

ارزیابی معیارهای مؤثر بر خطر سیل خیزی مبتنی بر فرایند تحلیل شبکه‌ای و GIS در حوضه وازرود استان مازندران

کریم سلیمانی^{۱*}، بهروز محسنی^۲

۱. استاد مرکز سنجش از دور و گروه آبخیزداری، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران

۲. استادیار گروه مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

(تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۱۰/۲۱؛ تاریخ بازنگری ۱۴۰۱/۱۱/۱۱ تاریخ تصویب ۱۴۰۱/۱۲/۱۲)

چکیده

پهنه‌بندی خطر سیل به عنوان مشکلی اساسی همواره مورد توجه بسیاری از محققان است. با توجه به نیاز آن به تحلیل مکانی پیچیده از این رو، معیارهای متعددی باید ارزیابی شوند. این تحقیق با هدف تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیل در حوضه وازرود واقع در استان مازندران انجام گرفته است. به این منظور ۶ متغیر شیب، کاربری اراضی، گروه هیدرولوژیک، شماره منحنی، پایداری و بارندگی مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای وزندهی معیارها و تهیه لایه‌های اطلاعاتی به ترتیب از فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و GIS بهره گرفته شد. نتایج به دست آمده از تحقیق نشان داد معیار شماره منحنی و شیب به ترتیب با مقدار وزنی ۱/۴۲ و ۱/۰۰ در اولویت اول و دوم اهمیت خطر وقوع سیل هستند. در نهایت، با تلفیق هر یک از لایه‌ها و براساس وزن در محیط GIS، نقشه نهایی پهنه‌بندی سیل به دست آمد. نتایج نشان داد ۷۸/۷ کیلومتر مربع (۵۷/۳۶ درصد) از مساحت منطقه در معرض خطر وقوع سیل (خیلی زیاد و زیاد) قرار دارد. این امر با وجود نفوذپذیری متوسط، به دلیل دخالت عواملی مانند شماره منحنی بالا، ارتفاع رواناب بیشتر و پوشش مرتعی ضعیف است که با توجه به ارتفاع زیاد و خوش نشینی احتمالی منطقه طی سال‌های آتی، مدیران و برنامه‌ریزان منطقه باید با تمهیدات لازم (کنترل ساخت‌وساز در این مناطق و استفاده از طرح‌های کاربری اراضی و ایجاد پوشش گیاهی)، از خطر وقوع سیل در این مناطق جلوگیری کنند یا آن را کاهش دهند.

کلمات کلیدی: گروه هیدرولوژیک، شماره منحنی، رواناب، فرایند تحلیل شبکه (ANP).

مقدمه

سیل یک بلای طبیعی است که همواره رخ می‌دهد و برای هزاران سال بر اقتصاد و جامعه در بسیاری از کشورها در سراسر جهان، اثرات منفی ایجاد کرده است. در مواجهه با چنین تهدیدهایی، مطالعه علمی پارامترهای زمینه‌ای آغازگر سیلاب‌ها و یافتن راه‌حلی برای پیش‌بینی آن از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین اثرات آن بر جان و مال انسان به حداقل می‌رسد. برای پیشگیری و کاهش خسارت‌های ناشی از سیل، این امر از طریق ارزیابی نقشه پهنه خطر سیل ضروری است. سیل همچنین می‌تواند باعث اختلال شدید در زیرساخت‌های بهداشت عمومی و اموال شخصی شود. از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۷ نزدیک به دو میلیارد نفر در سراسر جهان تحت تأثیر سیل قرار گرفتند [۱]. این حوادث سیل باعث خسارت‌های مطلق در کشورهای آسیایی، مانند چین (۴۹۲/۲ میلیارد دلار)، هند (۷۹/۵ میلیارد دلار) و تایلند (۵۲/۴ میلیارد دلار) از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۷ شده است [۲]. این خسارت در ایران رقمی حدود ۳۵ تا ۵۰ هزار میلیارد تومان را به خود اختصاص داده است. بررسی آمار و اطلاعات خسارت ناشی از وقوع سیلاب در ایران و جهان بیانگر، گستردگی صدمات ناشی از سیلاب به منابع طبیعی، انسان و اقتصاد مناطق مختلف است. روند افزایش سیل در پنج دهه گذشته نشان می‌دهد که تعداد وقوع سیل در دهه ۱۳۸۰ نسبت به دهه ۱۳۴۰ تقریباً ده برابر شده است؛ به بیان دیگر، ۹۰۰ درصد افزایش داشته است [۳]. نتایج جست‌وجو بر اساس کلمه کلیدی «پهنه‌بندی خطر سیل» در کتابخانه دیجیتال Sciendirect از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰/۹/۱۸، ۱۸۱۳ اثر است. تعداد تحقیقات منتشرشده در هر سال (۲۰۰۵ کمترین و ۲۰۲۰ بیشترین) نشان می‌دهد مطالعات پهنه‌بندی خطر سیل به طور قابل توجهی در حال افزایش است، به طوری که از ۳۷ مطالعه در سال ۲۰۰۵ به ۲۲۷ مطالعه در سال ۲۰۱۹ و در نه ماه اول سال ۲۰۲۰، این تعداد به ۲۴۸ مورد رسید. بدیهی است که علاقه‌مندی بی‌شماری به

پهنه‌بندی خطر سیل از سوی دانشمندان در سراسر جهان وجود داشته است. روش‌های متعددی نیز برای نقشه پهنه‌بندی خطر سیل وجود داشته که به طور هم‌زمان در مناطق مختلف در سراسر جهان اعمال شده‌اند. هر روشی، مزایا و معایب و شرایط کاربرد خود را دارد. انتخاب روش مناسب نیز به داده‌های ورودی، نیازهای پروژه و مجموعه مهارت تکنسین بستگی دارد. علاوه بر روش‌های رایج مانند استفاده از داده‌های سنجش از دور و GIS [۴ و ۵]، مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی [۶ و ۷]، مدل‌های آماری [۸ و ۹] و روش‌های فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) [۱۰] نیز در پهنه خطر سیل به کار می‌روند. پژوهش‌های متعددی در زمینه ارزیابی سیل‌خیزی یا پهنه‌بندی مناطق سیل‌خیز در ایران و جهان انجام شده است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد؛ جنرینو و همکاران [۱۰] بیان داشتند که ویژگی‌های طبیعی اقلیم و زمین، عوامل اصلی ایجاد خطر سیل در استان کاکایان فیلیپین با تغییرات فصلی آشکار در بارش هستند. آن‌ها در تحقیقات خود از داده‌های مربوط به چنین ویژگی‌هایی مانند بارش، تراکم زهکشی، شیب و غیره استفاده نکردند، با این حال تراکم جمعیت را یکی از سه عامل اصلی مؤثر بر ایجاد سیل در منطقه مورد مطالعه در نظر گرفتند. تانگ و همکاران [۱۱] در پژوهشی با استفاده از مدل تحلیلی تصمیم‌گیری چندمترغیره (MCDA) [۱۲] پتانسیل وقوع سیل را در استان Hubei چین بررسی کردند. در این پژوهش با بهبود روش میانگین وزنی مرتب‌شده (OWA) [۱۳]، عوامل ژئومورفولوژیکی و هیدرولوژیکی مؤثر در وقوع سیل، وزن دهی و با ترکیب این عوامل، پتانسیل وقوع سیل در منطقه طبقه‌بندی شدند. گیگوویچ و همکاران [۱۲] پتانسیل وقوع سیل را واقع در شهر Palilula صربستان بررسی کردند. در این پژوهش، شش لایه اطلاعاتی شامل ارتفاع، شیب، فاصله تا شبکه زهکشی، فاصله از سطح آب، ایستایی آب و کاربری اراضی در محیط GIS تهیه شد و با استفاده از مدل AHP ترکیب این لایه‌های اطلاعاتی صورت گرفت. سینگ‌ها و همکاران [۱۳] به تحلیل مکانی نقشه پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از

1. Analytic Hierarchy Process
2. Multi-Criteria Decision Analysis
3. Ordered Weighted Averaging

آسیب‌دیده از سیل یاری کند و اقدامات پیشگیرانه مؤثری را قبل از وقوع اجرا کنند.

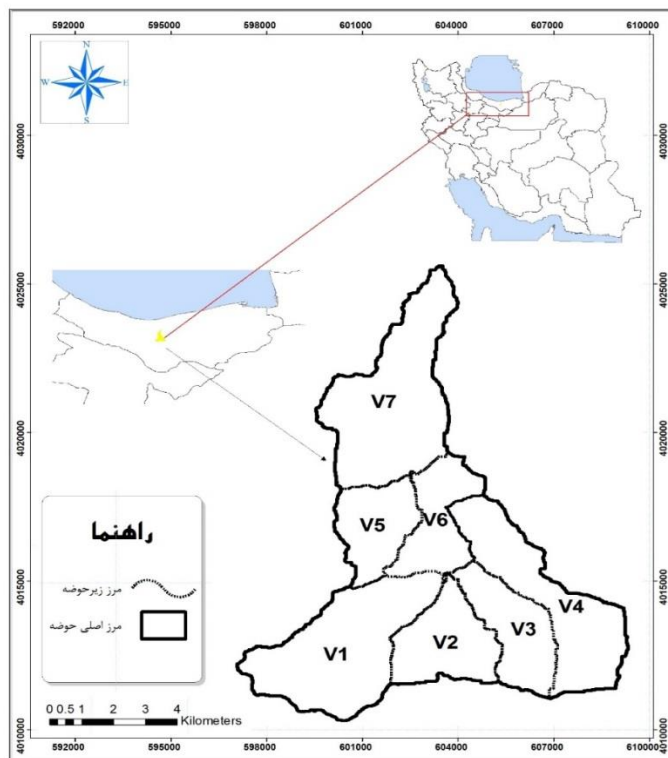
منطقه مورد مطالعه

حوضه وازرود با مساحت ۱۳۷/۲ کیلومتر مربع، در بخش میانی حوضه مازندران در عرض شمالی ۲۶° ۱۴ تا ۳۶° ۵۴ و ۲۵° ۳۶ و طول شرقی ۴۶° ۰۱ تا ۵۲° ۱۲ در محدوده دهستان نائل رستاق از بخش چمستان شهرستان نور قرار گرفته است. در این حوضه، روستاهای جوربند، وازتنکه، وازپایین و بالا، لاسکوتی، رودبارک، نوجمه، گزناسرا و کنگرچال قرار دارند [۱۵]. این حوضه از نظر فیزیوگرافی به مثلی شباهت دارد که قاعده آن در جنوب و رأس آن در شمال است. حداقل ارتفاع حوضه از سطح دریا ۲۸۰ متر و حداکثر آن ۳۵۸۰ متر است. این حوضه از سمت شرق به حوضه ناپلارود و از غرب هم به حوضه لایوچ محدود می‌شود. این حوضه منطقه‌ای است به نسبت پُرشیب که در خط‌القعر آن رودخانه‌ای با آب دائمی از جنوب به شمال با نام محلی «واز» جریان دارد که منشأ آن چشمه‌سارها و برف‌آب‌های ارتفاعات جنوبی بوده و اسم حوضه مورد مطالعه نیز از همین نام گرفته شده است. دامنه‌های شرقی و غربی که در طرفین رودخانه یادشده قرار گرفته‌اند، به طور عام از شیب‌های تند برخوردارند [۱۶]. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را در استان و کشور نشان می‌دهد.

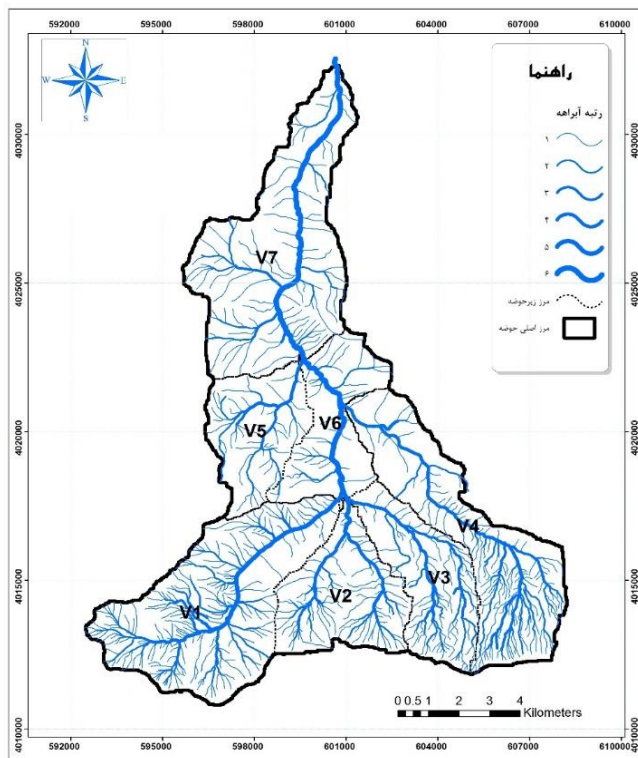
مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی دقیق و شناسایی هر چه بیشتر پتانسیل‌های موجود حوضه مورد مطالعه، ابتدا با استفاده از نقشه‌های رقومی ۱:۲۵۰۰۰ توپوگرافی، محدوده حوضه مشخص شد. پس از پیاده کردن مرز حوضه و استخراج خطوط توپوگرافی و اصلاح آن‌ها، با استفاده از نقشه پایه مقدماتی، بازدید صحرایی به عمل آمد و تا حد امکان، آبراهه‌ها و راه‌ها بروز شد. حوضه یک خروجی دارد و به هفت زیرحوضه تقسیم شد که در شکل ۲، وضعیت این زیرحوضه‌ها همراه با شبکه آبراهه‌ها حوضه ارائه شده است.

تکنیک جدید یادگیری ماشین ترکیبی (NHMLT)^۱ در آسام هند پرداختند. آن‌ها نشان دادند ابزار پهنه‌بندی خطر سیل، مدیر محلی را در اتخاذ تصمیمات سیاستی مناسب در برابر کنترل خسارت سیل و حفظ هوشیاری برای انجام اقدامات پیشگیرانه در مناطق احتمالی سیل حمایت می‌کند. در نتیجه، چارچوب روش‌شناختی پیشنهادی برای برنامه‌ریزان تصمیم‌گیر، محققان بیمه و مقامات دولتی بلایای طبیعی در برنامه‌ریزی تاکتیکی آن‌ها برای نظارت و مدیریت سیل بسیار مؤثر خواهد بود. جلالیان [۱۴] ارزیابی و پهنه‌بندی سیل خیزی در مقیاس زمانی و مکانی را در حوضه آبخیز گرگانرود استان گلستان مورد مطالعه قرار داد. در این پژوهش، عوامل تأثیرگذار بر وقوع سیل و مقایسه دودویی براساس نظر کارشناسان و با استفاده از مدل تحلیل شبکه‌ای شناسایی شدند. در نهایت پس از بررسی پتانسیل وقوع سیل بررسی شده، نتایج پژوهش نشان داد از بین پنج کلاس خطرپذیری وقوع سیل، کلاس‌های یک و دو (با خطرپذیری بسیار زیاد و زیاد) در شرق، شمال شرق و جنوب شرق منطقه قرار دارند که ۲۰ درصد مساحت منطقه را در بر می‌گیرند. مطابق آنچه گفته شد، مطالعات قبلی بر پارامترهای مختلف و تأثیر آن‌ها بر خطر سیل تمرکز دارند. با این حال، توضیح نامشخصی برای چرایی انتخاب آن عوامل در بسیاری از مطالعات وجود دارد. بر اساس مرور مطالعات پیشین، عوامل مؤثر بر خطر سیل به هفت گروه مربوط به خصوصیات هیدرولوژیکی، خصوصیات ژئومورفولوژیکی، ویژگی‌های هواشناسی، ویژگی‌های پوشش، ویژگی‌های خاک، زیرساخت‌ها و ویژگی‌های اقتصادی-اجتماعی تقسیم می‌شوند. هدف اصلی این تحقیق، تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از فرایند ANP با تکیه بر سیستم اطلاعات جغرافیایی است. علاوه بر این، معیارهای خطر سیل و درجه تأثیرگذاری آن‌ها را نیز در این تحقیق مورد ارزیابی قرار دادیم. همچنین، ارائه پیشنهادهایی برای انتخاب عوامل مؤثر در تولید سیل مطابق با ویژگی‌های جغرافیایی منطقه مورد مطالعه از دیگر اهداف مورد انتظار این تحقیق است. نتایج این مطالعه می‌تواند محققان و سیاست‌گذاران را در شناسایی مناطق



شکل ۱. موقعیت حوضه آزرود در ایران و استان مازندران



شکل ۲. نقشه شبکه آبراهه و زیرحوضه‌های آزرود

نرم‌افزار براساس جدول ۱، عمل طبقه‌بندی پایداری زمین در سطح هر سلول از شبکه را انجام می‌دهد.

SINMAP که براساس مدل عددی نامحدود پایداری شیب^۲ پایه‌گذاری شده است، به مدل‌سازی ضریب اطمینان پرداخته که این ضریب به صورت نسبت نیروهای پایدارساز به نیروهای ناپایدارکننده شیب تعریف می‌شود [۱۸]:

$$FS = \frac{C_r + C_s + \cos^2 \theta [\rho_s g (D - D_w) + (\rho_s g - \rho_w g) D_w] \tan}{D \rho_s g \sin \theta \cos \theta} \quad (1)$$

که در این معادله: C_r چسبندگی حاصل از ریشه گیاهان C_s [N/m²]، چسبندگی خاک θ زاویه شیب، ρ_s وزن مخصوص خاک مرطوب [kg/m³]، ρ_w وزن مخصوص آب [kg/m³]، g شتاب جاذبه زمین (9.81 m/s²)، D عمق خاک در حالت عمودی [m] و ϕ زاویه اصطکاک داخلی خاک است. در این معادله، θ آرک تانژانت شیب (S) است.

جدول ۱. تعریف کلاس پایداری مدل SINMAP

کلاس	شرایط	حالت پیش‌بینی شده
۱	FS > ۱/۵	منطقه پایدار
۲	۱/۵ > FS > ۱/۲۵	منطقه با پایداری متوسط
۳	۱/۲۵ > FS > ۱	منطقه شبه پایدار
۴	۱ > FS > ۰/۵	منطقه پایین‌تر از سطح آستانه
۵	۰/۵ > FS > ۰	منطقه بالاتر از سطح آستانه
۶	FS < ۰	منطقه حفاظت‌شده

مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP)

هدف از تصمیم‌گیری، انتخاب بهترین گزینه با سنجیدن عوامل تأثیرگذار است. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (مانند ANP)، به جای معیار اندازه‌گیری بهینه از چندمعیاره استفاده می‌کنند [۱۹ و ۲۰]. همه عناصر باید به‌خوبی درک شده و به‌طور دقیق تعریف شوند تا یک سیستم چندمعیاره مدل‌سازی و تحلیل شود [۲۱]. فرایند تحلیل شبکه‌ای یکی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که در دسته مدل‌های جبرانی قرار می‌گیرد [۲۲]. این مدل براساس فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی طراحی شده است و در آن شبکه، جایگزین سلسله‌مراتب شده است [۲۳]. استفاده از تکنیک ANP برای این منظور پیشنهاد شد که یکی از مفروضات فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی این است که بخش‌ها و شاخه‌های بالاتر سلسله‌مراتب، مستقل از بخش‌ها و شاخه‌های

در این تحقیق برای پهنه‌بندی خطر سیل از شش معیار (شماره منحنی، کاربری اراضی، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، شیب، بارندگی و پایداری) و در مجموع ۳۴ زیرمعیار استفاده شده است. با استفاده از تصویر ماهواره‌ای Landsat 8 و همچنین با بهره‌گیری از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) ۳۰ متری و داده‌های سازمان هواشناسی به ترتیب لایه‌های کاربری، شیب و نقشه بارش آماده‌سازی شد. برای تهیه لایه CN و ارتفاع رواناب قسمت‌های مختلف حوضه، از الحاقی ArcCN-Runoff در محیط نرم‌افزار Arc-GIS استفاده شد. لایه اطلاعاتی گروه‌های هیدرولوژیکی خاک نیز با استفاده از نقشه خاک حوضه تهیه شد. بعد از تعیین کلاس‌های هیدرولوژیکی حوضه آبخیز که هر کلاس مربوط به یک محدوده نفوذپذیری است، نوع بهره‌برداری از اراضی حوضه آبخیز، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. در ادامه مقادیر CN با توجه به کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک ارائه شد. با توجه به نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی و کاربری اراضی، مقدار CN تعیین و سپس با میانگین‌گیری وزنی، CN حوضه آبخیز را در شرایط متوسط به دست آوردیم. صحت تخمین شماره منحنی تأثیر بسیار مهمی در محاسبات دارد. استفاده از فناوری GIS می‌تواند باعث افزایش دقت و سرعت در کار شود. بنابراین در این مطالعه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و با کمک نرم‌افزار ArcGIS اقدام به تهیه نقشه شماره منحنی (CN) شد.

ناپایداری دامنه‌ها و در پی آن وقوع حرکات دامنه‌ای، نه تنها فرسایش خاک را بدنبال دارد و حاصل‌خیزی آن را کاهش می‌دهد، بلکه سبب رسوب مواد در آبراهه‌ها و انسداد مجاری سدها، پُر شدن مخازن سدها، وقوع سیل و انتقال آلاینده‌ها از سطح زمین می‌شود. بر این اساس، مدل فرایندمحور مورد استفاده به منظور ارزیابی شرایط ناپایداری به نام نقشه شاخص پایداری (SINMAP)^۱ با استفاده از داده‌های ورودی یعنی شیب، ویژگی‌های خاک و خصوصیات اقلیمی که به عنوان عوامل مؤثر در سیل‌خیزی هستند، عمل طبقه‌بندی زمین را براساس میزان پایداری انجام می‌دهد [۱۷]. در واقع خروجی اصلی این مدل، شاخص پایداری است که با استفاده از این شاخص،

مورد نظر با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و تحت نرم‌افزار Super Decisions وزن‌دهی شد و با همپوشانی لایه‌ها در محیط Arc-GIS، نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر وقوع سیل تهیه شد [۲۵].

یافته‌ها

نتایج حاصل از شش معیار به عنوان پارامترهای مؤثر بر وقوع سیل در منطقه مورد مطالعه به شرح جدول ۲ آمده است. در این جدول، وزن هر یک از معیارها و در جدول ۳، وزن زیرمعیارها با استفاده از مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای در نرم‌افزار Super Decision محاسبه و ارائه شد.

پایین‌تر هستند. اما در بسیاری از تصمیمات، عناصر تصمیم را نمی‌توان به صورت سلسله‌مراتبی و مستقل از یکدیگر مدل کرد، بنابراین عناصر مختلف با هم ترکیب می‌شوند [۲۴]. به خلاف مدل AHP که کاملاً از ساختار سلسله‌مراتبی برای مدل‌سازی استفاده می‌کند، مدل ANP از مقیاس اندازه‌گیری مقایسه‌ای زوجی استفاده می‌کند و مدل‌سازی را با استفاده از بازخورد دیدگاه سیستم انجام می‌دهد. در ANP، روابط بین سطوح مختلف تصمیم‌گیری یک‌طرفه در نظر گرفته می‌شود. مزیت رویکرد ANP این است که عناصر مختلف براساس روابط بین آن‌ها اندازه‌گیری می‌شوند. در مدل ANP، مقدار اولیه برای هر عامل در مقیاس ۱ تا ۹ تعیین می‌شود. سپس لایه‌های

جدول ۲. وزن نهایی معیارهای مؤثر بر خطر سیل با استفاده از مدل ANP

ردیف	معیار	وزن نهایی
۱	شماره منحنی (CN)	۱/۴۲
۲	شیب	۱
۳	گروه هیدرولوژیکی خاک	۰/۹۸
۴	کاربری اراضی	۰/۹۸
۵	بارش	۰/۹۹
۶	پایداری	۰/۹۷

جدول ۳. وزن نهایی زیرمعیارهای مؤثر بر خطر سیل با استفاده از مدل ANP

معیار	زیرمعیار	وزن نهایی	معیار	زیرمعیار	وزن نهایی
گروه هیدرولوژیکی خاک	B	۰/۰۵	کاربری اراضی	باغ	۰/۰۵
	C	۰/۰۲		جنگل	۰/۰۲
	D	۰/۷۳		مرتع	۰/۱۷
		۰/۱۲		زراعت	۰/۱۱
شیب (درصد)	۲-۵	۰/۰۱۴	بارش	مسکونی	۰/۶۳
	۸-۵	۰/۰۱۸		۴۵۰-۴۰۰	۰/۰۲
	۱۲-۸	۰/۰۲۷		۵۰۰-۴۵۰	۰/۰۴
	۲۰-۱۲	۰/۰۴۳		۵۵۰-۵۰۰	۰/۰۶
	۳۰-۲۰	۰/۰۷۲		۶۰۰-۵۵۰	۰/۱۲
	۴۵-۳۰	۰/۱۲۷		۶۵۰-۶۰۰	۰/۲۷
	۶۰-۴۵	۰/۲۳		۷۶۰-۶۵۰	۰/۴۷
بیشتر از ۶۰	۰/۴۵	حفاظت‌شده	۰/۳۷		
شماره منحنی (CN)	۵۸-۴۴	۰/۰۲	ناپایداری	خطر خیلی زیاد	۰/۲۷
	۷۲-۵۸	۰/۰۴		خطر زیاد	۰/۱۹
	۷۸-۷۲	۰/۱۲		خطر متوسط	۰/۰۸
	۸۲-۷۸	۰/۲۳		خطر کم	۰/۰۴
	۸۷-۸۲	۰/۵۶		پایدار	۰/۰۲

رواناب را هستند. این حالت شرایط را برای سیل خیزی در قسمت جنوب شرقی مهیا می‌سازد.

* معیار شیب

با افزایش شیب عمومی سطح حوضه، فرصت لازم برای نفوذ، کاهش یافته و می‌توان گفت که با افزایش شیب حوضه، زمان تمرکز کاهش می‌یابد. شیب‌های زیاد، باعث ایجاد نقاط اوج بالا در آبنمود می‌شوند [۲۶]. شیب و مشتقات آن نقش مهمی در شناخت مناطق مستعد وقوع سیل دارند [۲۷]، بنابراین شیب یکی از شاخص‌های حیاتی پهنه‌های سطحی است که به شدت مستعد سیل هستند. براساس شکل ۴، بیشترین فراوانی در سطح حوضه مربوط به طبقه بیشتر از ۶۰ درصد (۴۱/۵۴ درصد) است. از طرفی دیگر، در زمینه پهنه‌بندی خطر سیل معیار شیب با توجه به کنترلی که روی بسیاری از فرایندهای هیدرولوژیکی و در نتیجه، واکنش حوضه‌های آبریز نسبت به انواع بارش‌ها دارد، دارای اولویت و ارزش بالاتری است. این مطلب در جدول ۳، نتایج حاصل از مدل ANP را تأیید می‌کند و شیب در اولویت دوم اهمیت سیل خیزی حوضه آبخیز وازرود قرار دارد. در شکل ۴، لایه شیب حوضه آبخیز وازرود ارائه شده است.

* معیار گروه هیدرولوژیکی خاک

هنگامی که رواناب ناشی از یک رگبار برای مطالعه سیلاب‌ها مورد مطالعه باشد، خصوصیات خاک می‌تواند با یک عامل هیدرولوژیکی بیان شود که حداقل سرعت نفوذپذیری در حالت مرطوب بودن خاک است. نوع سطح و افق‌های خاک نیز در نظر گرفته می‌شود؛ تمام خاک‌ها براساس پتانسیل ایجاد رواناب در یک گروه چهارتایی تقسیم‌بندی شده که هر گروه می‌تواند در صورت نیاز به دقت بیشتر به زیر گروه‌هایی تقسیم شود (جدول ۴).

به این ترتیب پس از بررسی‌های صحرایی اراضی حوضه توسط تیپ‌های پوشش گیاهی، کشاورزی و زمین‌شناسی، گروه‌های هیدرولوژیک در منطقه مورد مطالعه مطابق جدول ۵ تعیین شد.

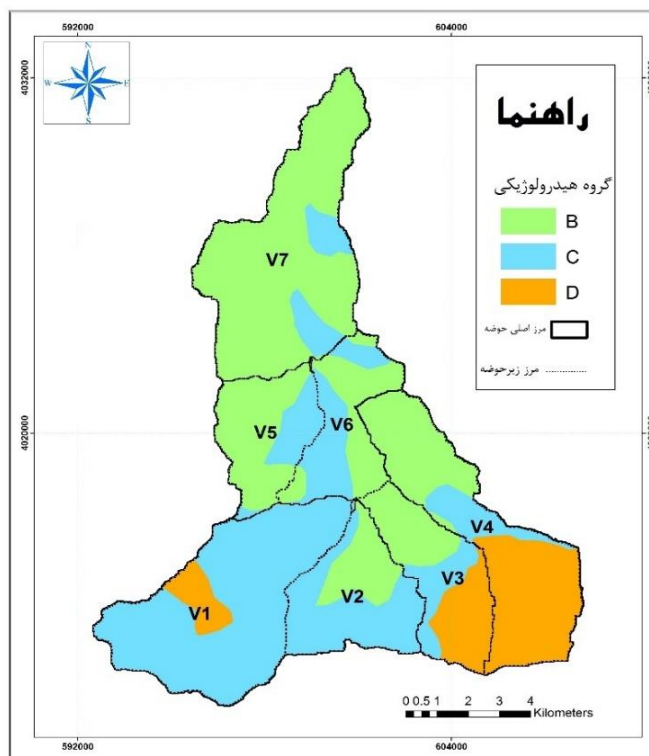
براساس جدول ۵ و شکل ۳، ملاحظه می‌شود که منطقه مورد مطالعه فاقد گروه هیدرولوژیک نوع A است؛ به این معنا که وزن نهایی حاصل از این پارامتر طبق جدول ۲ در اولویت چهارم قرار گرفته و در نهایت حوضه به سمت پتانسیل تولید رواناب بیشتر تمایل دارد. به طوری که قسمت جنوب شرقی و شمالی به ترتیب دارای کمترین و بیشترین مقدار نفوذ و به‌عکس بیشترین و کمترین مقدار

جدول ۴. گروه‌های هیدرولوژیک خاک

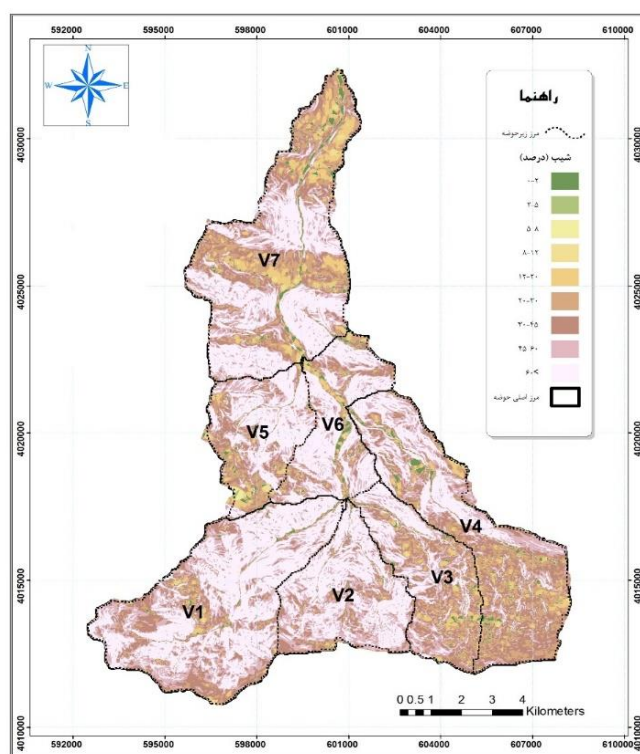
گروه هیدرولوژیک	میزان نفوذ	بافت
A	پتانسیل تولید رواناب کم و نفوذپذیری زیاد	سبک، شنی و عمیق
B	پتانسیل تولید رواناب متوسط و نفوذپذیری متوسط	نسبتاً ریز یا متوسط
C	پتانسیل تولید رواناب نسبتاً زیاد و نفوذپذیری کم	ریز تا نسبتاً ریز
D	پتانسیل تولید رواناب زیاد و نفوذناپذیر	رسی

جدول ۵. مساحت گروه‌های هیدرولوژیک هر یک از واحدهای کاری (کیلومتر مربع)

مجموع	گروه هیدرولوژیکی			واحد کاری
	D	C	B	
۲۹/۴۵	-	۰	۲۹/۴۵	V1
۱۴/۵۱	-	۴/۷۱	۹/۷۹	V2
۱۳/۵۵	-	۵	۸/۵۴	V3
۲۳/۴۴	-	۸/۳۶	۱۵/۰۸	V4
۱۱/۹۵	-	۵/۶۹	۶/۲۶	V5
۱۲/۳۰	۱/۱۲	۵/۹۴	۵/۲۴	V6
۳۲/۱۱	۳/۵۲	۱۴/۴۲	۱۴/۱۷	V7
۱۳۷/۳	۴/۶۳	۴۴/۱۲	۸۸/۵۴	مجموع



شکل ۳. نقشه گروه‌های هیدرولوژیک حوضه وازرود

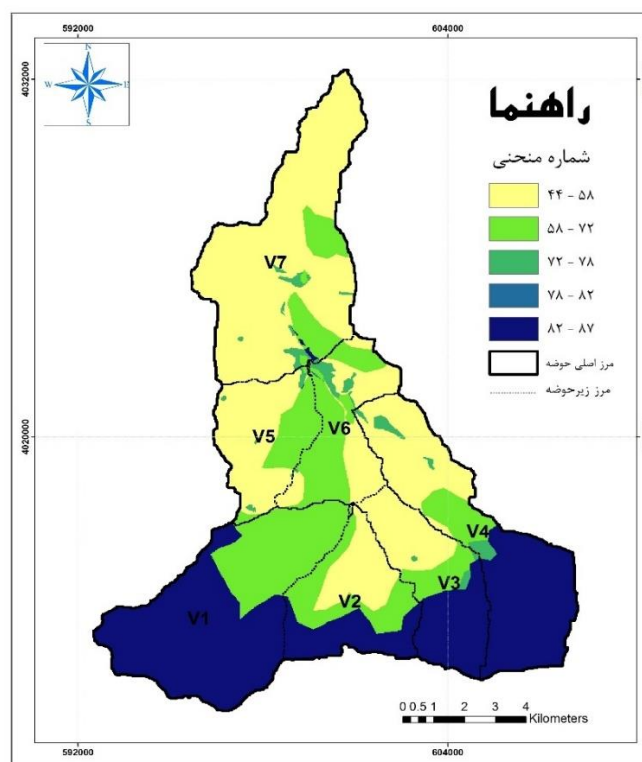


شکل ۴. نقشه درصد شیب حوضه وازرود

*** معیار شماره منحنی**

این پارامتر که بیانگر چگونگی نفوذ بارش یا چگونگی تبدیل به رواناب سطحی است، مقدار زیاد آن به معنای رواناب بیشتر و نفوذ کمتر است، در حالی که شماره منحنی کم، به معنای رواناب کمتر و نفوذ بیشتر است [۲۸]. به این منظور با توجه به لایه‌های گروه‌های هیدرولوژیکی و کاربری اراضی، و حداکثر بارش ۲۴ ساعته، نسبت به تهیه لایه شماره منحنی (شکل ۵)

حوضه اقدام شد. براساس جدول ۲ ملاحظه می‌شود که این پارامتر پس از وزن‌دهی براساس مدل ANP در اولویت اول قرار گرفت و بیشترین تأثیر را بر خطر سیل دارد یا با بیشترین وزن ارزیابی شد. نتایج به‌دست‌آمده برای مقادیر CN (میانگین وزنی CN) براساس شکل ۵ در شرایط متوسط ارائه شدند. این مقادیر CN برای هر یک از واحدهای کاری در شرایط رطوبتی مختلف محاسبه شده است.

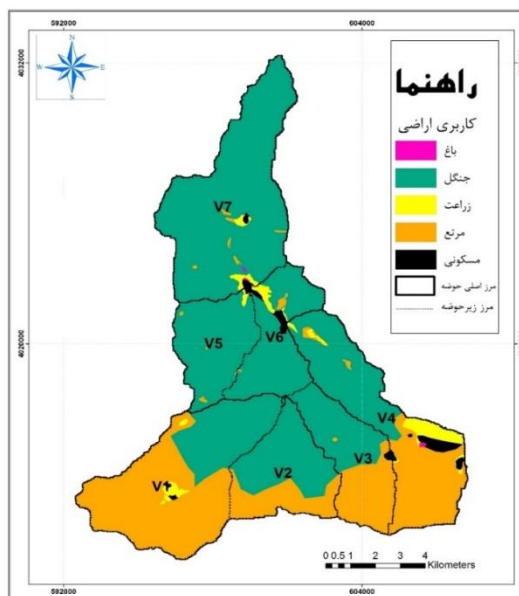


شکل ۵. نقشه شماره منحنی (CN) حوضه وازرود

*** معیار کاربری اراضی**

علاوه بر عواملی که مورد توجه بسیاری از دانشمندان بوده و اغلب به وزن زیاد و بالاتری نسبت داده می‌شوند مانند شیب، بارندگی و غیره، کاربری اراضی نیز به عنوان عامل اصلی تشکیل سیلاب ارزیابی می‌شود. از طرفی دیگر، وضعیت هیدرولوژیک بیانگر توان ایجاد رواناب در یک منطقه بوده و چنانچه این توان کم باشد، شرایط هیدرولوژیک خوب است. بنابراین کاربری اراضی و وضعیت بهره‌وری از زمین، تأثیر مستقیمی بر وضعیت هیدرولوژیک منطقه دارد و یکی از پارامترهای مهم در تعیین شماره منحنی است. همان‌طور که گفته شد با

توجه به تأثیرگذاری هم‌زمان کاربری اراضی و شرایط هیدرولوژیکی براساس جدول ۲، این دو پارامتر (کاربری و گروه هیدرولوژیکی) از یک اولویت یکسان در خطر سیل خیزی منطقه برخوردارند و هر دو دارای وزن ۰/۹۸ به واسطه خروجی مدل ANP هستند. همچنین نتایج نشان می‌دهد کاربری اراضی وابسته به شرایط جغرافیایی فیزیکی منطقه تحقیقاتی با درجه‌ای از تأثیر از زیاد تا متوسط در نوسان است و یا حتی با وزن متوسط تأثیر تخصیص می‌یابد. شکل ۶ لایه کاربری اراضی در حوضه وازرود را نشان می‌دهد.

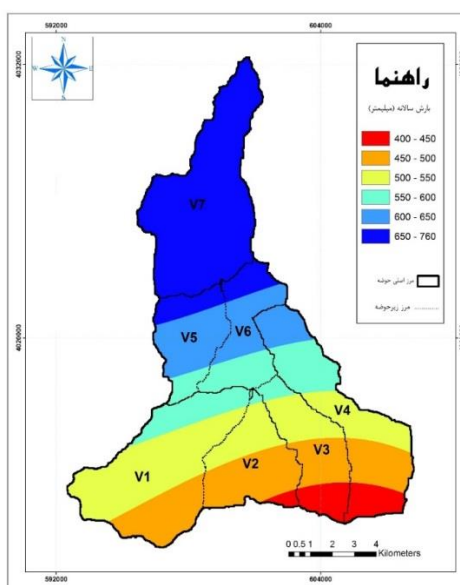


شکل ۶. نقشه کاربری اراضی حوضه وازرود

*** معیار بارندگی**

میزان و شدت بارندگی دو پارامتر مرتبط با خصوصیات هواشناسی هستند. بارندگی عاملی محرک در تولید سیل است و در صورت عدم این عامل، سیل ایجاد نمی‌شود؛ به این معنا که سیل که با میزان بارندگی شدید همراه است پس از بارندگی شدید زمانی رخ می‌دهد که آبراهه‌های طبیعی نتوانند آب اضافی را حمل کنند [۲۹]، به طوری که بارندگی یکی از علل اولیه ایجاد خطر سیل است. به بیان دیگر، بارندگی از رایج‌ترین عواملی است که بسیاری از

محققان در ارزیابی پهنه‌بندی خطر سیل با روش ANP در نظر می‌گیرند. نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد این عامل در اولویت سوم خطر سیل‌خیزی در منطقه مورد مطالعه قرار دارد. متوسط بارندگی در زیرحوضه‌ها با استفاده از آمار بارندگی ایستگاه‌های چمستان و بلده (ایستگاه‌های کمکی رزن، عالم کلا، لایوچ، فیروزکلا، رینه، کرسنگ و پنجاب) با روش IDW در فضای GIS محاسبه و مورد ارزیابی قرار گرفت. شکل ۷ نقشه پهنه‌بندی عامل بارندگی را در حوضه آبخیز وازرود نشان می‌دهد.



شکل ۷. نقشه پهنه‌بندی بارندگی حوضه وازرود

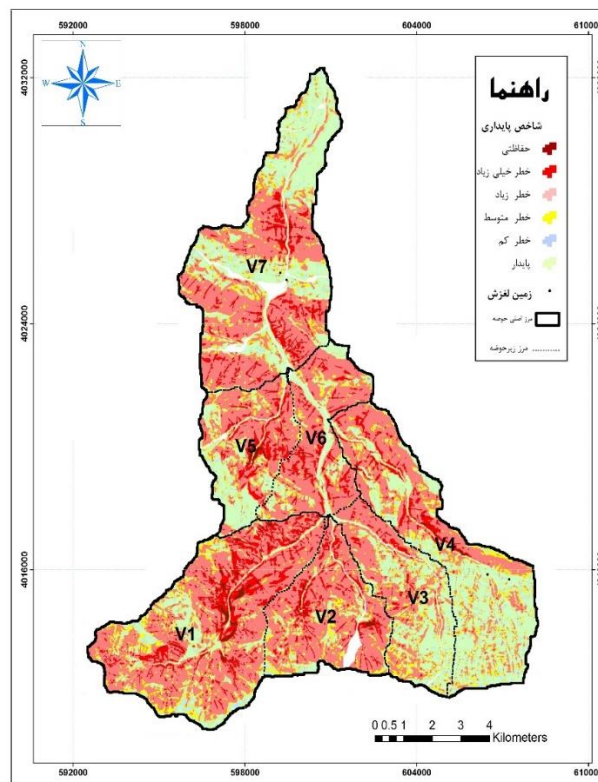
*** عامل پایداری**

وزن‌دهی در مدل ANP) را تأیید می‌کند، چراکه پارامتر ناپایداری به‌تنهایی فاقد اثرگذاری بر خطر سیل بوده و شیب به عنوان یکی از عامل مهم در ناپایداری ذکر شده است. طبقات پایداری در منطقه مورد مطالعه در طبقات پُرخطر با بازه میانگین فاکتور اطمینان ۰/۹۳ - ۱/۴۲ مدل‌سازی شده‌اند که در صورت ادامه این روند با تأمین رطوبت در زمان‌های پُر باران، مقدمات فعال شدن سیل خیزی را فراهم می‌کنند. شکل ۸، نقشه پایداری دامنه حوضه وازرود را نشان می‌دهد.

مقادیر شاخص پایداری زیرحوضه‌های وازرود در جدول ۶ نشان داده شده است. با توجه به این جدول، زیرحوضه‌های V1 و V2 در مدل‌سازی پایداری دامنه به عنوان یکی از پارامترهای خطر سیل خیزی، با میزان میانگین فاکتور اطمینان ۰/۹۳ و زیرحوضه V6 با میانگین ۱/۱۳ کمترین میزان فاکتور اطمینان را داشته و بیشترین پتانسیل را در وقوع ناپایداری دارند. علت این امر بیشتر وجود دامنه‌های پُرشیب و سازندهای مستعد بارندگی است. این موضوع، نتایج جدول ۲ (پارامتر پایداری در اولویت آخر طبق

جدول ۶. مقادیر شاخص پایداری در زیرحوضه وازرود

ردیف	واحد کاری	میانگین	انحراف از معیار
۱	V1	۰/۹۳	۰/۶۸
۲	V2	۰/۹۳	۱/۵۶
۳	V3	۱/۳۸	۱/۰۵
۴	V4	۱/۴۴	۱/۱۰
۵	V5	۱/۲۲	۱/۱۶
۶	V6	۱/۱۳	۱/۱۰
۷	V7	۱/۳۱	۱/۰۶



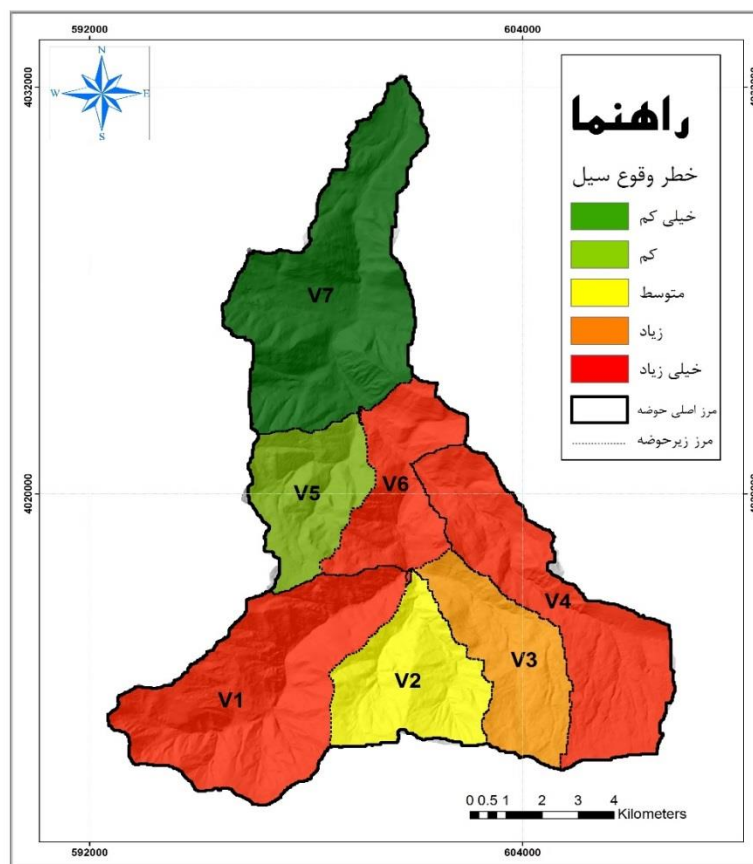
شکل ۸. نقشه پایداری حوضه وازرود

می‌توان بیان داشت که زیرحوضه‌های V4 و V6 و V1 تقریباً با ۶۵/۲ کیلومترمربع از سطح حوضه آبخیز مورد مطالعه، در کلاس خطر سیلاب خیلی زیاد قرار گرفته‌اند که حدود ۴۷/۵۲ درصد کل مساحت آبخیز را در بر می‌گیرد. یعنی حدود نیمی از سطح حوضه آبخیز وازرود دارای کلاس خطر خیلی زیاد است. سهم هر یک از کلاس‌های خطر در هر یک از زیرحوضه‌های وازرود در جدول ۷ ارائه شده است.

لایه نهایی حاصل از ترکیب و روی هم‌گذاری هر یک از لایه‌های شش‌گانه با استفاده از مدل ANP و GIS، بیانگر پتانسیل خطر سیلاب در سطح حوضه آبخیز وازرود است. در نهایت با توجه جدول ۷ و شکل ۹، پنج کلاس خطر سیلاب خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تحت عنوان نقشه پهنه‌بندی سیل منطقه مورد مطالعه طبقه‌بندی شد. با توجه به نقشه پهنه‌بندی خطر سیل حوضه آبخیز وازرود

جدول ۷. درصد مساحت کلاس‌های سیل خیزی در هر یک از زیرحوضه‌های وازرود

ردیف	واحد کاری	درصد مساحت	کلاس سیل خیزی
۱	V1	۲۱/۵	خیلی زیاد
۲	V2	۱۰/۵۶	متوسط
۳	V3	۹/۸۳	زیاد
۴	V4	۱۷/۰۵	خیلی زیاد
۵	V5	۸/۶۷	کم
۶	V6	۸/۹۶	خیلی زیاد
۷	V7	۲۳/۳۹	خیلی کم



شکل ۹. نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر سیل در حوضه وازرود

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش پهنه‌بندی نهایی خطر وقوع سیل در حوضه آبخیز وازرود با استفاده از ۶ معیار شیب، گروه هیدرولوژیکی خاک، کاربری اراضی، شماره منحنی (CN)، بارندگی و پایداری براساس دخالت وزن‌ها یا ارزش‌های نهایی هر یک از معیارهای اصلی و همچنین زیرمعیارها انجام شد. ارزیابی عملکرد معیارهای مؤثر بر خطر سیل خیزی مبتنی بر فرایند تحلیل شبکه‌ای و GIS در حوضه وازرود استان مازندران نشان داد فرایند ANP در پهنه‌بندی خطر سیل در حوضه آبخیز مورد مطالعه عملکرد خوبی دارد. روش ANP اجازه می‌دهد تا روابط پیچیده‌تری بین سطوح و ویژگی‌های تصمیم‌گیری مورد ارزیابی قرار گیرد، زیرا سطوح به ساختار سلسله‌مراتبی دقیقی نیاز ندارند. به دلیل ویژگی‌های وابستگی متقابلی که در مخاطرات طبیعی مانند سیل وجود دارد، در نظر گرفتن روابط متقابل بین معیارها در تصمیم‌گیری نیز مهم است (علیلو و همکاران [۲۲]). تحلیل وزن‌های نهایی براساس فرایند ANP و نرم‌افزار Decisions Super نشان می‌دهد در رابطه با خطر وقوع سیل، عامل شماره منحنی (تحت تأثیر عامل رواناب) با مقدار ۱/۴۲ و عامل شیب نیز با مقدار ۱/۰۰، با توجه به کنترل زیادی که بر میزان و چگونگی تخلیه رواناب از سطح حوضه دارند، در تطابق با یافته‌های خیری‌زاده و همکاران [۲۶]، دانش‌پور و همکاران [۳۰]، خلیل [۳۱] و ذرتی‌پور و همکاران [۳۲] از بیشترین میزان اهمیت و تأثیر برخوردار هستند و به‌عکس، عامل پایداری با مقدار ۰/۹۷ دارای کمترین اهمیت هستند. در واقع می‌توان گفت که خطر وقوع سیل در حوضه مورد مطالعه تا حد زیادی وابسته به شرایط فیزیکی حوضه است. حتی ارتفاع روانابی که یک بارش مشخص تولید می‌کند، تا حد زیادی متأثر از ویژگی‌های فیزیکی حوضه است. از این‌رو با اینکه کنترل عوامل اقلیمی منطقه، مانند شدت، مدت و نوع بارش، امکان‌پذیر نیست؛ ولی با انجام اقداماتی در محدوده حوضه آبریز (به‌ویژه در پهنه‌های با خطر بالای وقوع سیل) مانند کاهش شیب به صورت پلکانی در قسمت‌های مختلف حوضه، ساماندهی بستر آبراهه اصلی، آبخیزداری و مانند آن (تقویت پوشش گیاهی)، می‌توان خطرات وقوع سیل را به حداقل رساند.

در پهنه‌های در معرض خطر وقوع سیل حوضه آبخیز وازرود بر حسب درصد، حدود ۴۸ و ۱۰ درصد از سطح حوضه به ترتیب در خطر وقوع سیلاب خیلی زیاد و زیاد است که بیشتر در قسمت‌هایی از بالادست حوضه تا بخش‌هایی از مرکز حوضه را شامل می‌شود. این علت را با توجه به نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیل حوضه (شکل ۷)، می‌توان در نوع کاربری منطقه جست‌وجو کرد که به استثنای قسمت‌های پایین‌دست حوضه که دارای پوشش جنگلی است (۶۶/۴۷ درصد از سطح حوضه)، بخش اعظم بالادست منطقه دارای پوشش مرتعی (حدود ۳۰ درصد) ضعیف نسبت به پوشش جنگلی است و در نتیجه خطر وقوع سیل افزایش می‌یابد. همچنین شماره منحنی در بالادست حوضه دارای مقادیر بالایی است، در نتیجه برای یک بارش با مقدار مشخص، ارتفاع رواناب در این قسمت از حوضه به حداکثر مقدار خود خواهد رسید. مردم محلی منطقه با چرای بیش از حد دام‌های خود در این مراتع، سبب نابودی پوشش گیاهی شده و به روند رخداد سیل بعد از وقوع بارش‌های سیل آسا سرعت می‌بخشند. در بعضی از بخش‌های مرکزی (در واحدهای ۷۴ و ۷۶) که اراضی زراعی اندکی (۲/۳۵ درصد) قرار دارند نیز کشاورزان با شخم زدن نامناسب زمین، سبب کاهش زمان نفوذ آب به زمین شده و منجر به وقوع سیل می‌شوند که این نتایج نیز در تطبیق با یافته مختاری و همکاران [۳۳] است. در واقع قسمت جنوب شرقی و جنوب غربی تا بخش‌هایی از قسمت مرکزی حوضه با توجه به دریافت بارش قابل قبول و نیز تراکم کم پوشش و جنس سازند (شمشک و الیکا) امکان خطر وقوع سیل را دارند. بخش‌هایی از پهنه مرکزی و پهنه شمالی یا نواحی پایین‌دست حوضه نیز به دلیل پوشش جنگلی مناسب و نیز قابلیت نفوذپذیری زیاد و با خاک آبرفتی متشکل از زمین‌های کشاورزی، در تطبیق با یافته‌های مختاری و همکاران [۳۳] کمترین احتمال خطر وقوع سیل را دارند. بنابراین، حدود نیمی از مساحت منطقه (۴۷/۵۲ درصد) با حساسیت خیلی زیاد پتانسیل ایجاد رواناب را برای وقوع سیل دارند و با توجه ارتفاع زیاد و خوش‌نشینی احتمالی منطقه طی سال‌های آتی، مدیران و برنامه‌ریزان منطقه باید با تمهیدات لازم از جمله خودداری از ساخت‌وساز در این مناطق و استفاده از طرح‌های کاربری اراضی و ایجاد پوشش گیاهی مصنوعی،

- Kota Tinggi Region). Journal of river engineering. 2013; x1 (1): 33–38.
- [8]. Marchesini I, Rossi M, Salvati P, Donnini M, Sterlacchini D, Guzzetti F. Delineating flood prone areas using a statistical approach, PeerJ Preprints. 2016; 4: e1937v2.
- [9]. Tehrany M.S, Pradhan B, Jebur M.N. Spatial prediction of flood susceptible areas using rule based, decision tree (DT) and a novel ensemble bivariate and multivariate statistical models in GIS. Journal of Hydrology. 2013; 504: 69–70.
- [10]. Generino PS, Sony E.V, Proceso L.F. Analytic hierarchy process (AHP) in spatial modeling for floodplain risk assessment. International Journal of Machine Learning Computer. 2014; 4 (5): 450–457. <https://doi.org/10.7763/IJMLC.2014.V4.453>.
- [11]. Tang Zh, Zhang H, Yi Sh, Xiao Y. Assessment of flood susceptible areas using spatially explicit, probabilistic multi-criteria decision analysis. Journal of Hydrology. 2018; 558: 144-158.
- [12]. Gigović L, Pamučar D, Bajić Z, Drobnjak S. Application of GIS-Interval Rough AHP Methodology for Flood Hazard Mapping in Urban Areas. Water. 2017; 9 (6): pp. 1-26. <https://doi.org/10.3390/w9060360>.
- [13]. Singha C, Swain K.C, Meliho M, Abdo H.G, Almohamad H, Al-Mutiry M. Spatial Analysis of Flood Hazard Zoning Map Using Novel Hybrid Machine Learning Technique in Assam, India. Remote Sensing. 2022; 14 (24): 6229. <https://doi.org/10.3390/rs14246229>.
- [14]. Jalaliyan S.I. Evaluating and zoning flooding on a temporal and spatial scale (Study Area: Gorgan River Watershed in Golestan Province). Geographical Planning of Space Quarterly Journal. 2022; 11 (42): 143-162. [Persian].
- [15]. Soleimani K. Final report of flood risk zoning project of Mazandaran province (case study: Vazroud basin). Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. 2019; 242. [Persian].
- [16]. Alipour A, Mahdavi M. Analyzing the role of local society's environmental understanding played in natural resources operation in the watersheds of the North of Iran. (case study: Vazroud watershed– Noor). Quarterly Geographical Journal of Territory. 2008; 5 (17): 13-26. [Persian].
- [17]. Pack R.T, Tarboton D.G, Goodwin C.N. Terrain stability mapping with SINMAP, technical description and users guide for version 1.00, 4114–0, Terratech Consulting Ltd, Salmon Arm. British Columbia.

از خطر وقوع سیل در این مناطق جلوگیری کنند یا آن را کاهش دهند. بنابراین، یافته‌های تحقیق در تطابق با یاریان و همکاران [۲۱] و خسروی و همکاران [۳۴] نیز بر اهمیت بالای شیب و ارتفاع رواناب در وقوع سیل تأکید دارد که می‌تواند وزن‌های محاسبه‌شده برای این عوامل را در مطالعه ما تأیید کند.

قدردانی

این مقاله مستخرج از بخشی از یک طرح تحقیقاتی با حمایت اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مازندران- منطقه ساری و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری است. لازم می‌دانیم تا مراتب قدردانی خود را از این حمایت‌ها اعلام کنیم.

منابع

- [1]. WHO (World Health Organization). Floods. 2017. Available online: <https://www.who.int/health-topics/floods> (accessed on 13 January 2022).
- [2]. UNISDR (United Nations Office for Disaster Risk Reduction). Economic 1998-2017 Losses, Poverty & DISASTERS. 2017; 1-30. Available online: www.unisdr.org (accessed on 21 January 2022).
- [3]. Ghazanfarpor H, Sedaghat- Kish M, Soleimani Damaneh M, Sabahi-Goraghani Y. On the Evaluation of the Reaction of Urban Managers Facing Flood as an Environmental Hazard with Emphasis on Resiliency (Case Study: Jiroft City). Geography and Sustainability of Environment. 2019; 30: 107-127. [Persian].
- [4]. Loan TKH, Umitsu M. Micro-landform classification and flood hazard assessment of the Thu Bon alluvial plain, central Vietnam via an integrated method utilizing remotely sensed data. Applied Geography. 2011; 31: 1082–1093.
- [5]. Uddin K, Gurung D.R, Giriraj A, Shrestha B. Application of remote sensing and GIS for flood hazard management: a case study from Sindh Province, Pakistan. American Journal of Geographic Information System. 2012; 2 (1): 1–5.
- [6]. Gholami V, Asghari A, Salimi E.T. Flood hazard zoning using geographic information system (GIS) an HEC-RAS model. Caspian Journal of Environmental Sciences. 2016; 14 (3): 263–272.
- [7]. Shahriparsa A, Heydare M, Sadeghian M.S, Moharrampour M. Flood zoning simulation by HEC-RAS Model (Case Study: Johor River-

- [18]. Hammond C, Hall D, Miller S, Swetik, P. Level I stability analysis (LISA) documentation for version 2.0. General technical report INT-285. 1992; p. 36.
- [19]. Ghorbanzadeh O, Feizizadeh B, Blaschke T. Multi-criteria risk evaluation by integrating an analytical network process approach into GIS-based sensitivity and uncertainty analyses. *Geomatics Natural Hazards Risk*. 2018b; 9 (1): 127–151.
- [20]. Mitroulis D, Kitsios F. MCDA for assessing the impact of digital transformation on hotel performance in Thessaloniki. *Proceedings of the 8th International Symposium & 30th National Conference on Operational Research*; Patras, Greece. 2019; 53–57.
- [21]. Yariyan P, Karami M.R., Abbaspour R.A. Exploitation of MCDA to Learn the Radial Base Neural Network (RBFNN) aim physical and social vulnerability analysis versus the earthquake (case study: Sanandaj City, Iran). *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Volume XLII-4/W18 1071–1078. *GeoSpatial Conference – Joint Conferences of SMPR and GI Research 12–14 October*, Karaj, Iran. 2019; 8 pp.
- [22]. Alilou H, Rahmati O, Singh VP, Choubin B, Pradhan B, Keesstra S. Evaluation of watershed health using Fuzzy-ANP approach considering geo-environmental and topo-hydrological criteria. *Journal of Environment Management*. 2019; 232: 22–36.
- [23]. Peng K.H, Tzeng G.H. Exploring heritage tourism performance improvement for making sustainable development strategies using the hybrid-modified MADM model. *Current Issues in Tourism*. 2019; 22 (8): 921–947.
- [24]. Saaty T.L. Decision making—the analytic hierarchy and network processes (AHP/ANP). *Journal of Systems Science and Systems Engineering*. 2004; 13 (1): 1–35.
- [25]. Alizadeh M, Ngah I, Hashim M, Pradhan B, Pour A.B. A hybrid analytic network process and artificial neural network (ANP-ANN) model for urban earthquake vulnerability assessment. *Remote Sensing*. 2018; 10 (6): 1-34. doi:10.3390/rs10060975.
- [26]. Khayrizadeh M, Maleki J, Amunia H. Potential flood hazard zoning in Mardeghai catchment using model ANP. *Quantitative Geomorphology Research*. 2018; 1 (3): 39-56. [Persian].
- [27]. Pradhan B. Flood susceptible mapping and risk area delineation using logistic regression, GIS and remote sensing. *Journal of Spatial Hydrology*. 2010; 9 (2): 9–18.
- [28]. Zhan X, Huang M. L. Arc CN-Runoff: an ArcGIS Tool for Generating Curve Number and Runoff Maps. *Environmental Modelling & Software*. 2004; 19 (10): 875–879.
- [29]. Ouma Y.O, Tateishi R. Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: methodological overview and case study assessment. *Water*. 2014; 6: 1515–1545.
- [30]. Daneshparvar B, Rasi Nezami S, Feizi A, Aghlmand R. Comparison of results of flood hazard zoning using AHP and ANP methods in GIS environment: A case study in Ardabil province, Iran. *Journal of Applied Research in Water and Wastewater*. 2021; 9 (1): 1-7.
- [31]. Khalil R. Flood Risk Code Mapping Using Multi Criteria Assessment. *Journal of Geographic Information*. 2018; 10: 686-698. doi: 10.4236/jgis.2018.106035.
- [32]. Zoratipour A, Cheraghi M. Combined Application of Multi-Criteria Decision Making Methods and Remote Sensing Systems for Flood Cellular Zoning of Abolabbas River Basin in Khuzestan Province. *Irrigation Sciences and Engineering (JISE)*. 2022; 44 (4): 109-122. [Persian].
- [33]. Mokhtari D, Rezaei Moghaddam M.H, Rahimpour T, Moazzez S. Preparing the Risk Map of Flood Occurrence in the Ghomnab Chai Basin Using ANP Model and GIS Technique. *Journal of Echo Hydrology*. 2020; 7 (2): 497-509. [Persian].
- [34]. Khosravi K, Shahabi H, Pham BT, Adamowski J, Shirzadi A, Pradhan B, Dou J, Ly H-B, Gr_of G, Ho HL, et al. A comparative assessment of flood susceptibility modeling using multi-criteria decision-making analysis and machine learning methods. *Journal of Hydrology*. 2019; 573: 311–323.