

## پهنه‌بندی خطر وقوع سیل بر اساس تصمیم‌گیری چند معیاره و مدل شبکه عصبی، مطالعه موردی: حوزه آبخیز خداآفرین

علی خدائی<sup>۱\*</sup> و رحمان زندی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد، علوم و مهندسی محیط‌زیست، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری و  
<sup>۲</sup> دانشیار، گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه حکیم سبزواری، مامور به خدمت در دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۰

### چکیده

وقوع سیلاب‌های متعدد در مناطق مختلف کشور، همواره خسارات فراوانی را در زمینه‌های مختلف به همراه داشته است. از این رو، تهیه و تدوین یک طرح جامع و کامل در زمینه کنترل سیلاب امری ضروری به نظر می‌رسد. منطقه مورد مطالعه، تحت تاثیر اقلیم مدیترانه‌ای و در شعاع اثر اقلیم‌های خزری و قفقازی قرار دارد و به دلیل وجود اختلاف ارتفاع زیاد، از آب و هوا و اقلیم‌های متنوعی برخوردار است. در نتیجه تغییرپذیری بالای بارش، از جمله مناطقی است که در معرض سیلاب‌های مخرب قرار دارد. هدف از تحقیق حاضر، شناسایی و پهنه‌بندی خطر وقوع سیل بر اساس تصمیم‌گیری چند معیاره و مدل شبکه عصبی در حوزه آبخیز شهرستان خداآفرین است. برای این منظور، با توجه به عوامل موثر در وقوع سیل، لایه‌های اطلاعاتی منطقه شامل شماره منحنی (CN)، ضریب گراویلیوس، ارتفاع رواناب، بارش، فاصله از آبراهه، نگهداشت خاک، آبراهه‌ها، شیب، تراکم زهکشی، زمین‌شناسی و پوشش گیاهی موجود با توجه به بررسی نقشه‌ها، گزارش‌ها، تصاویر ماهواره‌ای و بررسی‌های میدانی تهیه شد. به منظور وزن‌دهی معیارها در تحقیق حاضر، از روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) و نرم‌افزار Super Decisions استفاده شد که عامل ارتفاع رواناب با میزان ۰/۲۴۱، شیب با مقدار ۰/۲۰۷ و بارش با وزن ۰/۱۶۹، در رابطه با رخداد سیلاب، از بیشترین میزان اهمیت برخوردار است. در نهایت، با تلفیق این لایه‌ها با توجه به وزن آن‌ها در محیط ArcGIS، نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیل در پنج کلاس استخراج شد. همچنین، نتایج نشان داد که ۴۳ کیلومتر مربع (سه درصد مساحت) در طبقه خیلی زیاد، و ۲۸۸ کیلومتر مربع (۱۸ درصد مساحت) در طبقه زیاد، از نظر وقوع سیلاب قرار دارد. به طوری که بیش از ۲۱ درصد از مساحت منطقه، جز مناطق با پتانسیل سیل‌خیزی از نوع زیاد و خیلی زیاد است. بنابراین، لزوم مدیریت آب‌های سطحی در منطقه، به منظور جلوگیری از وقوع سیل و همچنین، بهره‌برداری مناسب از آب‌های منطقه ضروری به نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع رواناب، تراکم زهکشی، سیستم اطلاعاتی جغرافیایی، گراویلیوس، مدل ANP

### مقدمه

اندازه و تکرار سیل ناشی از عوامل متعددی است که بسته به شرایط اقلیمی، طبیعی و جغرافیایی هر منطقه تغییر می‌کند. به همین دلیل، رابطه بین

سیل پدیده‌ای طبیعی است که جوامع بشری آن را به عنوان واقعه‌ای اجتناب‌ناپذیر پذیرفته‌اند. اما، رویداد،

سوی دیگر، سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS<sup>۳</sup>) توانایی زیادی جهت تولید نقشه‌های پهنه‌بندی سیل و نمایش دیداری آن‌ها در اختیار کاربران قرار می‌دهد (Valizadeh, ۲۰۰۷). بنابراین، هدف نهایی از به‌کارگیری این ابزار، فراهم کردن پشتیبانی برای تصمیم‌گیری‌های مکانی است.

پژوهش‌های مختلفی در جهان و ایران، در ارتباط با بررسی پهنه سیلاب صورت گرفته که به چند مورد آن اشاره می‌شود. Dano و همکاران (۲۰۱۹)، با استفاده از مدل ANP و تکنیک GIS به تهیه نقشه حساسیت سیل‌خیزی در منطقه پرلیس واقع در مالزی پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد، ۳۸ درصد مناطق، حساسیت خیلی زیادی نسبت به خطر سیل دارند. همچنین، آن‌ها ANP را به‌عنوان مدلی مناسب در ترکیب با تکنیک GIS برای تهیه نقشه خطر سیل بیان کردند. Sowmya و همکاران (۲۰۱۵)، در مطالعه‌ای آسیب‌پذیری سیل در شهر ساحلی جنوب غربی هند را از طریق استفاده از ارزیابی چندمعیاره در محیط GIS با بهره‌گیری از تصاویر سنجنش از دور پهنه‌بندی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در میان مناطق آسیب‌پذیر، مناطق با آسیب‌پذیری بسیار بالا و آسیب‌پذیری بالا، جمعاً ۸/۶ درصد از مساحت کل شهر را در بر می‌گیرد. Morelli و همکاران (۲۰۱۲)، پتانسیل سیل‌خیزی رودخانه آرنو در ایتالیا را، از طریق پیمایش الگوی رود در مناطق مختلف با استفاده از GPS<sup>۴</sup> و GIS بررسی کردند و نتیجه به‌دست آمده نشان داد که مناطق با توسعه بیشتر شهری، در معرض خطر سیل‌خیزی بیشتری قرار می‌گیرند.

Kheirizadeh و همکاران (۲۰۱۳)، در پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب در حوزه آبخیز مردق‌چای با استفاده از مدل ANP به این نتیجه رسیدند که عامل شیب با وزن ۰/۳۰ و ارتفاع رواناب سطح حوضه با میزان ۰/۲۸ در رابطه با رخداد سیلاب، بیشترین میزان اهمیت و عوامل پوشش گیاهی و سنگ‌شناسی، به‌ترتیب با مقدار ۰/۰۶ و ۰/۰۷ کمترین میزان اهمیت را دارند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد، ترکیب GIS و روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند

بارندگی و رواناب به‌طور محسوس از حوضه‌ای به حوضه دیگر متفاوت است (Omidvar و همکاران، ۲۰۱۰). وقوع سیل و خسارات ناشی از آن در ایران، طی سال‌های اخیر روند افزایشی داشته است، حال آن‌که به آن توجه زیادی نشده است. طبق مطالعاتی که روی سیلاب‌ها و خسارات ناشی از سیل در ایران بین چهار دهه از سال ۱۳۳۰ تا ۱۴۰۰ صورت گرفته است، در طی ۷۰ سال، ۲۱۳۴ سیل مخرب و ویرانگر در کشور رخ داده و تعداد رخداد این سیلاب‌ها از سال ۱۳۳۰ تا سال ۱۴۰۰ بیشتر شده است. برخی از علل آن، تغییر کاربری و کاهش نفوذ در اثر افزایش جمعیت و به دنبال آن، افزایش اقدامات توسعه و عمران است (Omidvar, ۲۰۱۱). اولین قدم در مطالعات اقتصادی طرح‌های مدیریت سیلاب و یا مهار سیلاب، داشتن نقشه‌های پهنه‌بندی سیل است، زیرا با توجه به پهنه سیل در دوره‌های بازگشت مختلف و برآورد خسارت در هر پهنه‌بندی، میزان سرمایه‌گذاری جهت جلوگیری از خسارت در حالت بهینه محاسبه خواهد شد (Valizadeh, ۲۰۰۷). هدف از پهنه‌بندی خطر سیل، دستیابی به سطح خطر آن، در مقیاس مکانی بر اساس ویژگی‌های طبیعی یا اجتماعی که می‌توان به‌ترتیب توسط عوامل خطر و آسیب‌پذیری اندازه‌گیری شوند (Milanesi و همکاران، ۲۰۱۵).

یکی از روش‌های پرکاربرد در تصمیم‌گیری‌های چند معیاره، فرایند تحلیل شبکه‌های ANP<sup>۱</sup> است. این روش، گسترش‌یافته شبکه AHP<sup>۲</sup> است (Momeni و Sharifi Salim, ۲۰۱۱). به‌طور کلی، ANP از ترکیب چهار گام اصلی به‌وجود می‌آید: ۱- پایه‌ریزی مدل و ساختار مسئله؛ ۲- ماتریس مقایسه‌های زوجی و بردارهای تقدم؛ ۳- تشکیل سوپر ماتریس و ۴- انتخاب بهترین گزینه (Najafi, ۲۰۱۰). با رشد و توسعه فناوری‌های نوین، روش‌های موجود تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیل و محیط ارائه و نمایش این نقشه‌ها نیازمند استفاده از ابزار کارتری است. از یکسو، مدل‌های ریاضی جدید پیشرفته، امکانات زیادی جهت تحلیل دقیق‌تر جریان سیلاب، در اختیار می‌گذارد و از

<sup>۳</sup> Geographic information system

<sup>۴</sup> Global Positioning System

<sup>۱</sup> Analytical Network Process

<sup>۲</sup> Analytical Hierarchy Process

رابطه با خطر وقوع سیلاب، عامل شیب با مقدار  $۰/۲۸$ ، با توجه به کنترل زیادی که بر میزان و چگونگی تخلیه رواناب از سطح حوضه دارند، از بیشترین میزان اهمیت و تاثیر برخوردار است، برعکس عامل فاصله از رودخانه با وزن  $۰/۱۰$ ، نسبت به دیگر عوامل دارای اهمیت کمتری است. Noor و همکاران (۲۰۲۱)، در پژوهشی اثربخشی طرح پخش سیلاب از دیدگاه ذی‌نفعان حاشیه طرح پخش سیلاب جاجرم را ارزیابی کردند و نتایج آن‌ها نشان داد، ارزیابی ساکنین مناطق اطراف از اجرای طرح پخش سیلاب جاجرم مثبت بوده است. همچنین، بیش‌ترین تاثیر طرح پخش سیلاب جاجرم از دیدگاه روستاییان، کاهش خسارت‌های سیل بر مزارع و باغ‌ها و منازل مسکونی است.

با توجه به خسارات مالی و جانی سیل، اهمیت پهنه‌بندی خطر سیل و ارزیابی خسارت آن جهت به‌کارگیری اقدامات پیشگیرانه امری ضروری است. از آنجایی که سیل، طی سال‌ها خسارت زیادی برای ساکنین در شهرستان خدا آفرین، به‌عنوان یکی از حوضه‌های پرخطر، به بار آورده است. بنابراین، هدف این پژوهش، شناسایی عرصه‌های مستعد سیلاب بر اساس تصمیم‌گیری چندمعیاره و مدل شبکه عصبی در شهرستان خدا آفرین است.

### مواد و روش‌ها

**مشخصات منطقه مورد مطالعه:** شهرستان خداآفرین یکی از شهرستان‌های استان آذربایجان شرقی است که با وسعت  $۱۵۲۵$  کیلومتر مربع،  $۳/۳$  درصد مساحت استان را شامل می‌شود و از سمت شمال با کشور جمهوری آذربایجان و ارمنستان، از سمت شرق با استان اردبیل، از سمت غرب با شهرستان جلفا و از سمت جنوب با شهرستان‌های کلیبر و ورزقان هم‌مرز است. این منطقه بین طول‌های جغرافیایی  $۴۶/۴۶$  تا  $۴۷/۵۰$  درجه شرقی و عرض‌های جغرافیایی  $۳۸/۷۳$  تا  $۳۹/۴۲$  درجه شمالی قرار گرفته است (شکل ۱).

### روش تحقیق

**فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP):** فرایند تحلیل شبکه‌ای، یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است که به‌وسیله Saaty (۱۹۸۰) توسعه یافته است.

ANP، نتایج بهتری را ارائه می‌دهد. Amir Ahmadi و همکاران (۲۰۱۳)، در پژوهشی به پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از ANP در حوضه اسلام آباد غرب پرداختند. در این پژوهش، از  $۱۲$  فاکتور برای تهیه نقشه خطر سیل استفاده شد. نتایج تحقیق یاد شده نشان داد،  $۴۶$  درصد از منطقه در پهنه بسیار زیاد از نظر خطر وقوع سیل قرار دارد. همچنین، نتایج نشان داد، مدل ANP قابلیت زیادی در وزن‌دهی فاکتورها و تهیه نقشه خطر وقوع سیل دارد.

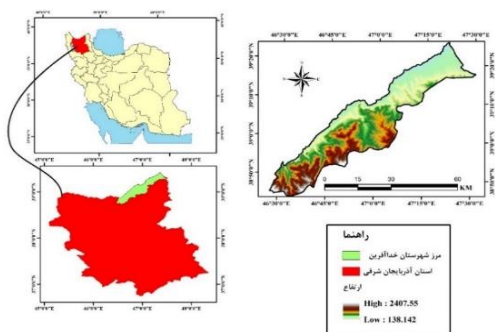
Abedini و Fathi (۲۰۱۵)، در مطالعه‌ای به پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب با استفاده از مدل ANP در حوزه آبخیز خیاوچای پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش یادشده نشان داد، شاخص استاندارد شده بارش ( $SPI^1$ ) با  $۰/۲۲۶$  و شاخص تحمل به تنش ( $STI^2$ ) با  $۰/۰۶۵$ ، نسبت به عوامل دیگر، اهمیت کمتری دارند. بیش از  $۱۵$  درصد حوضه تحت تاثیر وقوع سیلاب با پتانسیل بسیار زیاد قرار دارد که به‌طور عمده در پایین‌دست حوضه واقع شده‌اند. تحلیل وزن نهایی به‌دست آمده از مدل نشان داد، عامل شیب با مقدار  $۰/۹۹$  و عامل سنگ‌شناسی با مقدار  $۰/۸۲۲$  بیش‌ترین میزان اهمیت و تاثیر را دارند. Abedini و Beheshti Javid (۲۰۱۶)، در پژوهشی وضعیت سیل‌خیزی و سیل‌گیری حوزه آبخیز ليقوان‌چای را با استفاده از مدل ترکیبی فرایند تحلیل شبکه و منطق فازی ارزیابی کردند. بر اساس مدل ANP برای سیل‌خیزی، معیارهای شیب ( $۰/۱۸۷$ )، جنس سازند ( $۰/۱۲۵$ ) و برای سیل‌گیری نیز پارامترهای شیب ( $۰/۲۲۹$ )، انحنای پلان ( $۰/۲$ ) بیش‌ترین ضریب تاثیر را داشتند. همچنین، قسمت‌های جنوبی حوضه با قرارگیری در پهنه‌هایی با پتانسیل خیلی زیاد و زیاد، به‌عنوان سیل‌خیزترین بخش‌های حوضه معرفی شدند. نتایج تحقیق یادشده نشان داد، ترکیب مدل ANP با منطق فازی نتایج بهتری ارائه می‌دهد.

Hosseini Nezhad و همکاران (۲۰۱۷)، به بررسی پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب در حوزه آبخیز سلطانی با استفاده از مدل ANP پرداختند. نتیجه نهایی به‌دست آمده از مدل ANP، نشان می‌دهد که در

<sup>1</sup> Standardized Precipitation Index

<sup>2</sup> Stress Tolerance Index

تا نه و معکوس آن‌ها استفاده می‌شود (جدول ۱). به‌طور مثال، عدد  $a_{ij}$  نشان‌دهنده ارجحیت مؤلفه سطر  $i$  به مؤلفه ستون  $j$  است ( $a_{ij} = W_i/W_j$ ). عدد یک به این معناست که دو مؤلفه اهمیت برابر دارند و عدد معکوس ( $1/a_{ij}$ )، نشان‌دهنده اهمیت زیاد مؤلفه ستون  $j$  نسبت به مؤلفه سطر  $i$  است.



شکل ۱- موقعیت شهرستان خداآفرین در ایران و استان آذربایجان شرقی

جدول ۱- مقادیر ترجیحات و قضاوت کارشناسی برای مقایسه زوجی

مقدار عددی	ترجیحات (قضاوت شفاهی)
۹	کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر (Extremely preferred)
۷	اهمیت خیلی زیاد (Very strongly preferred)
۵	اهمیت یا مطلوبیت زیاد (Strongly preferred)
۳	کمی مطلوب‌تر یا کمی مهم‌تر (Moderately preferred)
۱	اهمیت یا مطلوبیت یکسان (Equally preferred)
۲-۴-۶-۸	اولویت بین فواصل

در رابطه یادشده،  $CR$  نسبت پایداری یا میزان سازگاری و  $RI$  بیانگر شاخص تصادفی است که به تعداد عناصر مقایسه‌شده بستگی دارد. مقایسه دو به دو، زمانی قابل قبول و دارای پایداری خواهد بود که نسبت پایداری کمتر از  $0/1$  به‌دست آید (Neaupane و Piantanakulchai، ۲۰۰۶).

گام سوم، تشکیل سوپر ماتریس است. یک سوپر ماتریس، روابط موجود در ساختار شبکه‌ای و نیز وزن‌های نسبی محاسبه‌شده در مرحله دوم را ارائه می‌دهد. در واقع، از اجتماع کلیه بردارهای اولویت محاسبه‌شده، برای تک‌تک ماتریس‌های مقایسه زوجی در یک ماتریس، سوپر ماتریس (رابطه ۴) به‌دست می‌آید (Abastante و Lami، ۲۰۱۴).

در این مدل، معیارها به‌عنوان عناصر، داخل دسته‌هایی به نام خوشه قرار می‌گیرند. این مدل، شبکه‌ای از ارتباطات بین عناصر خوشه‌های مختلف (وابستگی خارجی) و نیز ارتباطات بین عناصر داخل یک خوشه (ارتباطات داخلی) است. در حقیقت، مدل ANP روابط متقابل بین مؤلفه‌ها را نیز نشان می‌دهد (Saaty و Vargas، ۲۰۰۶). فرایند تحلیل شبکه‌ای را می‌توان در چهار مرحله اجرا کرد. گام نخست، تعیین مسئله تصمیم‌گیری و ارائه آن در یک مدل شبکه‌ای است. در این مرحله، پس از تعیین مسئله تصمیم‌گیری و عوامل موثر بر آن، باید یک مدل شبکه‌ای تشکیل شود. این مدل، شامل مسئله تصمیم‌گیری، خوشه‌ها، عناصر و وابستگی‌های داخلی و خارجی بین آن‌ها است. برای تهیه این ساختار شبکه‌ای، روش‌های مختلفی مانند توفان فکری، دلفی، گروه اسمی و یا روش‌های ریاضی مانند DEMATEL وجود دارد. در این شبکه وابستگی‌های خارجی، به‌صورت پیکان و وابستگی‌های داخلی به‌صورت کمان نشان داده می‌شود (Zebardast، ۲۰۱۰).

گام دوم، تشکیل ماتریس‌های مقایسه زوجی و استخراج بردارهای اولویت است. در این مرحله، عناصر تصمیم‌گیری در هر یک از خوشه‌ها، بر اساس میزان اهمیت در ارتباط با معیارهای کنترلی دو به دو مقایسه می‌شوند. همانند مدل AHP، برای بیان ارجحیت در ماتریس‌های مقایسه زوجی از اعداد یک

پس از نوشتن ارجحیت‌ها در ماتریس‌های مقایسه زوجی، بردار اهمیت داخلی که بیانگر اهمیت نسبی عناصر یا خوشه‌هاست به‌دست می‌آید (رابطه ۱).

$$AW = \lambda_{max} \quad (1)$$

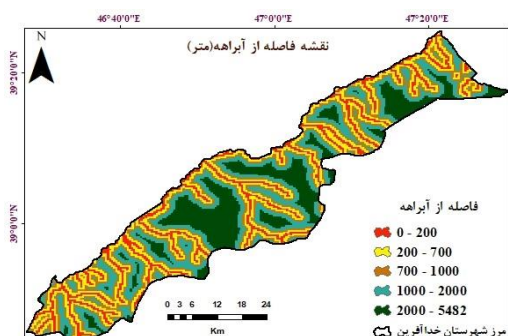
که در آن،  $a$  ماتریس مقایسه دودویی معیارها،  $w$  بردار ویژه (ضریب اهمیت) و  $\lambda_{max}$  بزرگ‌ترین مقدار ویژه عددی است. تعیین صحت ماتریس‌های مقایسه زوجی، با محاسبه نسبت سازگاری (CR) انجام می‌گیرد (روابط ۲ و ۳).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

که در آن،  $CI$  شاخص سازگاری و  $n$  تعداد مؤلفه‌ها مقایسه شده در ماتریس است.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

بالاتری را در مدل ANP به خود اختصاص می‌دهند و با افزایش میزان فاصله، درجه عضویت مناطق کاهش یافته است.



شکل ۲- نقشه فاصله از آبراهه حوضه

**تراکم زهکشی و آبراهه‌ها:** میزان تراکم زهکشی، شاخص مهمی در تعیین شدت سیلاب‌ها، میزان بار رسوبی، بیلان آب در کل حوضه و به‌طورکلی، در چگونگی فعالیت فرایندهای رواناب‌های سطحی است (Zahedi و همکاران، ۲۰۰۷). برای دخالت دادن نقش تراکم زهکشی زیرحوضه‌ها در خطر وقوع سیلاب، تراکم زهکشی برای هر یک از ۲۳ زیرحوضه آبراهه‌ها (شکل ۱) محاسبه شد. حوضه مورد مطالعه بر اساس مقادیر تراکم زهکشی زیرحوضه‌ها، به پنج طبقه تقسیم شد که زیرحوضه‌ها از نظر تراکم زهکشی، دامنه عددی ۰/۲ الی ۱/۰۲۱ به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۳ و شکل ۳). هرچه تراکم زهکشی بیشتر باشد، تخلیه رواناب در سطح آن به‌سادگی انجام خواهد شد. در نتیجه، زمان تمرکز کاهش یافته و میزان خطر وقوع سیل افزایش می‌یابد. در این پژوهش، برای رده‌بندی رودخانه از روش استرالر استفاده شد. در این روش، شاخه‌های منفرد که مستقیماً به رودخانه اصلی یا به یکی از انشعابات آبراهه می‌ریزند، در رتبه اول قرار می‌گیرند. از به هم پیوستن دو شاخه درجه یک، یک شاخه درجه دو به‌وجود می‌آید و با اتصال حداقل دو شاخه درجه دو، یک شاخه درجه سه (شکل ۴) و به همین ترتیب، رتبه‌های بعدی پدید می‌آید (Dornkamp و همکاران، ۱۹۹۱). بنابراین، با توجه به هدف پژوهش، در مدل ANP، زیرحوضه‌هایی که تراکم زهکشی بالاتر از ۰/۴

$$\lim_{K \rightarrow \infty} W^K \quad (۴)$$

گام چهارم، محاسبه وزن نهایی معیارها است. این گام، آخرین مرحله در مدل ANP است که در آن با تشکیل سوپر ماتریس حد بردار، وزن نهایی معیارها و غیرمعیارها به‌دست می‌آید (Abastante و Lami، ۲۰۱۴).

### نتایج و بحث

در پژوهش حاضر، به بررسی ۱۱ شاخص از عوامل موثر در وقوع سیل با توجه به استفاده از تجربیات کارشناسان و پژوهشگران در پیشینه تحقیق پرداخته شده است که شامل شیب، شماره منحنی (CN)، ضریب فشردگی (ضریب گراویلوس)، نگهداشت سطحی خاک، بارش، ارتفاع رواناب سطحی، تراکم زهکشی، لیتولوژی، تراکم پوشش گیاهی، فاصله از آبراهه، رتبه‌بندی آبراهه که در ادامه به تاثیر این عوامل بر وقوع سیل و چگونگی تهیه نقشه هر یک از این عوامل پرداخته شده است.

### عوامل موثر بر وقوع یا تشدید خطر سیل

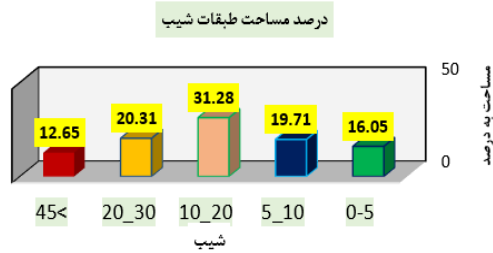
**فاصله از آبراهه:** به‌طورکلی، مناطقی که در فاصله بیشتری از شبکه آبراهه واقع شده‌اند، نسبت به مناطقی که به آن نزدیک‌ترند، احتمال کمتری وجود دارد که دچار سیل شوند، زیرا مناطق نزدیک‌تر در مسیر جریان رواناب سطحی قرار دارند (Mahmoud و Gan، ۲۰۱۸). با توجه به جدول ۲، ۳۶ درصد از مساحت حوضه مورد مطالعه از آبراهه‌های اصلی تا فاصله ۷۰۰ متر قرار دارند.

جدول ۲- طبقه‌بندی فاصله از آبراهه‌ها و درصد مساحت از حوضه در رابطه با خطر وقوع سیلاب

فاصله از آبراهه (متر)	درصد مساحت از حوضه	خطر وقوع سیلاب در رابطه با فاصله از آبراهه
۰-۲۰۰	۱۴	بسیار زیاد
۲۰۰-۷۰۰	۲۴	زیاد
۷۰۰-۱۰۰۰	۱۵	متوسط
۱۰۰۰-۲۰۰۰	۲۶	کم
۲۰۰۰-۵۴۸۲	۲۱	خیلی کم

بر اساس شکل ۲، مناطقی از روستا یا حومه که در نزدیکی یا مجاورت این آبراهه‌ها قرار دارند، ظرفیت بیشتری برای خطر سیلاب دارند و درجه عضویت

استفاده از تصاویر DEM منطقه و بهره‌گیری از نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد (شکل ۵).



شکل ۵- مساحت هر یک از طبقه‌های شیب حوضه

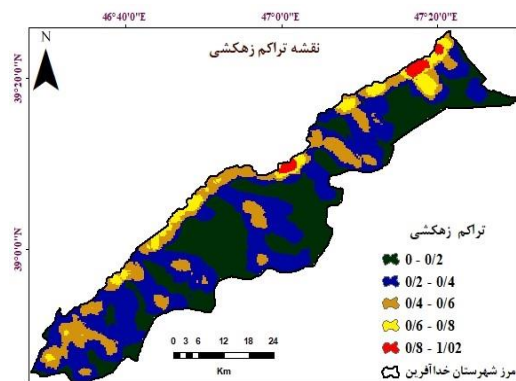
نمودار ۱، درصد مساحت هر یک از طبقه‌های شیب را نشان می‌دهد که با توجه به آن، طبقه با شیب ۱۰-۲۰ درصد با مساحت ۳۱/۲۸ درصد، بیشترین فراوانی را در سطح حوضه دارد. در رابطه با سیل‌خیزی، عامل شیب با توجه به کنترلی که بر روی بسیاری از فرایندهای هیدرولوژیکی و در نتیجه واکنش حوزه‌های آبخیز نسبت به انواع بارش‌ها دارد، دارای اولویت و ارزش بالاتری است. به‌طوری‌که در مدل ANP از وزن بالاتری برخوردار است. همچنین، نوع سنگ و پوشش خاک، ظرفیت نفوذ را تحت تاثیر قرار می‌دهد. خاک یا سنگ قابل نفوذ، شرایط نفوذ آب به داخل زمین را فراهم می‌کند و تخلیه آن را به داخل آبراهه اصلی به تاخیر می‌اندازد، از این‌رو، رواناب سطحی کاهش می‌یابد. حوضه‌های با سنگ بستر یا خاک به نسبت نفوذناپذیر، حجم زیادی رواناب سطحی ایجاد می‌کنند (Garde, ۲۰۰۶).

بر اساس شکل ۶، سازندهای حوضه مورد مطالعه از لایه‌های سازند متفاوتی تشکیل شده است. بنابراین، با توجه به نفوذپذیری از متغیر سنگ‌شناسی نیز به‌عنوان یک عامل موثر در سیل‌خیزی حوضه استفاده شده است. در کل، سازندهای حوضه مورد مطالعه از نفوذپذیری کمی برخوردار هستند که این امر در رابطه با سیل‌خیزی حوضه، از اهمیت فراوانی برخوردار است. به این دلیل که میزان نفوذ کم، و در مقابل آبدوی بالا مورد انتظار است. سازندهایی از ماسه‌سنگ، کنگلومرا، سنگ گرانیت و سنگ‌های آذرین بیرونی، به‌طور وسیع در این مناطق وجود دارند، از آنجایی‌که ماسه‌سنگ، کنگلومرا و سنگ گرانیت دارای جنس سخت بوده و آب کمتری را در خود جذب می‌کنند و سنگ‌های

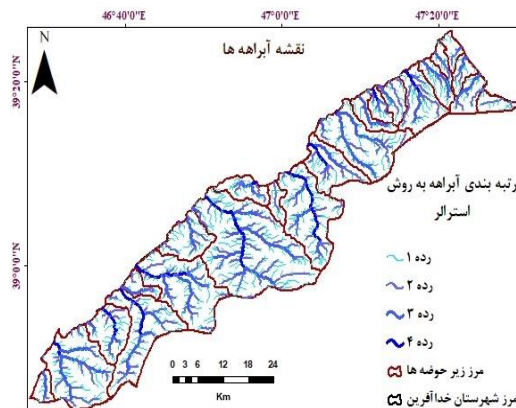
کیلومتر مربع را دارند، از بالاترین میزان اثر و اهمیت برخوردار هستند و وزن بالاتری را کسب خواهند کرد.

جدول ۳- طبقه‌بندی تراکم زهکشی و درصد مساحت از حوضه در رابطه با خطر وقوع سیلاب

تراکم زهکشی	درصد مساحت از حوضه	خطر وقوع سیلاب در رابطه با تراکم زهکشی
۰ - ۰/۲	۳۶/۲۸	بسیار کم
۰/۲ - ۰/۴	۴۰/۰۸	کم
۰/۴ - ۰/۶	۱۶/۸۵	متوسط
۰/۶ - ۰/۸	۵/۴۱	زیاد
۰/۸ - ۱/۰۲	۱/۳۸	بسیار زیاد



شکل ۳- نقشه تراکم زهکشی حوضه



شکل ۴- نقشه رتبه‌بندی آبراهه حوضه

**شیب و زمین‌شناسی:** شیب حوزه آبخیز، اثری محسوس و قابل توجه در جریان سطحی حوضه دارد. تاثیر شیب روی مقدار رواناب، ناشی از اثر آن بر عمق، ظرفیت نگهداری و فرصت نفوذ آب در خاک دارد. چنانچه مقدار شیب افزایش یابد، نقش عوامل فزاینده نفوذ کاهش یافته و میزان رواناب افزایش می‌یابد (Zahedi, ۲۰۰۷). نقشه شیب حوضه مورد مطالعه با

خاک از منظر سرعت نفوذ آب در آن‌ها است، نیز مد نظر قرار گرفت. از طرفی، میزان نگهداشت و نفوذ خاک (رابطه ۵)، نیز به تبعیت از شماره منحنی و در جهت عکس آن عدد مربوطه را به خود می‌گیرد. به عبارتی دیگر، در مکان‌هایی که نفوذپذیری دارای مقدار کمی است، میزان نگهداشت خاک آن مکان‌ها نیز کاهش می‌یابد که این مسئله با افزایش مقدار شماره منحنی قابل مشاهده است (جدول ۴). شکل‌های ۸ و ۹، شماره منحنی و عامل مربوط به نگهداشت خاک منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

$$S = \frac{25400}{CN} - 25 \quad (5)$$

که در آن،  $S$  میزان نگهداشت و نفوذ خاک (میلی‌متر) است.

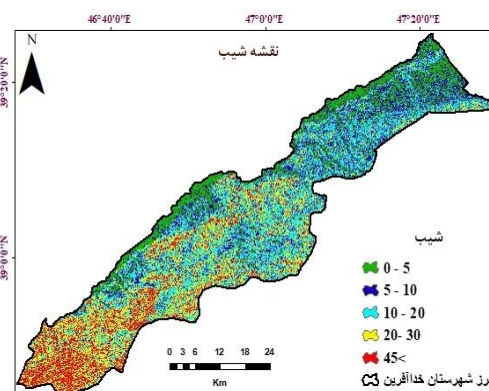
**جدول ۴- طبقه‌بندی نگهداشت خاک و درصد مساحت از حوضه در رابطه با خطر وقوع سیلاب**

نگهداشت خاک به (میلی‌متر)	درصد مساحت از حوضه	خطر وقوع سیلاب در رابطه با نگهداشت خاک
۴/۸	۳۱/۳۵	بسیار زیاد
۷/۶ - ۴/۸	۱/۴۷	زیاد
۱۳/۸ - ۷/۶	۵۲/۷۸	متوسط
۲۲/۱ - ۱۳/۸	۳/۶۱	کم
۳۳/۶ - ۲۲/۱	۱۰/۷۹	خیلی کم

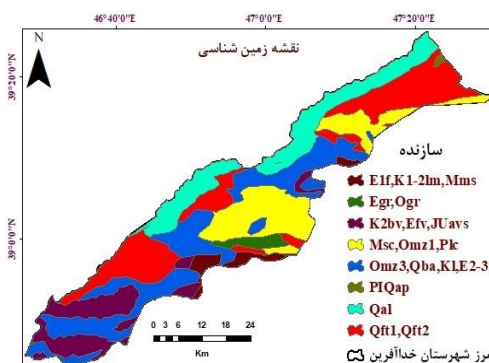
**ارتفاع رواناب و بارش:** در رابطه با خطر وقوع سیلاب در سطح حوزه‌های آبخیز، به دست آوردن ارتفاع رواناب ناشی از بارندگی با مقدار مشخص، از اهمیت فراوانی برخوردار است. در روش سازمان حفاظت خاک آمریکا، ارتفاع رواناب برای شرایط کلی از رابطه (۶)، به دست می‌آید (Alizadeh, ۲۰۰۳). بعد از تهیه نقشه  $S$  و  $CN$  حوزه آبخیز، برای تعیین حداکثر بارش ۲۴ ساعته زیرحوضه‌ها از داده‌های بارش روزانه ۱۵ ایستگاه سینوپتیک و باران‌سنجی واقع در مجاور حوزه آبخیز شهرستان خداآفرین استفاده شده است (جدول ۵). حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته طی دوره آماری (۱۳۹۰-۱۳۹۹) برای هر ایستگاه مشخص و سپس مقادیر آن‌ها از طریق روش IDW به کل حوضه تعمیم داده شد و متوسط بارش وزنی برای هر زیرحوضه محاسبه شد (جدول ۶ و شکل‌های ۱۰ و ۱۱).

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{(P+0.8S)} \quad (6)$$

آذرین بیرونی دارای نفوذپذیری کم هستند، لذا، میزان خطر سیلاب را افزایش می‌دهند. در خصوص میزان اثر و اهمیت هر یک از سازندها در رابطه با خطر وقوع سیلاب در مدل ANP، سازندهای نفوذناپذیر یا با نفوذپذیری خیلی کم، از اهمیت و اولویت بالاتری برخوردارند.



شکل ۶- نقشه طبقه‌بندی شیب حوضه



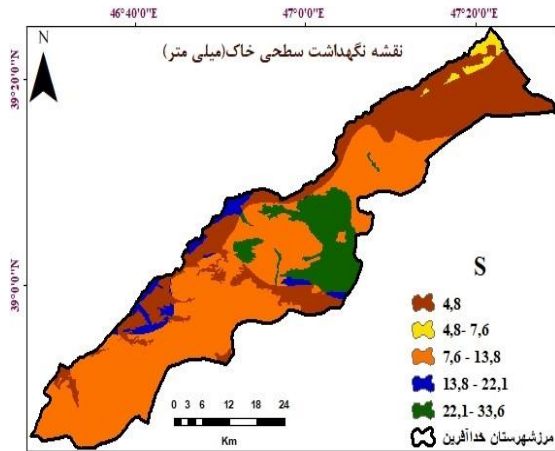
شکل ۷- نقشه زمین‌شناسی حوضه

**شماره منحنی و نگهداشت خاک:** یکی از روش‌های برآورد ارتفاع رواناب، روش شماره منحنی (CN) است که نشانگر رفتار هیدرولوژیکی حوضه است. شماره منحنی بالا به معنای رواناب بیشتر و نفوذ کمتر است، در حالی‌که شماره منحنی پایین، به معنای رواناب کمتر و نفوذ بیشتر است (Huang و Zhan, ۲۰۰۴). برای تهیه لایه CN حوضه، از روش سازمان حفاظت خاک آمریکا استفاده شد. بدین منظور، دو لایه اطلاعاتی گروه‌های هیدرولوژیک خاک با استفاده از نقشه خاک حوضه و لایه کاربری اراضی، از الحاقی HEC-GeoHMS در محیط نرم‌افزار ArcGIS به دست آمد. بنابراین، شماره منحنی (CN) در برگزیده وضعیت پوشش گیاهی و نیز گروه‌های هیدرولوژیکی

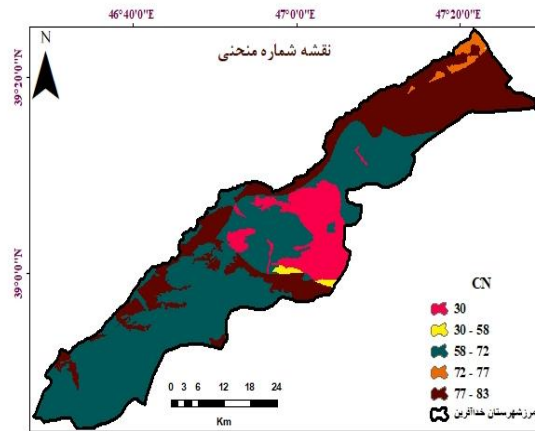


که در آن،  $Q$  ارتفاع رواناب (میلی‌متر)،  $P$  حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته (میلی‌متر)،  $S$  نگهداشت و نفوذ

خاک (میلی‌متر) است.



شکل ۹- نقشه نگهداشت سطحی خاک حوضه



شکل ۸- نقشه شماره منحنی حوضه

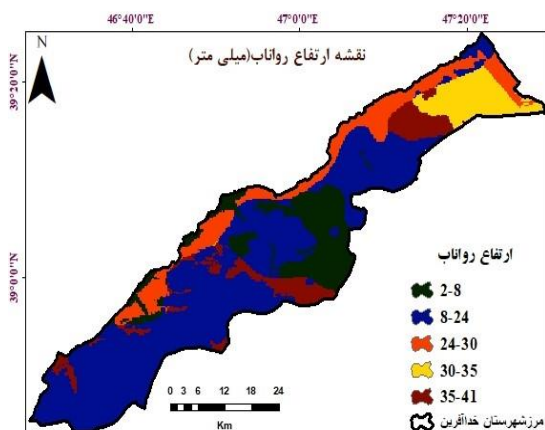
جدول ۵- حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته (میلی‌متر) ایستگاه‌های منتخب اطراف حوضه (۱۳۹۰-۱۳۹۹)

نام ایستگاه	طول ایستگاه	عرض ایستگاه	ارتفاع	حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته (mm)
تبریز	۴۶/۲۸	۳۸/۰۸	۱۳۶۴	۷۳/۲
اهر	۴۷/۰۷	۳۸/۴۳	۱۳۹۱	۶۹/۱
بناب	۴۶/۰۷	۳۷/۳۳	۱۲۹۰	۱۲۰/۶
جلفا	۴۵/۶۷	۳۸/۷۵	۷۳۶	۵۳/۱
سراب	۴۷/۵۳	۳۷/۹۳	۱۶۸۲	۵۰/۴
سهند	۴۶/۱۲	۳۷/۹۳	۱۶۴۱	۸۳/۷
کلیبر	۴۷/۰۲	۳۸/۸۷	۱۲۱۰	۸۳/۹
مراغه	۴۶/۲۷	۳۷/۴	۱۳۴۴	۸۹/۹
مرند	۴۵/۷۶	۳۸/۴۷	۱۵۵۰	۱۳۴/۱
میانه	۴۷/۷	۳۷/۴۵	۱۱۱۰	۷۴/۱
ورزقان	۴۶/۴	۳۸/۳	۱۶۷۱	۷۶/۴
هریس	۴۷/۰۶	۳۸/۱۵	۱۹۵۰	۸۵/۸
پارس‌آباد	۴۷/۹۲	۳۹/۶۵	۳۰/۹	۵۳/۶
بيله سوار	۴۸/۳۷	۳۹/۳۷	۹۰	۸۴/۲
گرمی	۴۸/۰۵	۳۹/۰۵	۷۴۹	۷۴/۷

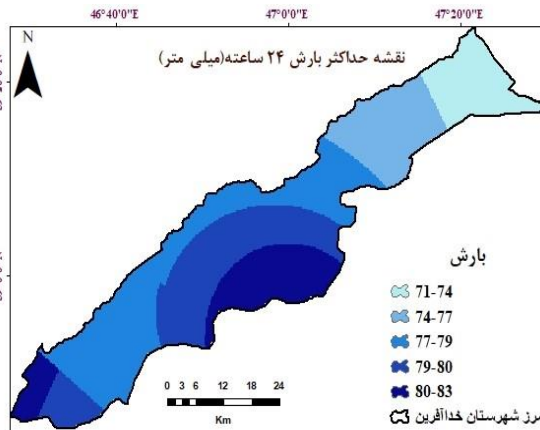
جدول ۶- طبقه‌بندی طبقات ارتفاع رواناب سطحی و درصد مساحت از حوضه در رابطه با خطر وقوع سیلاب

طبقات ارتفاع رواناب (mm)	درصد مساحت از حوضه	خطر وقوع سیلاب در رابطه با ارتفاع رواناب
۸-۲	۱۴/۱۶	بسیار کم
۲۴-۸	۵۴/۴۳	کم
۳۰-۲۴	۱۴/۱۵	متوسط
۳۵-۳۰	۷/۷۲	زیاد
۴۱-۳۵	۹/۵۴	بسیار زیاد





شکل ۱۱- نقشه ارتفاع رواناب سطحی حوضه



شکل ۱۰- نقشه حداکثر بارش ۲۴ ساعته حوضه

۲۰۰۶). اگر حوزه آبخیز به شکل دایره کامل باشد، ضریب فشردگی آن برابر یک است و در غیر این صورت، این مقدار بزرگ‌تر از یک است که مبین انحراف شکل آن از دایره است. ضریب گراویلیوس حوضه‌ها معمولاً بین ۱/۵ تا ۲/۵ است (Alizadeh, ۲۰۱۱). برای به‌دست آوردن ضریب فشردگی یا گراویلیوس از رابطه (۷)، استفاده شد.

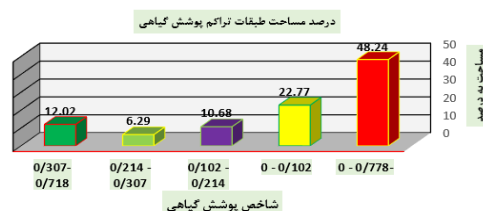
$$Cc = 0.2812p / \sqrt{A} \quad (7)$$

که در آن،  $CC$  ضریب فشردگی،  $P$  محیط حوضه (کیلومتر)،  $A$  مساحت حوضه (کیلومتر مربع) است. با توجه به این که محیط حوضه مورد مطالعه، ۲۹۲/۵۱ کیلومتر محاسبه شد، مساحت حوضه نیز ۱۶۱۶/۰۷ کیلومتر مربع است. طبق محاسبات مذکور، ضریب فشردگی برای حوضه مورد مطالعه، ۲/۰۵ به‌دست آمده است. این عدد برای حوضه مورد مطالعه، نشان‌دهنده انحراف شکل آن از دایره است. طبقه‌های مورد نظر با توجه به هدف پژوهش، یعنی طبقه با ضریب گراویلیوس کمتر از ۱/۲۴، دارای بیشترین میزان اهمیت و گراویلیوس بالای ۱/۶۸، دارای کمترین میزان اهمیت در مدل ANP در رابطه با خطر وقوع سیلاب اولویت‌بندی شدند. زیرا در زیرحوضه با گراویلیوس کمتر در مقایسه با سایر زیرحوضه‌ها، تخلیه رواناب به سرعت انجام می‌شود و زمان تمرکز کاهش می‌یابد که این خود می‌تواند باعث افزایش خطر وقوع سیل در این قسمت‌ها شود (جدول ۸ و شکل ۱۴).

در رابطه با سیل‌خیزی، طبقه‌ای که کمترین میزان شاخص پوشش گیاهی را دارد، از بیشترین میزان اهمیتی ارجحیت در مدل ANP برخوردار خواهد بود و در نتیجه، وزن بیشتری را کسب می‌کند. چرا که نبود پوشش گیاهی یا فقر شدید آن، سبب کاهش نفوذ و افزایش آبدوی و در نتیجه، کاهش زمان تمرکز می‌شود (شکل ۱۲ و جدول ۷).

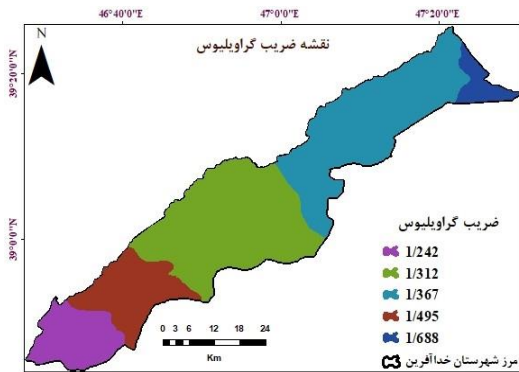
جدول ۷- طبقه‌بندی تراکم پوشش گیاهی و درصد مساحت از حوضه در رابطه با خطر وقوع سیلاب

تراکم پوشش گیاهی	درصد مساحت از حوضه	خطر وقوع سیلاب در رابطه با پوشش گیاهی
۰-۰/۷۸۸۴	۴۸/۲۴	خیلی زیاد
۰-۰/۱۰۲۵	۲۲/۷۷	زیاد
۰/۱۰۲۵-۰/۲۱۴۲	۱۰/۶۸	متوسط
۰/۲۱۴۲-۰/۳۰۷۶	۶/۲۹	کم
۰/۳۰۷۶-۰/۷۱۸۶	۱۲/۰۲	خیلی کم

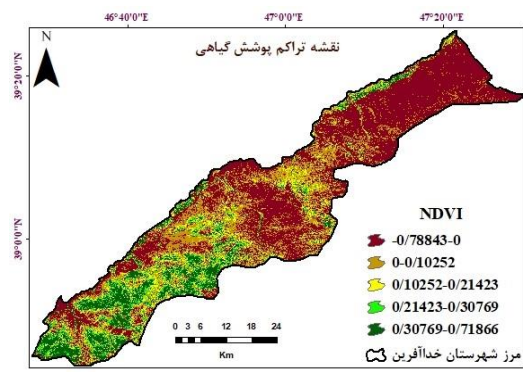


شکل ۱۲- مساحت هر یک از طبقه‌های تراکم پوشش گیاهی حوضه

**ضریب گراویلیوس:** شکل حوضه، ویژگی‌های هیدرولوژیک حوضه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. یک حوضه باریک و طویل با داشتن نسبت انشعاب زیاد، نقطه اوج پایین اما ثابت را به وجود می‌آورد، درحالی‌که، حوضه‌های گرد با نسبت انشعاب پایین، یک هیدروگراف تیز را به وجود می‌آورد (Garde,



شکل ۱۴- نقشه ضریب گراولیوس حوضه



شکل ۱۳- نقشه تراکم پوشش گیاهی حوضه

جدول ۸- طبقه‌بندی ضریب گراولیوس و درصد مساحت از حوضه در رابطه با خطر وقوع سیلاب

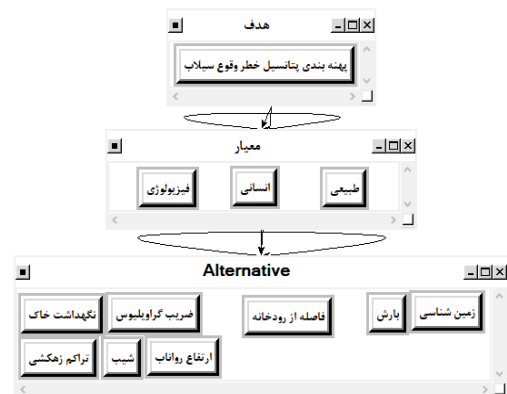
ضریب گراولیوس	درصد مساحت حوضه	مساحت حوضه (کیلومتر)	محیط حوضه (کیلومتر)	خطر وقوع سیلاب در رابطه با فاصله از آبراهه
۱/۲۴۲	۲۱/۵۴	۱۸۳/۰۹	۵۹/۷۶	بسیار زیاد
۱/۳۱۲	۱۶/۶۵	۶۰۳/۹۴	۱۱۴/۶۶	زیاد
۱/۳۶۷	۱۳/۹۰	۵۵۸/۱۷	۱۴۲/۴۶	متوسط
۱/۴۹۵	۶/۰۴	۲۲۱/۸۷	۷۹/۱۷	کم
۱/۶۸۸	۴۱/۸۷	۵۹/۳۴	۴۶/۲۵	خیلی کم

پژوهش به دست آمد (جدول ۱۰). وزن‌های نهایی برای هر یک از زیر معیارها با توجه به ارتباطات درونی محاسبه و وارد جدول‌های توصیفی هر یک از لایه‌های مربوطه شد. سپس هر یک از این لایه‌ها با توجه به ارزش‌های جدید، بار دیگر طبقه‌بندی شدند. هر یک از این لایه‌ها را می‌توان به‌عنوان یک نقشه پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب، تنها بر اساس عامل مربوطه در نظر گرفت. پس از آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی، با توجه به میزان اهمیت، از ابزار تحلیل‌گر فضایی برای هم‌پوشانی ریاضی لایه‌ها استفاده شد. این امر، با کمک رابطه (۸)، که وزن‌های آن از طریق مدل ANP به‌دست آمده (جدول ۱۰)، برای هم‌پوشانی لایه‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.8 انجام گرفت و از این طریق، لایه خطر وقوع سیلاب در سطح حوضه مورد مطالعه به‌دست آمد.

(لایه خطر وقوع سیلاب ANP) =  $(0.24190) \times$  ارتفاع رواناب +  $(0.20713) \times$  (شیب) +  $(0.16982) \times$  بارش +  $(0.12586) \times$  فاصله از آبراهه +  $(0.10228) \times$  (نگهداشت خاک) +  $(0.07061) \times$  تراکم زهکشی آبراهه +  $(0.05287) \times$  (زمین‌شناسی) +  $(0.02953) \times$  ضریب گراولیوس (۸)

در نهایت، لایه به‌دست آمده با توجه به تعداد طبقه‌های مورد نظر، بار دیگر طبقه‌بندی شد. در این

تعیین درجه اهمیت متغیرهای موثر بر وقوع سیل: پس از به‌دست آوردن لایه‌های اطلاعاتی، برای وزن‌دهی از مدل ANP استفاده شد. بدین منظور، پس از تشکیل ساختار (شکل ۱۵) و ماتریس مقایسه‌ای از طریق پرسش‌نامه و دیدگاه‌های کارشناسان ژئومورفولوژی، برای تعیین رابطه و میزان اهمیت هر یک از این معیارها و زیر معیارها استفاده شد (جدول ۹).



شکل ۱۵- نمای کلی از خوشه‌ها و عناصر در مدل Super Decision

پس از تشکیل سوپر ماتریس‌ها، وزن‌ها یا ارزش‌های هر معیار و ارتباطات درونی آن‌ها نسبت به هدف

مورد، لایه خطر وقوع سیلاب به پنج طبقه با عنوان خطر خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تقسیم‌بندی و مساحت و درصد مساحت هر یک از پهنه‌ها به دست آمد (شکل ۱۶ و جدول ۱۱).

جدول ۹- نمونه‌ای از مقایسات زوجی (معیار ارتفاع رواناب با سایر معیارها)

معیار	میزان اهمیت										معیار
ارتفاع رواناب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۹	شیب
ارتفاع رواناب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۹	بارش
ارتفاع رواناب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۹	فاصله از آبراهه
ارتفاع رواناب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۹	نگهداشت خاک
ارتفاع رواناب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۹	تراکم زهکشی
ارتفاع رواناب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۹	زمین‌شناسی
ارتفاع رواناب	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۹	ضریب گراویلیوس

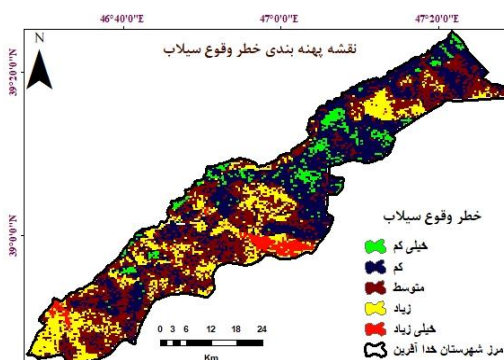
جدول ۱۰- وزن هر یک از متغیرهای مؤثر بر خطر وقوع سیلاب با استفاده از مدل ANP

معیار	ارتفاع رواناب	شیب	بارش	فاصله از آبراهه	نگهداشت خاک	تراکم زهکشی	زمین‌شناسی	ضریب گراویلیوس	میزان سازگاری
وزن در مدل ANP	۰/۲۴۱۹۰	۰/۲۰۷۱۳	۰/۱۶۹۸۲	۰/۱۲۵۸۶	۰/۱۰۲۲۸	۰/۰۷۰۶۱	۰/۰۵۲۸۷	۰/۰۲۹۵۳	۰/۰۵

### نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر، برای تهیه نقشه پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب در حوزه آبخیز شهرستان خداآفرین با استفاده از مدل ANP و تکنیک GIS مورد مطالعه قرار گرفت. پهنه‌بندی نهایی حوضه مورد مطالعه با توجه به ارتباطات درونی و بر اساس دخالت وزن‌ها با ارزش‌های نهایی هر یک از معیارهای اصلی و همچنین، طبقات زیرمعیارهای اصلی انجام گرفت. برای این‌کار، ابتدا معیارهای اصلی شامل عوامل طبیعی، عوامل انسانی و عوامل فیزیولوژی مشخص و در ادامه، برای هر کدام از عوامل اصلی زیرمعیار تعریف شد.

برای عوامل طبیعی پارامترهای زمین‌شناسی، بارش و پوشش گیاهی، برای عوامل انسانی، فاصله از رودخانه و برای عوامل فیزیولوژی، پارامترهای ارتفاع رواناب، نگهداشت خاک، شیب، تراکم زهکشی و ضریب گراویلیوس معرفی شدند. وزن‌دهی این عوامل با روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) صورت گرفت. تحلیل وزن‌های نهایی منتج از مدل ANP، نشان می‌دهد که در رابطه با خطر وقوع سیلاب، سه عامل ارتفاع رواناب، شیب و بارش به ترتیب با مقادیر ۰/۲۴۱۹۰، ۰/۲۰۷۱۳ و ۰/۱۶۹۸۲ با توجه به کنترل زیادی که بر میزان



شکل ۱۶- نقشه پهنه خطر وقوع سیلاب حوضه خدا آفرین

جدول ۱۱- مساحت و درصد مساحت پهنه خطر وقوع سیلاب

پهنه‌های خطر	مساحت (متر مربع)	درصد مساحت
خیلی کم	۴۶۸۹۰۰	۵/۵۵
کم	۳۳۱۰۲۰۰	۳۹/۱۸
متوسط	۲۸۴۱۳۰۰	۳۳/۶۳
زیاد	۱۵۶۰۶۰۰	۱۸/۴۷
خیلی زیاد	۲۶۸۲۰۰	۳/۱۷

است اقدامات اساسی در بالادست حوضه به‌ویژه در مناطق با سیل‌خیزی بالا صورت گیرد.

این اقدامات را می‌توان در راستای اجرای برنامه‌های مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، مدیریت ریسک سیل و آبخیزداری برنامه‌ریزی نمود. به‌گونه‌ای که در درازمدت علاوه بر بهبود وضعیت پوشش گیاهی در سطح حوضه، منجر به کاهش آسیب‌های جانی و مالی وارده شود. در عین حال، با پیگیری و اجرای مستمر قوانین موجود و تهیه و تنظیم قوانین جدید، مانع تغییر کاربری اراضی در بستر و حریم رودخانه‌ها و مسیل‌های سیل‌خیز شد. در نتیجه، باید با اقدامات مناسب، چه سازه‌ای و چه غیرسازه‌ای تا حد امکان مانع وقوع سیل شد یا دست‌کم خسارت‌های ناشی از آن را به حداقل رساند.

چگونگی تخلیه رواناب از سطح حوضه دارند، از بیشترین میزان اهمیت و تاثیر در وقوع سیل برخوردارند. نتایج نقشه مناطق مستعد سیلاب در منطقه مورد مطالعه نشان داد که بیش از ۲۱ درصد از مساحت منطقه جز مناطق با پتانسیل سیل‌خیزی از نوع زیاد و خیلی زیاد هستند. با توجه به اینکه نقشه‌های تهیه‌شده خروجی مدل‌هایی است که از تمامی داده‌های موجود و واقعی استفاده کرده‌اند، می‌توان گفت که صحت این نتایج در سطح اطمینان ۹۵ درصد مورد قبول است، البته از طریق مقایسه نتایج به‌دست آمده و ارزیابی نمونه‌های واقعی سیلاب رخ داده در منطقه، می‌توان صحت نتایج را به‌صورت دقیق مورد ارزیابی قرارداد. با توجه به این‌که هر سال به‌دلیل وقوع سیل در قسمت‌های مختلف منطقه آسیب‌ها و خسارت‌های مالی زیاد و گاهی جانی وارد می‌شود، لازم

#### منابع مورد استفاده

1. Abedini, M. and E. Beheshti Javid. 2016. Flood hazard mapping of Lighvan Chai Watershed using Network Analysis Process Model (ANP) and GIS. *Geographic Space*, Islamic Azad University of Ahar Branch, 55: 293-312 (in Persian).
2. Abedini, M. and M. Fathi. 2015. Flood risk mapping and evaluation by using the analytic network process, case study: Khiav Chai Catchment. *Hydrogeomorphology*, 1(3): 81-97 (in Persian).
3. Alizadeh, A. 2003. Principles of applied hydrology. Astan Quds Razavi Institute and Press, Mashhad, 636 pages (in Persian).
4. Alizadeh, A. 2011. Principles of applied hydrology. Ferdowsi University of Mashhad, 990 pages (in Persian).
5. Amir Ahmadi, A., A. Jahanfar and K. Parsiani. 2013. ANP model capability in flood risk zoning, case study: Islam Abad Gharb. Proceedings of 5th Iranian Conference on Water Resources Management, Tehran, Iran (in Persian).
6. Dano, U.L., A.L. Balogun, A.N. Matori, K. Wan Yusouf, I.R. Abubakar, M.A. Said Mohamed, Y.A. Aina and B. Pradhan. 2019. Flood susceptibility mapping using GIS-based analytic network process: a case study of Perlis, Malaysia. *Water*, 11(615): 1-28.
7. Dornkamp, J., C. King, C.M. Wen, T. Chu, G. Wei, R. Dakumb and S. Straler. 1991. Quantitative analysis in geomorphology. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 368 pages.
8. Garde, R.J. 2006. River morphology. New Age International Press, 388 pages.
9. Hosseini Nezhad, M. 2017. The zoning of flood occurrence danger in Soltani Drainage Basin using model ANP. M.Sc Thesis, Tehran University, 156 pages (in Persian).
10. Kheirizadeh, M., J. Maleki and H. Amonia. 2013. Flood hazard potential zoning in Marduk Chai Catchment using ANP Model. *Quantitative Geomorphology Research*, 3: 39-56 (in Persian).
11. Lami, I.M. and F. Abastante. 2014. Decision making for urban solid waste treatment in the context of territorial conflict: can the analytic network process help? *Land Use Policy*, 41: 11-20.
12. Milanese, L., M. Pilotti and R. Ranzi. 2015. A conceptual model of people's vulnerability to floods. *Water Resources Research*, 51(1): 182-197.
13. Momeni, M. and A. Sharifi Salim. 2011. Models and multi-index decision making software. Foroozesh Publication, 224 pages (in Persian).
14. Morelli, S., S. Segoni, G. Manzo, L. Ermini and F. Catani. 2012. Urban planning, flood risk and public policy: the case of the Arno River, Firenze, Italy. *Applied Geography*, 34: 205-218.
15. Mahmoud, S.H. and T.Y. Gan. 2018. Multi-criteria approach to develop flood susceptibility maps in arid regions of Middle East. *Journal of Cleaner Production*, 196: 216-229.

16. Najafi, A. 2010. Applying ANP network analysis process in analyzing organizational structural challenges and executive environment in project management. *International Journal of Industrial Engineering and Production Management*, 21(1): 76-63 (in Persian).
17. Neaupane, K.M. and M. Piantanakulchai. 2006. Analytic network process model for landslide hazard zonation. *Engineering Geology*, 85(3-4): 281-294.
18. Noor, H., A. Dastranj, M. Rostami Khalaj and J. Chezgi. 2021. Evaluating the effectiveness of flood spreading plan from the perspective of project stakeholders, case study: Jajarm flood spreading. *Rainwater Catchment Systems*, 28(1): 21-30 (in Persian).
19. Omidvar, K. 2011. *Natural Hazards*. Yazd University Press, 316 pages (in Persian).
20. Omidvar, K., A. Kianfar and S. Asgari. 2010. Flood potential zoning of Kanjanam Catchment. *Natural Geography Research*, 72: 73-90 (in Persian).
21. Saaty, T.L. 1980. *The analytic hierarchy process*. New York, McGraw Hill, 287 pages.
22. Saaty, T.L. and L.G. Vargas. 2006. *Decision making with the analytic network process*. Springer Science, 363 pages.
23. Sowmya, K., C.M. John and N.K. Shrivasthava. 2015. Urban flood vulnerability zoning of Cochin City, south-west coast of India, using remote sensing and GIS. *Natural Hazards*, 75(2): 1271-1286.
24. Valizadeh Kamran, Kh. 2007. Application of GIS in flood risk zoning. *Journal of Geographical Space*, 20: 170-153 (in Persian).
25. Zahedi, M. and M. Bayati Khatibi. 2007. *Hydrology*. Samt Publications, 200 pages (in Persian).
26. Zebardast, E. 2010. Application of network analysis process in urban and regional planning. *Journal of Fine Arts, Architecture and Urban Development*, 41: 79-90 (in Persian).
27. Zhan, X. and M.L. Huang. 2004. ArcCN-Runoff: an ArcGIS tool for generating curve number and runoff maps. *Environmental Modelling and Software*, 19(10): 875-879.

## Identification of flood risk zoning areas based on multi-criteria decision making and neural network model, case study: Khodaafarin Watershed

Ali Khodaie<sup>1\*</sup> and Rahman Zandi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> MSc, Environment, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University and <sup>2</sup> Associate Professor, Department of Remote Sensing and GIS, Hakim Sabzevari University - Assigned to Shahid Chamran University of Ahvaz

Received: 10 May 2022

Accepted: 25 October 2022

### Abstract

Occurrence of numerous floods in different regions of the country has always caused a lot of damages in various fields. Therefore, it seems necessary to prepare and compile a comprehensive plan in the field of flood control. The study area is influenced by the Mediterranean climate and within the radius of the Caspian and Caucasian climates. Due to the high altitude differences, it has a variety of climates and high variability in rainfall, and known as one of the areas exposed to destructive floods. The purpose of this study is to identify flood prone areas based on multi-criteria decision making and neural network model in Khodaafarin Watershed. For this purpose, according to the factors affecting the occurrence of floods, the information layers of the region including Curve Number (CN), Gravilius coefficient, runoff height, precipitation, distance from waterway, soil retention, waterways, slope, drainage density, geology and vegetation, according to the study of maps, reports, satellite images and field surveys. In order to weight the criteria in the present study, network analysis method (ANP) and Super Decisions software were used. The factor of runoff height with the amount of 0.241, slope with the amount of 0.207 and precipitation with the weight of 0.169 were the most important in relation to flood occurrence. Finally, by combining these layers according to their weight in the GIS environment, a flood risk zoning map was extracted in five classes. The results also showed that, 43 square kilometers (3% of the area) of the watershed is in the very high flood risk class and 288 square kilometers (18% of the area) in the high flood risk calss. More than 21% of the area is among the areas with high and very high flood potential. Therefore, it seems that the need for surface water management in the region in order to prevent floods and the proper use of water in the region is necessary.

**Keywords:** ANP model, Drainage density, GIS, Gravilius, Runoff height

---

\* Corresponding author: alikhodaie@yahoo.com