسی حساسیت سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز با استفاده از شاخص‌های هیدروژئومورفیک (مطالعه موردی: حوضه آبریز الندچای، شمال غرب ایران). مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال نهم، شماره ۲، ۱۹۵-۲۱۴ ص.

[10.22034/gmpj.2020.118241](https://doi.org/10.22034/gmpj.2020.118241)

رضوی، احمد؛ ۱۳۸۷. اصول تعیین حریم منابع آب، چاپ اول. انتشارات دانشگاه صنعت آب و برق تهران. ۳۳۴ ص.

<https://www.gisoom.com/book/1594251>

سازمان مدیریت بحران کشور؛ ۱۳۹۸. گزارش میزان بارش‌ها، تشریح حادثه استان خوزستان، اقدامات دستگاه‌ها و نهادهای ذی‌ربط، علل، نقاط قوت و پیشنهادهای سیلاب فروردین ۹۸. در پاسخ به درخواست هیئت ویژه گزارش ملی سیلاب‌ها.

<https://news.moe.gov.ir/getmedia/90838496-0902-4021-8e1e>

عشقی‌زاده، مسعود؛ طالبی، علی؛ ۱۳۹۳. بررسی کارایی فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در برآورد توان سیل خیزی (مطالعه موردی: حوزه زوجی کاخک شهرستان گناباد). مجله پژوهش و سازندگی، پژوهش‌های آبخیزداری. شماره

۱۰۳. ۱۳ ص. 10.22092/wmej.2014.106248

علیزاده، امین؛ ۱۳۸۶. اصول هیدرولوژی کاربردی، مشهد، انتشارات آستان قدس رضوی. ص ۲۷۷.

<https://www.gisoom.com/book/1141600>

فرهنگ فنی آبیاری و زهکشی؛ ۱۳۷۶. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. وزارت نیرو. ۱۸۳۴ ص.

<http://irncid.org/276-IRAN-IRPID>

قنوتی، عزت‌الله؛ صفاری، امیر؛ بهشتی جاوید، ابراهیم؛ منصوریان، اسماعیل؛ ۱۳۹۳. پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی با استفاده از تلفیق مدل هیدرولوژیکی CN و AHP در محیط GIS مطالعه موردی: حوضه رودخانه بالخلو. فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال هفتم، شماره ۵. ۱۴ ص.

[https://jopg.larestan.iau.ir/article\\_513086.html](https://jopg.larestan.iau.ir/article_513086.html)

محقق، علی. حسینی دهشیری، جلال‌الدین. عرب، علیرضا؛ ۱۳۹۶. بررسی و ارزیابی ریسک‌های پروژه بر پایه روش بهترین - بدترین. مجله پژوهش‌های مدیریت منابع سازمانی. دوره ۷. شماره ۲. ۱۷ ص.

<https://ormr.modares.ac.ir/article-28-10018-fa.html>

محمدی، غلامرضا؛ برنا، رضا؛ اسدیان، فریده؛ ۱۳۹۹. تحلیل پتانسیل سیل خیزی حوضه آبریز قره‌سو در استان کرمانشاه. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱-۲۳ ص. 10.22067/geoeh.2021.66986.0

مهدوی، محمد؛ ۱۳۷۸. مدیریت سیل. وزارت کشور، دفتر مطالعات و هماهنگی امور ایمنی و بازسازی، برنامه عمران ملل متحد، دانشکده محیط‌زیست، ۱۳۷۸.

<https://shaghoor.ir/Files/164-n.pdf>

نیری، هادی. سالاری، ممند. میرزا مرادی، اسرین؛ ۱۳۹۵. پتانسیل سیل خیزی حوضه‌های آبریز استان کردستان با به‌کارگیری شاخص‌های مورفومتری و تحلیل‌های آماری. مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. دوره ۵. شماره (۱۷)۱. ص ۱۸۱-۱۹۰.

<https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=323105>

Angillieri, M.Y.E., 2008. Morphometric analysis of Colangüil river basin and flash flood hazard, San Juan, Argentina. Environmental geology, v. 55(1), p. 107-111. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00254-007-0969-2>

Chezi, J. 2019. Application of SWAT and MCDM Models for Identifying and Ranking Suitable Sites for Subsurface Dams. In Spatial Modeling in GIS and R for Earth and Environmental



- Sciences (pp. 189-211). Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/book/9780128152263/spatial-modeling-in-gis-and-r-for-earth-and-environmental-sciences>
- Dano, U L. Balogun, A L. Matori, A-N. Yusouf. K W, Abubakar, I R. Mohamed, MA. S. Aina, Y A. Pradhan, B. 2019. Flood Susceptibility Mapping Using GIS-Based Analytic Network Process: A Case Study of Perlis, Malaysia. *Water*. 11. 615. <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/3/615>
- 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://link.springer.com/article/10.1007/s11069-016-2357-2>
- Marfai MA, Sekaranom AB, Ward P. 2015. Community responses and adaptation strategies toward flood hazard in Jakarta, Indonesia. *Nat Hazards* 75:1127–1144. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-014-1365-3>
- Markantonis V, Meyer V, Lienhoop N. 2013. Evaluation of the environmental impacts of extreme floods in the Evros river basin using contingent valuation method. *Nat Hazards* 69:1535–1549. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-013-0762-3>
- Mirzaei, S., & Sadoddin, A. 2019. Comprehensive flood financial losses assessment framework (direct, indirect, tangible and intangible): Flood incident on 17 April 2016, Nodeh Khandouz, the Gorganrood River Basin, Iran. *Disaster Prevention and Management Knowledge (quarterly)*, 9(4), 383- 392. <http://dpmk.ir/article-1-304-en.html>
- Papaoannou G, Vasiliades L, Loukas A. 2015. Multi-criteria analysis framework for potential flood prone areas mapping. *Water Resour Manag* 29(2):399–418. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-014-0817-6>
- Radwan, F., Alazba, A.A. & Mossad, A. 2019. Flood risk assessment and mapping using AHP in arid and semiarid regions. *Acta Geophys*. 67, 215–229. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11600-018-0233-z>
- Rahmati O, Pourghasemi. HR. 2017. Identification of Critical Flood Prone Areas in Data-Scarce and Ungauged Regions: A Comparison of Three Data Mining Models. *Water Resour Manage* (2017) 31:1473–1487. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-017-1589-6>
- Rezaei, J. 2016. Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model. *Omega journal*. 64. 126-130. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.12.001>
- Saaty T., 1980. *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw Hill. New York. <http://www.sciepub.com/reference/155073>
- Tella, A., Balogun, AL. 2020. Ensemble fuzzy MCDM for spatial assessment of flood susceptibility in Ibadan, Nigeria. *Nat Hazards* 104, 2277–2306. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-020-04272-6>