

اثر ژئومتری بر رده‌بندی منشأ جریان سیلابی در حوضه جنگلی ناپلارود استان مازندران

کریم سلیمانی*

استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(تاریخ دریافت ۱۳۹۹/۱۰/۰۳، تاریخ تصویب ۱۴۰۰/۰۲/۲۲)

چکیده

نبود مطالعات در حوضه‌های جنگلی به دلیل موجود نبودن ایستگاه‌های هیدرومتری، همواره برنامه‌ریزان را با مشکلات زیادی مواجه می‌سازد. حوضه آبخیز ناپلارود که جریان دائمی طی سال دارد و در پایین‌دست خود نیز روستاهای زیادی را در بر می‌گیرد، می‌تواند در آینده با برنامه‌ریزی اصولی و علمی زمینه‌ساز توسعه منطقه باشد. در پژوهش حاضر سعی شده است با تحلیل هندسی حوضه آبخیز ناپلارود بتوان برخی از ویژگی‌های مهم آن را استخراج کرد. در تحقیق حاضر از ۱۲ عامل فیزیوگرافی مؤثر بر منشأ جریان سیلابی استفاده شد. این عوامل شامل شیب بستر آبراهه، ضریب گردی، ضریب فشردگی، ضریب شکل، ضریب کشیدگی، طول مستطیل معادل، عرض مستطیل معادل، درصد شیب وزنی حوضه، جهت جغرافیایی، نسبت انشعاب، تراکم زهکشی و زمان تمرکز می‌شوند. به منظور تعیین منشأ جریان سیلابی، تمامی عوامل مؤثر نرخ‌گذاری و وزن‌دهی شدند. سپس، با استفاده از روش آنالیز حساسیت تک‌متغیره به اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر منشأ جریان سیلابی اقدام شد. با توجه نتایج آنالیز حساسیت سه عامل شیب بستر آبراهه، درصد شیب حوضه و تراکم زهکشی با وزن‌های ۷/۴۲، ۶/۷۲ و ۶/۶۴ به عنوان سه عامل مهم در منشأ جریان سیلابی تعیین شدند. از بین عوامل مؤثر نیز سه عامل تراکم زهکشی، عرض مستطیل معادل و نسبت انشعاب نیز دارای وزن بهینه بیشتری نسبت به وزن اولیه اختصاص یافته به آنها بودند که نشان‌دهنده اهمیت این ۳ عامل در منشأ جریان سیلابی در حوضه‌های جنگلی است.

کلیدواژگان: تراکم زهکشی، خطر سیل، زمان تمرکز، ژئومتری، فیزیوگرافی.

مقدمه

حوضه‌های جنگلی با داشتن پوشش گیاهی مناسب، رفتار هیدرولوژیک متفاوتی نسبت به دیگر حوضه‌ها دارند. تولید رسوب به میزان درخور توجهی در این حوضه‌ها کم است و جریان‌های سطحی فرصت کافی و مناسب برای نفوذ دارند. طی سال‌های اخیر به دلیل تخریب پوشش جنگلی و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع شن و ماسه منجر به تغییرات زیادی در سطح حوضه شده و در پایین‌دست منجر به مشکلاتی شده است. از آغاز قرن بیستم روش‌های مورفومتری برای تجزیه و تحلیل روابط ارتفاع سطح حوضه شیب و ویژگی‌های دیگر آبخیز به کار گرفته شد، اما کاربرد روش‌های آماری برای آنالیز ویژگی‌های زهکشی حوضه به منظور شناسایی و اندازه‌گیری شکل حوضه بعد از انتشار نتایج یافته‌ها از تحقیقات هورتون به سال ۱۹۴۵ آغاز شد. تجزیه و تحلیل مورفومتری از یک حوضه آبخیز می‌تواند شاخص‌های کمی حوضه مانند سیستم زهکشی را ارائه دهد که به‌عنوان یکی از جنبه‌های بسیار مهم در تجزیه و تحلیل رفتاری حوضه آبخیز در عرضه رواناب و رسوب به حساب می‌آید [۱]. در آنالیز مورفومتری یک حوضه می‌توان با روش‌های اندازه‌گیری و استفاده از مدل‌های ریاضی، سطح حوضه را شناسایی کرد و در پی آن، شکل هندسی و ابعاد لندفرم‌ها را به دست آورد [۲-۴]. مطالعه مورفومتری می‌تواند در رابطه با روند تکاملی عوامل جریان با استفاده از اندازه‌گیری پارامترهای متفاوت آبراهه‌ها باشد [۵-۷]. بررسی‌های جامع از کاربری اراضی و تغییرات مربوط پوشش سطح زمین می‌تواند گویای آثار اجتماعی و محیطی در حوضه‌های جنگلی باشد که در این رابطه تکنیک‌های سنجش از دور و GIS قابلیت اخذ نتایج مطلوب را از گذشته تا کنون دارند [۸]. استفاده از فناوری سنجش از دور و GIS قادر است بیشترین دقت یافته‌ها را با عملیات میدانی و کنترل زمینی برای اندازه‌گیری شکل حوضه‌های آبخیز و پهنه‌بندی خطر سیل به همراه داشته باشد [۹-۱۲]. به‌ویژه برای حوضه‌های صعب‌العبور و با مساحت زیاد که علاوه بر آن هزینه مطالعات را به شکل چشمگیری کاهش می‌دهد [۱۳-۱۶]. تشریح شبکه زهکشی در یک حوضه توسط هورتون توانست بسیاری از پارامترهای کیفی را به داده‌های عددی برای تحلیل کمی آنها تبدیل کند [۲]. این موضوع توسط لانگبین [۱۷] تکمیل شد و بعدها توسط استرالر

[۱۸]، میلر [۱۹]، لیوپولد و میلر [۲۰]، شیوم [۲۱] موريساوا [۲۲]، شرو [۲۳]، دورکمپ [۲۴]، گرگوری و والینگ [۲۵]، گرادینر [۲۶]، و سلیمانی [۹ و ۱۰] توسعه یافت و به کار گرفته شد.

Strahler (۱۹۵۲) سیستم زهکشی حوضه را رده‌بندی کرد که بر اساس آن توانست اهمیت و نقش شبکه زهکشی و رده‌های مختلف آبراهه‌ها را در یک حوضه زهکشی نشان دهد. پژوهشگرانی مانند میلر [۱۹]، لانگبین [۱۷] لیوپولد و میلر [۲۰]، شیوم [۲۱] توانستند به این منظور شرایط توسعه و تکمیل مدل‌های کمی در تحلیل هندسی حوضه‌های آبخیز را فراهم کنند تا از آن طریق بتوان به تخمین بهتری از دبی جریان و رسوب در حوضه‌های آبخیز دست یافت. پژوهشگرانی مانند ردی [۲۷]، توماس [۲۸]، ماگش [۲۹]، کالیرج [۳۰]، بانرجی [۳۱]، ری [۳۲]، بابو [۳۳]، الروویلی [۳۴] در مطالعات اخیر خود کاربردهای زیاد تحلیل هندسی حوضه‌های آبخیز را نشان دادند. از جمله ویژگی‌های شکل سطح حوضه، ارزیابی‌های محیطی، ارزیابی و مدیریت منابع در حوضه آبخیز و همچنین، کمک به حفاظت آب و خاک را می‌توان برشمرد. در ایران نیز سلیمانی با استفاده از داده‌های نقشه‌های توپوگرافی، برخی از ویژگی‌های هندسی حوضه از جمله مستطیل معادل، مثلث معادل و زمان تمرکز را به دست آورد که این یافته‌ها برای مدیریت حوضه اهمیت زیادی دارند [۹]. علاوه بر ویژگی‌های هندسی، در مطالعاتی که روی سیلاب اخیر گلستان و خوزستان توسط سلیمانی و همکاران [۳۵ و ۳۶] انجام گرفته است، با استفاده از داده‌های سنجش از دور به ارزیابی سیل پرداخته شد. بومری و همکاران [۳۷] پهنه‌های سیلابی و ویژگی‌های فیزیوگرافی و کمی حوضه را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور شناسایی کردند. در تحقیق یادشده برای تعیین و مشخص کردن خصوصیات حوضه آبریز دامن‌مانند تعداد زیرحوضه‌ها و نوع آنها، مساحت و محیط، شکل، شیب و زمان تمرکز ضمن بهره‌گیری از روشی نوین، با استفاده از توابع تحلیلی GIS و مدل رقومی ارتفاع (DEM) به مقایسه آن با روش‌های سنتی پرداخته شده است. نتایج تحقیق یادشده گویای این واقعیت است که بهره‌گیری خصوصیات فیزیوگرافی برای مناطقی که آمار و اطلاعات کافی در خصوص پدیده سیل ندارند، بسیار مفید است و می‌توان پهنه‌های آسیب‌پذیر از سیل را شناسایی و طبقه‌بندی کرد. بینش و سارنگ [۳۸] تأثیر مشخصات

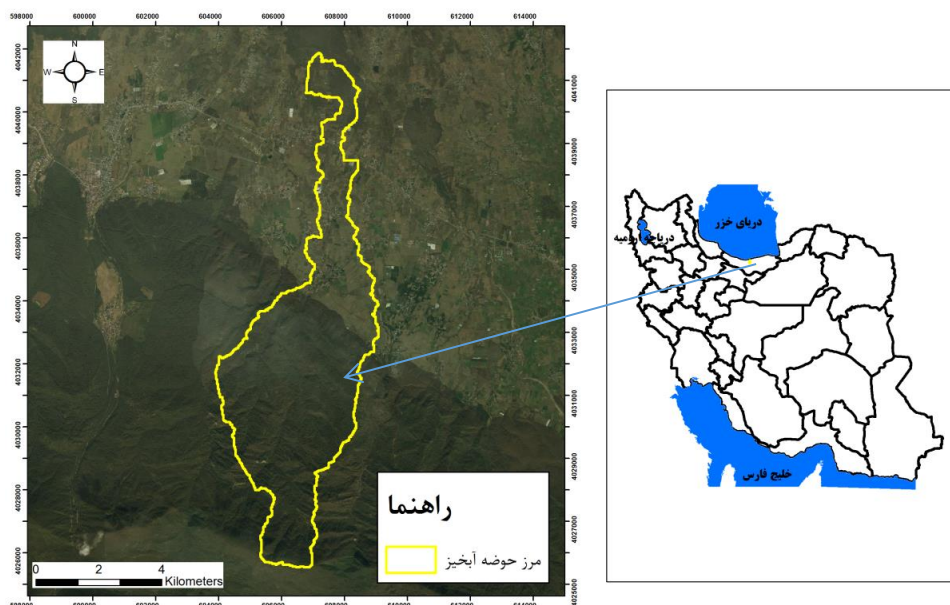
فیزیوگرافی حوضه در شکل هیدروگراف سیل را بررسی کرده و سه حوضه دماوند، وردیج و کسلیان را با هم مقایسه کردند. در تحقیق یادشده مشخصات فیزیکی سه حوضه دماوند، وردیج و کسلیان، واقع در استان‌های تهران و مازندران که از لحاظ خصوصیات فیزیکی گوناگون هستند، بررسی شده و با برآورد هیدروگراف واحد دوساعته این حوضه‌ها به روش ارائه‌شده توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS)، تأثیر ویژگی‌های فیزیوگرافی حوضه بر شکل هیدروگراف سیل بررسی شد. نتایج پژوهش یادشده نشان می‌دهد حوضه وردیج که شکل فشرده‌تر و شیب متوسط بیشتری نسبت به دو حوضه دیگر دارد، دارای زمان تمرکز کمتر و سرعت تخلیه سیلاب بیشتری است، هر چند در حوضه دماوند به دلیل مساحت بسیار بیشتر نسبت به دو حوضه دیگر، حجم سیلاب بیشتر بوده و در نتیجه، دبی اوج و زمان پایه هیدروگراف واحد، بیشتر است. نصری و نجفی [۳۹] به تعیین روابط ریاضی نسبت تحویل رسوب (SDR) و عوامل حوضه‌ای پرداختند. ارتباط آماری بین تعداد ۳۲ متغیر مختلف فیزیوگرافی، کاربری اراضی و هیدرولوژی اقلیم به‌عنوان متغیرهای مستقل و متغیر SDR به‌عنوان عامل وابسته بررسی شد. نتایج پژوهش یادشده نشان داد از بین عوامل برگزیده ۹ گانه مستقل، عوامل فیزیوگرافی؛ ضریب گردی، مجموع طول آبراهه‌ها، شیب وزنی آبراهه اصلی مهم‌ترین نقش در میزان نسبت تحویل رسوب (SDR) را دارند. نتایج پژوهش یادشده نشان داد مقادیر SDR پیش‌بینی‌شده توسط مدل رگرسیونی به‌دست‌آمده در تحقیق حاضر بیانگر کارایی و دقت قابل قبول مدل و در نتیجه، اطمینان در به‌کارگیری آن دارد. فنواتی و همکاران [۴۰] ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژیک حوضه‌های آبریز کلان‌شهر تهران را با تأکید بر سیل‌خیزی بررسی کردند. نتایج تحقیق آنها نشان می‌دهد به علت تأثیرات خصوصیات فیزیوگرافیک حوضه‌های شمالی کلان‌شهر تهران، از جمله شکل حوضه‌ها، مساحت و طول کم آبراهه‌های اصلی، وجود اختلاف ارتفاع و شیب زیاد شمالی-جنوبی، فاصله کم بین حوضه دریافت و بخش خروجی حوضه‌ها و کوتاهی زمان تمرکز و مداخلات انسانی، رواناب‌های حاصل از بارندگی در مدت‌زمان اندک وارد پیکره شهری می‌شود. نیروی و همکاران [۴۱] میزان پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز استان کردستان را با به‌کارگیری شاخص‌های مورفومتری و تحلیل‌های آماری ارزیابی کردند. طی پژوهش یادشده ابتدا

آبراهه‌ها بر اساس روش استراهلر طبقه‌بندی شد. سپس، ۱۲ پارامتر شاخص در ارتباط با سیل‌خیزی شامل طول حوضه، تراکم زهکشی، نسبت انشعاب، فراوانی آبراهه‌ها، طول جریان سطحی، ضریب فرم حوضه، شکل حوضه، ضریب کشیدگی، ضریب گردی، ضریب فشردگی، نسبت بافت و مساحت برای تمام حوضه‌ها محاسبه شد. نتایج پژوهش یادشده نشان داد حوضه‌های آبخیز مطالعه‌شده بر اساس پارامترهای مطالعه‌شده در دو خوشه قرار می‌گیرند. همچنین، مجموع برآوردها و تحلیل‌های آماری نشان‌دهنده پتانسیل سیل‌خیزی بیشتر حوضه‌های شرقی با وجود بارندگی بیشتر حوضه‌های غربی بود که دلیل بارز آن، از شرایط توپوگرافی، پوشش گیاهی و لیتولوژیک خاص حوضه‌های شرقی ناشی می‌شود. حلبیان و عسگری [۴۲] به پهنه‌بندی شدت سیل‌خیزی در حوضه آبریز میشخاص به کمک تحلیل عاملی-خوشه‌ای پرداختند. در تحقیق یادشده حوضه آبریز میشخاص در استان ایلام به ۱۲ زیرحوضه تقسیم شد. برای تعیین شدت سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها از روش آماری تحلیل عاملی-خوشه‌ای استفاده شده و داده‌های ۲۸ متغیر زیرحوضه‌ها توسط نرم‌افزار SPSS پردازش شده و در قالب ۵ عامل اصلی (شکل، آبراهه، شیب، زهکشی و رواناب) خلاصه شد. نتایج پژوهش یادشده نشان داد عامل شکل با مقدار ویژه ۷/۶۴ مهم‌ترین عامل در سیل‌خیزی حوضه مطالعه‌شده است و عوامل آبراهه، شیب، زهکشی و رواناب به‌ترتیب با مقدار ویژه ۴/۶۵، ۵۶/۳، ۱/۶۱ و ۱/۲ در رتبه‌های بعدی قرار دارند. مصفايي و همکاران [۴۳] کارایی تکنیک تحلیل سلسله‌مراتبی در اولویت‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز باراجین را بررسی کردند. به این منظور، پتانسیل سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها با به‌کارگیری تحلیل سلسله‌مراتبی تعیین شده و با نتایج سیل‌خیزی حاصل از مدل HEC-HMS به‌عنوان داده‌های مشاهداتی مقایسه شد. نتایج پژوهش یادشده نشان داد علاوه بر تطابق کامل بین نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده دو روش، همبستگی معناداری (۰/۹۲۹ و ۰/۹۳۴) بین رتبه پتانسیل سیل‌خیزی حاصل از AHP و رتبه دبی پیک سیلاب با دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ سال زیرحوضه‌ها وجود دارد.

با توجه به تحقیقات انجام‌گرفته می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که از جمله مهم‌ترین عوامل بروز سیل، ویژگی‌های فیزیوگرافی است و در مناطقی که با کمبود آمار

درجه ۳۰ دقیقه ۲۲ ثانیه و طول شرقی ۵۲ درجه و ۹ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۵۲ درجه و ۱۲ دقیقه و ۲۰ ثانیه قرار گرفته است. این حوضه از شمال به دریای خزر، از جنوب به زیرحوضه نوررود هراز، از غرب به حوضه آبخیز وازرود و از شرق به حوضه انگتارود ختم می‌شود. مساحت این حوضه ۳۵/۸ کیلومتر مربع و محیط آن ۵۵/۷ کیلومتر است. رودخانه ناپلاررود از ارتفاعات جنگلی سرچشمه می‌گیرد و بعد از طی مسیر و عبور از روستای ناپلار در محل پل روستای رزک در جاده آمل- چمستان به خروجی می‌رسد (شکل ۱).

بیشترین تراکم آبراه‌های حوضه، ۲/۳۴ و کمترین آن، ۱/۸ است. حداقل شیب خالص آبراه‌های، ۱/۲۴ درصد و حداکثر آن، ۹/۸۳ درصد است (جدول ۱ و شکل‌های ۲ و ۳).



شکل ۱. موقعیت حوضه آبخیز ناپلاررود در ایران و استان مازندران

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیوگرافی حوضه ناپلاررود [۴۴]

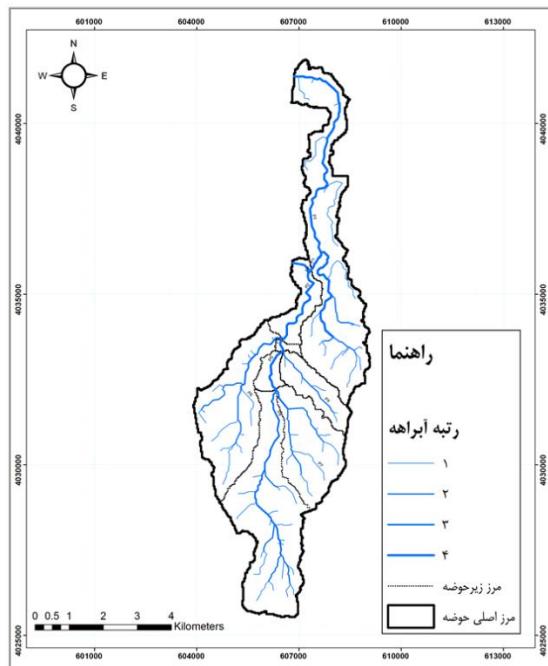
نام واحد کاری	شیب متوسط وزنی حوضه (درصد)	طول آبراهه اصلی (km)	نسبت انشعاب km/km^2	تراکم زهکشی (km/km^2)	زمان تمرکز برانسی (ساعت)	شیب متوسط وزنی آبراهه (درصد)
P1	۶	۱۳/۵	۱/۹۸	۲/۳۴	۵/۴۶	۱/۴۵
P2	۷/۵۴	۳/۳۴	۰/۱۳	۱/۹۷	۱/۴۲	۱/۲۴
P3	۱۵/۶	۰/۴۳	۰/۵	۲/۲۶	۰/۱۵	۳
P4	۱۵/۴۱	۲/۵	۱/۵	۱/۸	۰/۹۴	۵/۶۷
P5	۱۸/۶۵	۱/۳	۰/۶۷	۱/۸۴	۰/۵۲	۴/۸۵
P6	۱۶/۴۵	۷/۵	۳/۳۳	۱/۸۹	۲/۶۸	۵/۵۲
P7	۱۶/۲۱	۴/۱	۲	۱/۹۵	۱/۳۸	۸/۶
P8	۲۶/۸۴	۷/۸	۲/۱۱	۱/۸۶	۲/۲۹	۹/۸۳

هیدرومتری مواجه هستیم، می‌توانیم از ویژگی‌های هندسی به‌منظور منشأ جریان‌های سیلابی استفاده کنیم. بررسی منابع همچنین نشان داد استفاده از عوامل ژئومورفیک به دلیل نبود تحلیل هندسی کامل از حوضه‌ها به‌ویژه در مناطق جنگلی و عدم شناسایی منشأ جریان‌های اصلی، متأسفانه برنامه‌ریزی‌های منطبق با این پارامترها در مدیریت جامع حاکم نیست و سالانه شاهد خسارت‌های قابل توجه در این مناطق هستیم. درنهایت، خروجی نقشه و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از اهداف اصلی در پژوهش حاضر است.

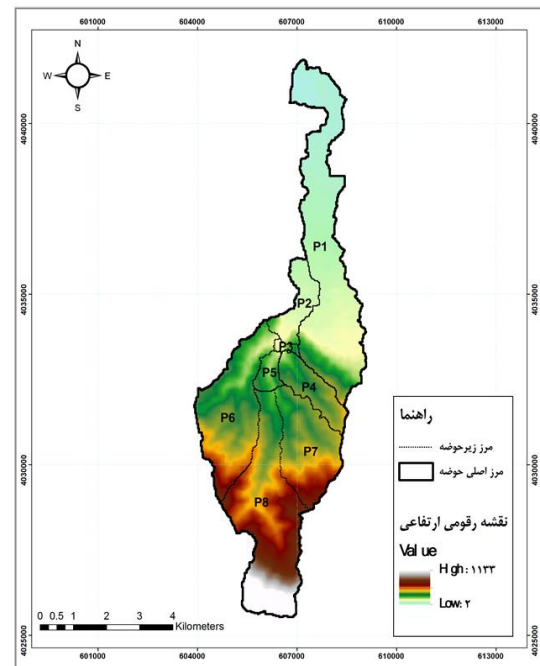
مواد و روش‌ها

ویژگی‌های منطقه مطالعه شده

محدوده حوضه ناپلاررود در بخش میانی استان مازندران در عرض شمالی ۳۶ درجه و ۲۳ دقیقه و ۵۶ ثانیه تا ۳۶



شکل ۳. نقشه شبکه هیدروگرافی حوضه ناپلارود



شکل ۴. نقشه رقمی ارتفاعی حوضه ناپلارود

به ترتیب از منشأ جریان سیلابی کم به زیاد طبقه‌بندی شده است. $\sum_{i=1}^{12} W_i$ نیز مجموع وزن‌های عوامل ژئومتری و منشأ جریان سیلابی است.

شیب بستر آبراهه

از آنجا که قدرت تخریبی رودخانه، بستگی مستقیم به سرعت جریان آب دارد و سرعت جریان آب نیز به شیب رودخانه بستگی دارد، با ارتفاع نقاط مختلف رودخانه‌ها می‌توان تصویر روشنی از قدرت تخریبی رودخانه‌ها را در نقاط مختلف مسیر آن به دست آورد [۴۵]. این عامل برای زیرحوضه‌های ناپلارود تعیین شد و با توجه به میزان شیب پروفیل رودخانه، اقدام به کلاسه‌بندی در هر زیرحوضه شد.

ضریب گردی

ضریب گردی عبارت است از: قطر دایره‌ای که مساحت آن با مساحت حوضه برابر است. این ضریب هر چه به سمت صفر رود، نشان‌دهنده این است که حوضه گردتر بوده و بیشتر شدن این ضریب نشان می‌دهد حوضه کشیده‌تر است [۴۶]. بنابراین، تمرکز جریان در مقادیر کمتر بیشتر می‌شود. بر این اساس، نرخ‌بندی عامل یادشده در منشأ جریان سیلابی نیز بر اساس توضیحات یادشده اعمال شد.

ژئومتری و منشأ جریان سیلابی

ژئومتری به‌عنوان عامل مرتبط با وقوع سیل می‌تواند در مناطقی که ایستگاه هیدرومتری و داده‌های هیدرولوژیک ندارند، به کار گرفته شود. هیچ مفهوم پذیرفته‌شده‌ای برای ژئومتری و منشأ جریان سیلابی وجود ندارد، زیرا ژئومتری و منشأ جریان سیلابی یک ویژگی مطلق نیست، بلکه یک مفهوم نسبی و پیچیده را در بردارد. ارزیابی ژئومتری و منشأ جریان در انواع مقیاس‌ها با ترکیب ویژگی‌های فیزیوگرافی حوضه آبخیز انجام می‌شود. این نوع ارزیابی، با تمرکز خاص روی ویژگی‌های فیزیوگرافیک حوضه آبخیز است [۴۴].

عوامل مؤثر بر ژئومتری و منشأ جریان سیلابی شامل شیب بستر آبراهه، ضریب گردی، ضریب فشردگی، ضریب شکل، ضریب کشیدگی، طول مستطیل معادل، عرض مستطیل معادل، درصد شیب وزنی حوضه، جهت جغرافیایی، نسبت انشعاب، تراکم زهکشی و زمان تمرکز حوضه تعیین شد (رابطه ۱) [۴۴].

$$\frac{\sum_{i=1}^{12} (W_i \cdot R_i)}{\sum_{i=1}^{12} W_i} \quad (1)$$

که در آن W_i وزن عوامل مؤثر بر منشأ جریان سیلابی است. R_i نرخ مربوط به هر عامل است که از ۱ تا ۹

ضریب فشردگی

میزان نفوذ آب در خاک کاهش می‌یابد و در نتیجه، حجم جریان‌های سطحی و سیلاب افزایش می‌یابد. به طبع، با افزایش شیب میزان جریان‌های سیلابی افزایش پیدا می‌کند که در نرخ‌بندی این عامل اعمال شده است [۴۸].

جهت شیب

جهت شیب تأثیر زیادی بر رگبار، رطوبت خاک، نفوذپذیری و در نتیجه، شیوه شکل‌گیری جریان دارد. در موقعیت جغرافیایی ایران اغلب شیب‌های جنوب و جنوب غربی نسبت به شیب‌های شمال و شرق تابش آفتاب بیشتری دریافت می‌کنند. با توجه به اینکه اغلب بارش‌ها از سمت غرب است، جهت غربی بیشترین میزان بارش را دریافت می‌کند و به طبع، حساسیت بیشتری نسبت به شکل‌گیری جریان در برابر سایر جهت‌ها دارند. بنابراین، نرخ‌بندی جهت‌های شیب غالب در پتانسیل منشأ جریان سیلابی اعمال شد [۴۸].

زمان تمرکز

زمان تمرکز حوضه‌های کوچک و پرشیب، کوتاه‌تر از زمان تمرکز حوضه‌های بزرگ و کم‌شیب است [۹]. حوضه‌های دایره‌ای شکل با سطح برابر زمان تمرکز کوتاه‌تری نسبت به حوضه‌های کشیده دارند. بنابراین، هر چه این زمان کمتر باشد، نشان‌دهنده این است که جریان سیلابی سریع‌تر به خروجی می‌رسد و پتانسیل جریان سیلابی بیشتر خواهد بود [۴۹].

تراکم زهکشی

اگر لایه‌های زیرین خاک دارای قابلیت نفوذ خوبی باشند و یا اینکه در مقابل فرسایش مقاومت کنند و پوشش گیاهی نیز انبوه بوده و سطح حوضه از پستی و بلندی کمی برخوردار باشد، مقدار تراکم آبراهه‌ها کمتر خواهد بود. به عکس در مناطقی که لایه‌های زیرین خاک قابلیت نفوذ کمتری داشته باشد، تراکم آبراهه‌ها زیادتر است. با تراکم زیاد آبراهه‌ها، مقدار دبی سیلاب زیادتر بوده و در نتیجه، فرسایش سنگ بستر بیشتر است [۵۰].

نسبت انشعاب

هرچه این نسبت کوچک‌تر باشد، بیانگر آن است که هیدروگراف سیل در مقایسه با حوضه‌های دیگر نقطه اوج بالاتری خواهد داشت. در واقع، با زیاد شدن ضریب دوشاخگی، زمان تأخیر بیشتر شده و زمان تا اوج بیشتر خواهد شد. بر این اساس، نرخ‌بندی نسبت انشعاب برای زیرحوضه‌های آبخیز ناپلارود اعمال شد [۱ و ۵۰].

ضریب فشردگی عبارت است از: نسبت محیط حوضه به محیط دایره فرضی که مساحت آن برابر مساحت حوضه باشد. این دایره را «دایره معادل» گویند [۴۷]. حال اگر حوضه دایره‌ای کامل باشد، این ضریب برابر یک است، در غیر این صورت مقدار این ضریب بزرگ‌تر از یک خواهد بود که نشان‌دهنده انحراف شکل آن از دایره است [۴۶]. بنابراین، نرخ‌بندی این عامل به این صورت انجام شد که هر چه مقدار این عامل افزایش یابد، پتانسیل سیل‌خیزی کم می‌شود.

ضریب شکل هورتون

این ضریب از تقسیم مساحت بر مجذور طول حوضه به دست می‌آید. به این معنا که هرچه عدد حاصل به یک نزدیک‌تر باشد، حوضه یادشده به مربع نزدیک‌تر است [۲]. با توجه به اینکه طول حوضه در مخرج کسر قرار دارد، هر چه طول حوضه بیشتر شود، این ضریب کوچک‌تر می‌شود و زمان بیشتری برای متمرکز شدن جریان سیلابی لازم است. بنابراین، نرخ‌بندی این عامل به این صورت اعمال شد که هر چه این ضریب کمتر شد، نرخ کمتری برای جریان سیلابی به آن تعلق گرفت.

ضریب کشیدگی

این ضریب همواره کمتر از یک است. از آنجا که در فرمول محاسبه این ضریب، طول حوضه آبخیز در مخرج کسر قرار دارد، هر چه این ضریب به یک نزدیک می‌شود، حوضه از حالت کشیده خارج شده و به سمت دایره متمایل می‌شود؛ بنابراین هر چه این ضریب بزرگ‌تر می‌شود، پتانسیل جریان سیلابی افزایش می‌یابد [۴۷].

طول و عرض مستطیل معادل

با داشتن محیط و مساحت حوضه می‌توان این دو عامل را به دست آورد. همان‌طور که بر اساس معادله این دو عامل پیداست، افزایش در طول مستطیل معادل باعث کاهش جریان سیلابی و افزایش عرض مستطیل معادل باعث افزایش آن می‌شود [۴۸].

درصد شیب حوضه

شیب حوضه آبخیز اثر مستقیمی بر واکنش هیدرولوژیک حوضه‌ها دارد. به‌طور کلی، سرعت جریان‌های سطحی به‌طور مستقیم به شیب بستگی دارد. با افزایش شیب،

شاخص منشأ جریان کلی است.

نتایج

در جدول ۲ وزن عوامل مختلف در منشأ جریان سیلابی نشان داده شده است. همچنین، در شکل‌های ۴-۶ نقشه‌های شیب، جهت و ارتفاع نشان داده شده است. شکل‌های ۷ تا ۱۸ نیز نتایج حاصل از عوامل ژئومتری را نشان می‌دهند.

همچنین، در شکل‌های ۷ تا ۱۸ نقشه‌های نرخ‌بندی شده عوامل مؤثر بر منشأ جریان سیلابی حوضه آبخیز ناپلاررود نشان داده شده است.

آنالیز حساسیت عوامل مؤثر بر منشأ جریان سیلابی

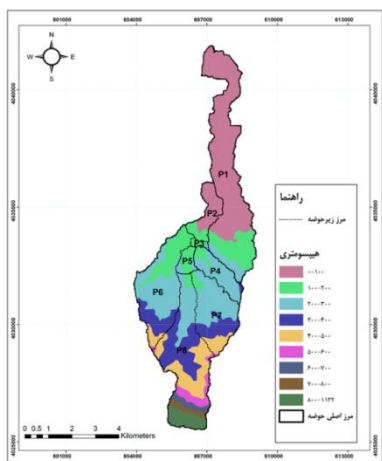
بعد از مدل‌سازی منشأ جریان سیلابی، اولویت‌بندی عوامل مؤثر باید مشخص شود. همچنین، در این مرحله می‌توان وزن‌های تغییر یافته را با توجه به وزن اولیه که برای مدل‌سازی استفاده شده است را با توجه به وزن بهینه اصلاح کرد. در این تحقیق از روش آنالیز حساسیت تک‌پارامتره به منظور تعیین عوامل حساس به جریان سیلابی استفاده شد (رابطه ۲) [۵۱].

$$W = \frac{(P_r \cdot P_w)}{F} \quad (2)$$

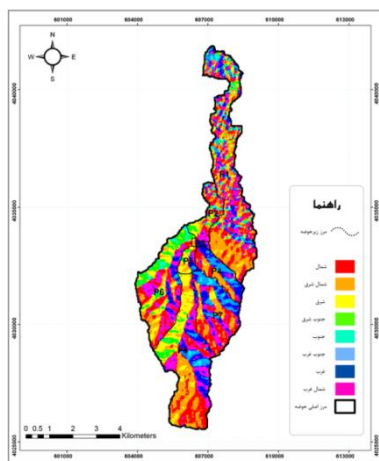
که در آن: W وزن مؤثر مربوط به هر عامل است. P_r و P_w به ترتیب وزن و میزان مربوط به آن عامل است. F نیز

جدول ۲. وزن‌دهی عوامل مؤثر بر منشأ جریان سیلابی حوضه ناپلاررود

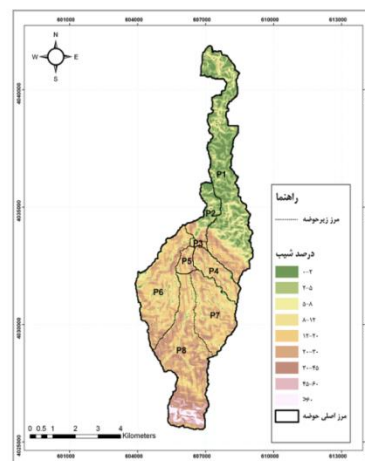
واحد کاری	شیب بستر	نرخ‌بندی شیب بستر	واحد کاری	ضریب شکل هورتون	نرخ‌بندی ضریب هورتون	واحد کاری	عرض مستطیل معادل	نرخ‌بندی عرض مستطیل معادل	واحد کاری	زمان تمرکز	نرخ‌بندی زمان تمرکز
P1	۱/۴۵	۱	P1	۰/۱۱۵	۱	P1	۰/۶۹	۷	P1	۵/۴۶	۱
P2	۱/۲۴	۱	P2	۰/۲۸۳	۷	P2	۰/۴۱	۲	P2	۱/۴۲	۵
P3	۳	۱	P3	۰/۳۳۷	۷	P3	۰/۱۵	۱	P3	۰/۱۵	۹
P4	۵/۶۷	۳	P4	۰/۲۱۸	۵	P4	۰/۴۸	۵	P4	۰/۹۴	۷
P5	۴/۸۵	۵	P5	۰/۳۸۵	۹	P5	۰/۳۷	۲	P5	۰/۵۲	۹
P6	۵/۵۲	۵	P6	۰/۲۱۰	۵	P6	۰/۸۱	۹	P6	۲/۶۸	۳
P7	۸/۶	۹	P7	۰/۳۲۸	۷	P7	۰/۸۵	۹	P7	۱/۳۸	۵
P8	۹/۸۳	۹	P8	۰/۲۰۰	۳	P8	۰/۸۷	۹	P8	۲/۳۹	۳
واحد کاری	ضریب گردی	نرخ‌بندی ضریب گردی	واحد کاری	ضریب روش کشیدگی	نرخ‌بندی ضریب روش کشیدگی	واحد کاری	درصد شیب حوضه	نرخ‌بندی درصد شیب حوضه	واحد کاری	تراکم زهکشی	نرخ‌بندی تراکم زهکشی
P1	۳/۷۷	۱	P1	۰/۳۸	۱	P1	۶/۰۰	۱	P1	۲/۳۴	۹
P2	۱/۵۰	۵	P2	۰/۶	۷	P2	۷/۵۴	۱	P2	۱/۹۷	۷
P3	۰/۵۲	۹	P3	۰/۶۵	۷	P3	۱۵/۶۰	۳	P3	۲/۲۶	۳
P4	۱/۶۲	۵	P4	۰/۵۳	۵	P4	۱۵/۴۱	۳	P4	۱/۸۰	۱
P5	۰/۹۶	۷	P5	۰/۷۰	۹	P5	۱۸/۶۵	۷	P5	۱/۸۴	۳
P6	۲/۸۴	۳	P6	۰/۵۲	۵	P6	۱۶/۴۵	۵	P6	۱/۸۹	۵
P7	۲/۴۲	۳	P7	۰/۶۵	۷	P7	۱۶/۲۱	۵	P7	۱/۹۵	۷
P8	۳/۳۸	۱	P8	۰/۵۱	۳	P8	۲۶/۸۴	۹	P8	۱/۸۶	۳
واحد کاری	ضریب فشرده‌گی	نرخ‌بندی ضریب فشرده‌گی	واحد کاری	طول مستطیل معادل	نرخ‌بندی طول مستطیل معادل	واحد کاری	جهت	نرخ‌بندی جهت	واحد کاری	نسبت انشعاب	نرخ‌بندی نسبت انشعاب
P1	۲/۸۲	۱	P1	۱۶/۱۱	۱	P1	شمال شرق	۱	P1	۱/۹۸	۳
P2	۱/۹۹	۵	P2	۴/۳۳	۷	P2	شمال	۴	P2	۰/۱۳	۹
P3	۱/۹۳	۵	P3	۱/۴۳	۹	P3	غرب	۹	P3	۰/۵۰	۷
P4	۱/۸۷	۵	P4	۴/۳۱	۷	P4	غرب	۹	P4	۱/۵۰	۵
P5	۱/۵۴	۹	P5	۱/۹۷	۹	P5	شرق	۳	P5	۰/۶۷	۷
P6	۱/۹۱	۵	P6	۷/۷۹	۵	P6	شمال	۵	P6	۳/۳۳	۱
P7	۱/۶۴	۷	P7	۵/۴۴	۷	P7	شمال	۵	P7	۲/۰۰	۳
P8	۲/۱۰	۳	P8	۱۰/۳۵	۳	P8	شمال شرق	۱	P8	۲/۱۱	۳



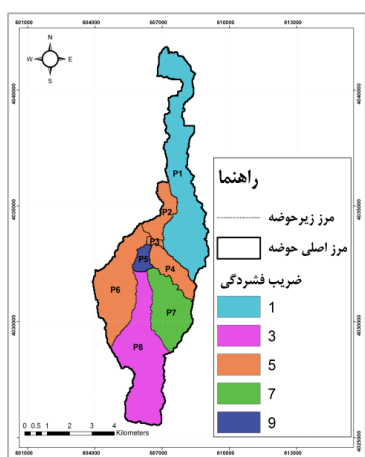
شکل ۴. نقشه درصد شیب حوضه ناپلارود



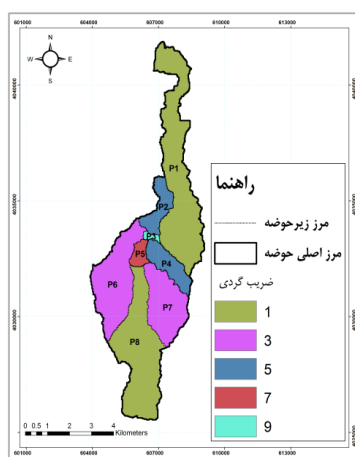
شکل ۵. نقشه جهت شیب حوضه ناپلارود



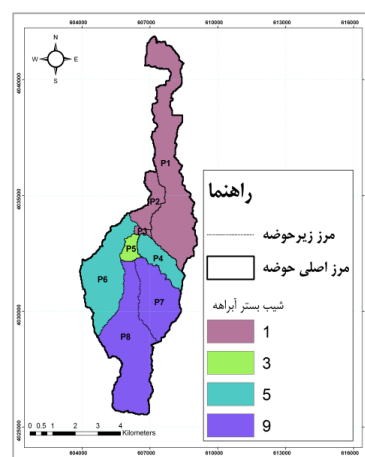
شکل ۶. نقشه رقمی ارتفاعی حوضه ناپلارود



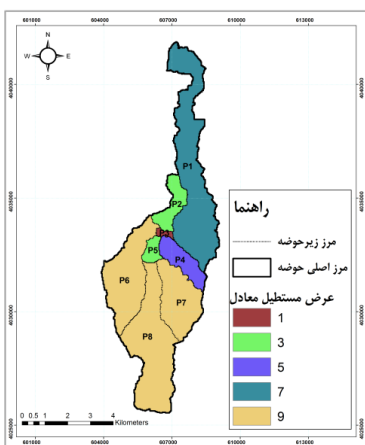
شکل ۷. نرخ‌بندی شیب بستر آبراهه حوضه ناپلارود



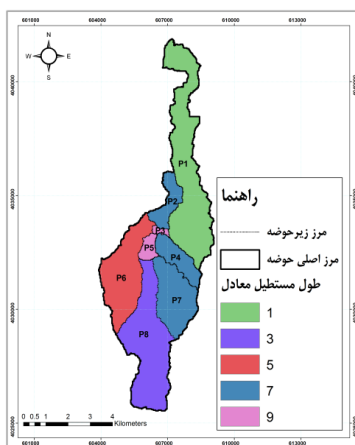
شکل ۸. نرخ‌بندی ضریب گردی حوضه ناپلارود



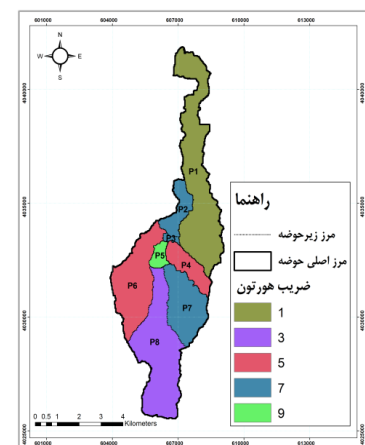
شکل ۹. نرخ‌بندی ضریب فشردگی حوضه ناپلارود



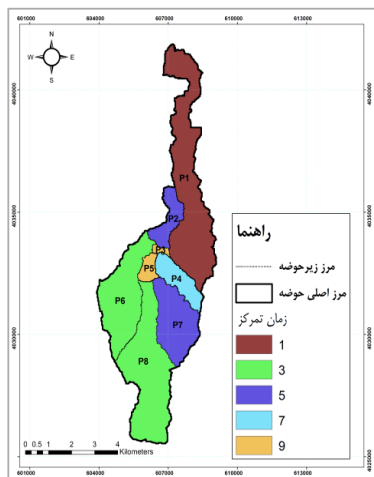
شکل ۱۰. نرخ‌بندی ضریب هورتون حوضه ناپلارود



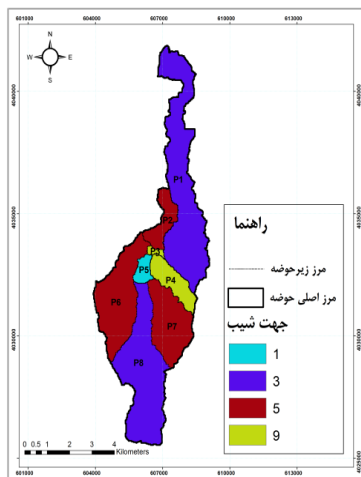
شکل ۱۱. نرخ‌بندی طول مستطیل معادل حوضه ناپلارود



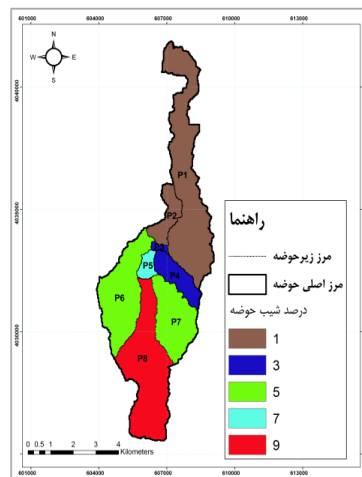
شکل ۱۲. نرخ‌بندی عرض مستطیل معادل حوضه ناپلارود



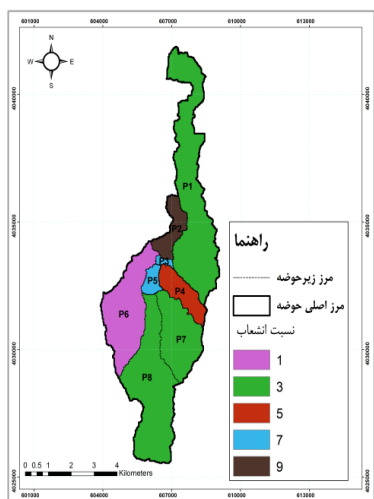
شکل ۱۵. نرخ‌بندی زمان تمرکز حوضه ناپلارود



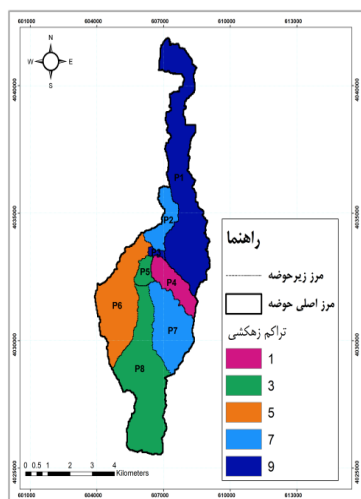
شکل ۱۴. نرخ‌بندی جهت شیب حوضه ناپلارود



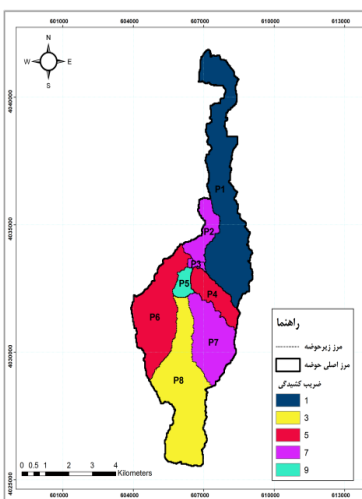
شکل ۱۳. نرخ‌بندی درصد شیب حوضه ناپلارود



شکل ۱۸. نرخ‌بندی نسبت انشعاب حوضه ناپلارود



شکل ۱۷. نرخ‌بندی تراکم زهکشی حوضه ناپلارود

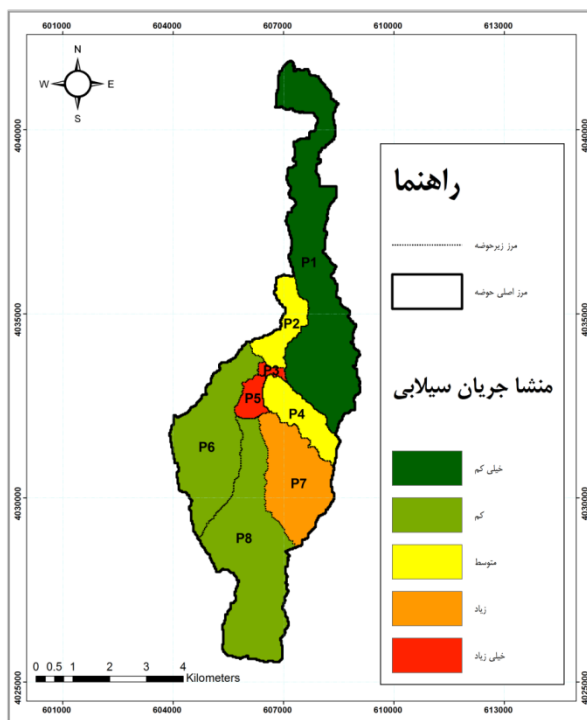


شکل ۱۶. نرخ‌بندی ضریب کشیدگی حوضه ناپلارود

معادله‌ای که برای تهیه نقشه منشأ جریان سیلابی به کار گرفته شد، در رابطه ۳ نشان داده شده است. شکل ۱۹ نقشه منشأ جریان سیلابی را نشان می‌دهد.

تهیه نقشه‌های منشأ جریان سیلابی پس از اینکه عوامل مؤثر بر منشأ جریان سیلابی تعیین و نرخ‌بندی شدند، با احتساب وزن‌هایی که به عوامل تعلق گرفت، اقدام به تهیه نقشه منشأ جریان سیلابی شد.

$$(3) \quad (2) + (\text{«ضریب فشردگی»} * 1) + (\text{«ضریب هورتون»} * 1) + (\text{«ضریب کشیدگی»} * 1) + (\text{«عرض مستطیل»} * 2) + (\text{«طول مستطیل»} * 2) + (\text{«نسبت انشعاب»} * 4) + (\text{«تراکم زهکشی»} * 3) + (\text{«زمان تمرکز»} * 5) + (\text{«ضریب گردی»} * 2) + (\text{«شیب آبراهه»} * 5)$$



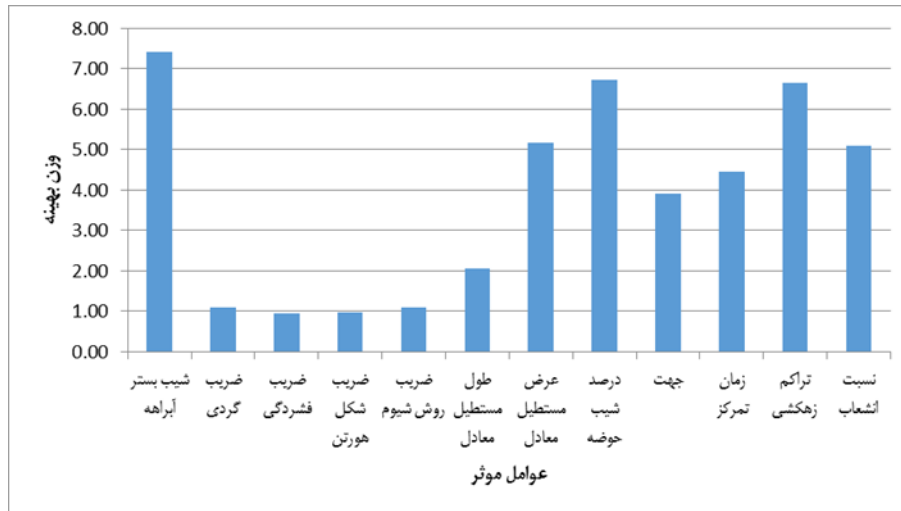
شکل ۱۹. نقشه منشأ جریان سیلابی حوضه ناپلارود

شدند. از بین عوامل مؤثر نیز تراکم زهکشی، عرض مستطیل معادل و نسبت انشعاب وزن بهینه بیشتری نسبت به وزن اولیه اختصاص یافته به آنها داشتند که نشان دهنده اهمیت این ۳ عامل در منشأ جریان سیلابی در حوضه های جنگلی دارد. شکل ۲۰ اهمیت هر یک از عوامل مؤثر را با توجه به وزن بهینه نشان می دهد.

اولویت بندی عوامل مؤثر بر منشأ جریان سیلابی
همان طور که در جدول ۳ مشاهده می شود، اولویت بندی عوامل مؤثر دوازده گانه بر منشأ جریان سیلابی انجام شد. با توجه به این جدول، عوامل شیب بستر آبراهه، درصد شیب حوضه و تراکم زهکشی با وزن های ۷/۴۲، ۶/۷۲ و ۶/۶۴ به عنوان ۳ عامل مهم در منشأ جریان سیلابی تعیین

جدول ۳. آنالیز حساسیت عوامل مؤثر بر منشأ جریان سیلابی حوضه ناپلارود

شماره	پارامتر	وزن اولیه	درصد وزن اولیه	Min	Max	Mean	STD	وزن بهینه
منشأ جریان سیلابی								
1	شیب بستر آبراهه	۵	۱۴/۷۱	۲	۳۵	۱۹/۰۳	۱۲/۰۳	۷/۴۲
2	ضریب گردی	۲	۵/۸۸	۱	۹	۲/۸۰	۱/۷۲	۱/۰۹
3	ضریب فشردگی	۱	۲/۹۴	۱	۴	۲/۴۵	۱/۲۳	۰/۹۵
4	ضریب شکل هورتون	۱	۲/۹۴	۱	۴	۲/۵۰	۱/۲۷	۰/۹۸
5	ضریب روش کشیدگی	۱	۲/۹۴	۱	۹	۲/۸۰	۱/۷۲	۱/۰۹
6	طول مستطیل معادل	۲	۵/۸۸	۲	۹	۵/۲۷	۲/۸۰	۲/۰۵
7	عرض مستطیل معادل	۲	۵/۸۸	۱	۱۷	۱۳/۲۴	۴/۰۶	۵/۱۷
8	درصد شیب حوضه	۵	۱۴/۷	۳	۳۵	۱۷/۲۳	۱۱/۵۸	۶/۷۲
9	جهت	۳	۸/۸۲	۱	۱۸	۱۰/۰۳	۲/۹۷	۳/۹۱
10	زمان تمرکز	۵	۱۴/۷	۶	۲۴	۱۱/۴۰	۴/۸۶	۴/۴۵
11	تراکم زهکشی	۳	۸/۸۲	۲	۳۴	۱۷/۰۳	۱۱/۷۷	۶/۶۴
12	نسبت انشعاب	۴	۱۱/۷۶	۴	۲۹	۱۳/۰۳	۶/۲۴	۵/۰۸



شکل ۲۰. اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر منشأ جریان سیلابی حوضه جنگلی ناپلارود

خیلی زیاد هستند. زیرحوضه P7 نیز دارای پتانسیل زیاد به لحاظ منشأ جریان سیلابی طبقه‌بندی شد. زیرحوضه‌های P2 و P4 نیز در طبقه متوسط منشأ جریان سیلابی کلاسه‌بندی شدند. نتایج به‌دست‌آمده گویای این مطلب است که زیرحوضه‌هایی که شکل گردتر و شیب متوسط آبراهه و حوضه بیشتری نسبت به حوضه‌های دیگر داشته باشند، دارای زمان تمرکز کمتر و منشأ جریان سیلابی بیشتری است که با نتایج بینش و سارنگ [۳۸] و بومری و همکاران [۳۷] مطابقت دارد. نتایج پژوهش یادشده نشان داد زمان تمرکز در زیرحوضه‌های P3 و P5 با میزان ۰/۱۵ و ۰/۵۲ ساعت نسبت به سایر حوضه‌ها کمترین مقدار بوده و بنابراین، به علت طول کم آبراهه اصلی دارای بیشترین پتانسیل منشأ جریان سیلابی قلمداد شده است. این نتایج هم‌راستا با نتایج قنواتی و همکاران [۴۰] است که بیان کردند به علت تأثیرات خصوصیات فیزیوگرافیک حوضه‌ها، رواناب‌های حاصل از بارندگی در مدت‌زمان اندک وارد پیکره شهری می‌شود. در بخش آنالیز حساسیت نتایج نشان داد عوامل شیب بستر آبراهه، درصد شیب حوضه و تراکم زهکشی به‌عنوان ۳ عامل مهم در منشأ جریان سیلابی تعیین شدند. این نتایج هم‌راستا با نتایج بومری [۳۷] و نیری و همکاران [۴۱] است که بیان کردند عوامل آبراهه، شیب، زهکشی و رواناب مهم‌ترین عوامل در سیل‌خیزی حوضه هستند. همچنین، این نتایج هم‌راستا با تحقیق حلبیان و عسگری است که ۵ عامل، آبراهه، شیب، زهکشی و رواناب را از بین ۲۸ متغیر فیزیوگرافی با استفاده از تحلیل

بحث

نبود مطالعات در حوضه‌های جنگلی به دلیل وجود نداشتن ایستگاه‌های هیدرومتری همواره برنامه‌ریزان را با مشکلات زیادی مواجه می‌سازد. حوضه مورد نظر که جریان دائمی طی سال دارد و در پایین‌دست خود نیز روستاهای زیادی را در بر می‌گیرد، می‌تواند در آینده با برنامه‌ریزی اصولی و علمی، زمینه‌ساز توسعه منطقه باشد. در پژوهش حاضر سعی شده است با تحلیل هندسی حوضه بتوان برخی از ویژگی‌های مهم حوضه را استخراج کرد تا در جانمایی برخی زیرساخت‌ها به مسئولان امر با کمترین خطا یاری کند. نتایج به‌دست‌آمده از این طرح در کاهش خسارت‌های ناشی از سیلاب و برداشت مواد و بار بستر رودخانه با کمترین تأثیرات محیط زیستی منجر به حفاظت از حریم رودخانه و همزیستی ساکنان و گردشگران در حوضه می‌شود. در این تحقیق از ۱۲ عامل فیزیوگرافی مؤثر بر منشأ جریان سیلابی استفاده شد. این عوامل شامل شیب بستر آبراهه، ضریب گردی، ضریب فشردگی، ضریب شکل، ضریب کشیدگی، طول مستطیل معادل، عرض مستطیل معادل، درصد شیب وزنی حوضه، جهت جغرافیایی، نسبت انشعاب، تراکم زهکشی و زمان تمرکز هستند. انتخاب این عوامل در تعیین منشأ جریان سیلابی بر اساس کمبود اطلاعات هیدرولوژیک صورت گرفته است و مورد تأیید تحقیقات سلیمانی [۱۰]، سلیمانی و درویشی [۳۶] و بومری و همکاران [۳۷] است. نتایج نقشه نهایی منشأ جریان سیلابی نشان داد زیرحوضه‌های P5 و P3 دارای پتانسیل منشأ جریان سیلابی

منشأ جریان سیلابی اقدام شد. با توجه نتایج آنالیز حساسیت سه عامل شیب بستر آبراهه، درصد شیب حوضه و تراکم زهکشی با وزن‌های ۷/۴۲، ۶/۷۲ و ۶/۶۴ به‌عنوان سه عامل مهم در منشأ جریان سیلابی تعیین شدند. از بین عوامل مؤثر نیز سه عامل تراکم زهکشی، عرض مستطیل معادل و نسبت انشعاب نیز دارای وزن بهینه بیشتری نسبت به وزن اولیه اختصاص یافته به آنها شدند که نشان‌دهنده اهمیت این ۳ عامل در منشأ جریان سیلابی در حوضه‌های جنگلی دارد. در نهایت، استفاده از داده‌های ژئومتری و تحلیل هندسی با استفاده از عوامل فیزیوگرافی می‌تواند در حوضه‌های فاقد آمار هیدرولوژیک برای تعیین منشأ جریان‌های سیلابی استفاده شود.

منابع

- [1]. Strahler, A. N. Handbook of applied hydrology. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. New York, NY: McGraw Hill Book Company. 1964; 39-76.
- [2]. Horton, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. Geological society of America bulletin. 1945; 56(3), 275-370.
- [3]. Clarke, J. I. Morphometry from maps. Essays in geomorphology. 1996.
- [4]. Agarwal, C. S. Study of drainage pattern through aerial data in Naugarh area of Varanasi district, UP. Journal of the Indian Society of Remote Sensing. 1998; 26(4), 169-175.
- [5]. Kumar, R., Kumar, S., Lohani, A. K., Nema, R. K., & Singh, R. D. Evaluation of geomorphological characteristics of a catchment using GIS. GIs India. 2000; 9(3), 13-17.
- [6]. Ali, S. A., Rangzan, K., & Pirasteh, S. Remote sensing and GIS study of tectonics and net erosion rates in the Zagros structural belt, Southwestern Iran. Mapping Sciences and Remote Sensing. 2003; 40(4), 258-267.
- [7]. Ali, S. A., & Pirasteh, S. Evaluation of ground water potential zones in parts of Pabdeh Anticline, Zagros Fold Belt, SW Iran. Water Ethiop J Water Sci Technol. 2005; 9(1), 92-97. [Persian].
- [8]. Ali, S. A., & Tesgaya, D. Landuse and landcover change detection between 1985-2005 in parts of Highland of Eastern Ethiopia using Remote Sensing and GIS techniques. International journal of Geoinformatics. 2010; 6(2), 35.

عاملی استخراج کردند. در پژوهش یادشده از عوامل فیزیوگرافی محض به‌منظور تعیین منشأ جریان‌های سیلابی حوضه جنگلی استفاده شد. در همین زمینه، مصفايي و همکاران [۴۳] گفتند که در بررسی کارایی تکنیک تحلیل سلسله‌مراتبی در اولویت‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز باراجین عوامل هیدروکلیماتیک (وزن = ۰/۶۵) اهمیت بیشتری نسبت به عوامل مورفومتری (وزن = ۰/۳۵) دارند و عامل شدت بارش برابر با زمان تمرکز نیز مهم‌ترین عامل است (وزن = ۰/۳۷۳). همچنین، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان نتیجه گرفت که پتانسیل منشأ جریان سیلابی با توجه به خصوصیات ژئومتری تعیین شده و به‌منظور تعیین بزرگی سیل باید از داده‌های هیدرولوژیک استفاده کرد. در همین زمینه، بینش و سارنگ [۳۸] بیان داشتند که به‌رغم دخیل بودن عوامل فیزیوگرافی، به دلیل مساحت بسیار بیشتر ممکن است حجم سیلاب در حوضه‌ای بیشتر باشد و در نتیجه، دبی اوج و زمان پایه هیدروگراف واحد، بالاتر می‌رود.

نتیجه‌گیری

شناسایی و اولویت‌بندی منشأ جریان سیلابی در حوضه‌های جنگلی فاقد آمار اهمیت زیادی دارد. تعیین درجه سیل‌خیزی مناطق مختلف یک حوضه آبخیز مستلزم شناخت خصوصیات ژئومتری حوضه در قالب یک روش مشخص برای تفکیک نقش عوامل فیزیوگرافی حوضه است. در تحقیق حاضر، ۱۲ عامل فیزیوگرافی به‌منظور تحلیل هندسی و تعیین منشأ جریان سیلابی در حوضه ناپلاررود استان مازندران شامل شیب بستر آبراهه، ضریب گردی، ضریب فشردگی، ضریب شکل، ضریب کشیدگی، طول مستطیل معادل، عرض مستطیل معادل، درصد شیب وزنی حوضه، جهت جغرافیایی، نسبت انشعاب، تراکم زهکشی و زمان تمرکز تهیه شد. سپس، به‌منظور تعیین منشأ جریان سیلابی، تمامی عوامل مؤثر نرخ‌گذاری و وزن‌دهی شدند. نتایج نقشه نهایی منشأ جریان سیلابی نشان داد زیرحوضه‌های P3 و P5 دارای پتانسیل منشأ جریان سیلابی خیلی زیاد هستند. زیرحوضه P7 نیز دارای پتانسیل زیاد به لحاظ منشأ جریان سیلابی طبقه‌بندی شد. زیرحوضه‌های P2 و P4 نیز در طبقه متوسط منشأ جریان سیلابی کلاسه‌بندی شدند. سپس، با استفاده از روش آنالیز حساسیت تک‌متغیره به اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر

- [9]. Solaimani, K. Hydrological Analysis of Haraz Basin. Master Thesis. Tabriz University. 1369.[Persian].
- [10]. Solaimani, K. Morphometric analysis of Noorud sub-basin. Final report of the research project. Mazandaran University. 2000. [Persian].
- [11]. Solaimani, K. Cartography. Bachelor of Natural Engineering textbook. Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 2019 [Persian].
- [12]. Ali, U., & Ali, S. A. Analysis of drainage morphometry and watershed prioritization of Romushi-Sasar catchment, Kashmir Valley, India using remote sensing and GIS technology. *International Journal of Advanced Research*. 2014; 2(12), 5-23.
- [13]. Ali, S. A. and Khan, N. Evaluation of Morphometric analysis- A Remote sensing & GIS based approach. *Open J. of Modern Hydrology*. 2013; 3(1): 20- 27.
- [14]. Ali, S. A., & Ikbal, J. Prioritization based on geomorphic characteristics of Ahar watershed, Udaipur district, Rajasthan, India using Remote sensing and GIS. *Journal of Environmental Research And Development*. 2015; 10(1), 187.
- [15]. Ali, S. A., Alhamed, M., & Ali, U. Morphometric analysis of Abdan Basin, Almahfid basement rock, Yemen: using remote sensing and GIS. *Int J Adv Remote Sens GIS*. 2016; 5(3), 1605-1617.
- [16]. Ikbal, J., Ali, S. A., & Aldharab, H. Morphological character of micro watershed of Katla river in Udaipur district, Rajasthan. *International Journal of Current Research*. 2017; 9(9), 57708-57715.
- [17]. Langbein WB. Topographic characteristics of drainage Basins. U.S. Geol Sur Water Supp Paper.1947; 968-C
- [18]. Strahler, A. N. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks, section 4 II, In: *Handbook of Applied Hydrology*, edited by V.T.Chow, McGraw Hill. 1953; 439.
- [19]. Miller, V. C. A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch mountain area Virginia and Tennessee. Columbia university New York. 1953.
- [20]. Leopold LB, Miller, JP. Ephemeral streams: hydraulic factors and their relation to the drainage network. U.S. Geol. Sur. Profess Paper 282 A., Washington, D.C.1956; pp 1-37.
- [21]. Schum, S. The evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geol. Sac. Am. Bull.* 1956;67(5), 597-646.
- [22]. Morisawa ME. Relation of quantitative geomorphology of stream flow in representative watersheds of the Appalachian Plateau Province, Columbia University, Office of Naval Research, Project NR 389-042, Technical Report 20. Morphometric analysis- A Remote sensing & GIS based approach. *Open J. of Modern Hydrology*. 1959; 3(1): 20- 27.
- [23]. Shreve, R. L. Statistical law of stream numbers. *The Journal of Geology*. 1966; 74(1), 17-37.
- [24]. Doornkamp, J. C. The analysis of the morphometric properties of drainage basins by the Spearman's rank correlation technique. Slaymaker, HO (ed). 1968; 31-40.
- [25]. Gregory KJ, Walling, DE. Drainage basin form and process—a geomorphological approach. Edward Arnold Pub. Ltd., London.1973; p 321.
- [26]. Gardiner, V., & Park, C. C. Drainage basin morphometry: review and assessment. *Progress in Physical Geography*. 1978; 2(1), 1-35.
- [27]. Reddy, G. P. O., Maji, A. K., & Gajbhiye, K. S. Drainage morphometry and its influence on landform characteristics in a basaltic terrain, Central India—a remote sensing and GIS approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2004; 6(1), 1-16.
- [28]. Thomas, J., Joseph, S., Thirvikramji, K. P., Abe, G., & Kannan, N. Morphometrical analysis of two tropical mountain river basins of contrasting environmental settings, the southern Western Ghats, India. *Environmental Earth Sciences*. 2012; 66(8), 2353-2366.
- [29]. Magesh, NS., Chandrasekar, N., Soundranayagam, J. Morphometric evaluation of Papanasam and Manimuthar watersheds, parts of western Ghats, Tirunelveli district, Tamil Nadu, India: a GIS approach. *Environmental Earth Sci*.2011; 64(2):373-381.
- [30]. Kaliraj, S., Chandrasekar, N., & Magesh, N. S. Morphometric analysis of the River Thamirabarani sub-basin in Kanyakumari District, South west coast of Tamil Nadu, India, using remote sensing and GIS. *Environmental Earth Sciences*. 2015; 73(11), 7375-7401.
- [31]. Banerjee, A., Singh, P., & Pratap, K. Morphometric evaluation of Swarnrekha watershed, Madhya Pradesh, India: an integrated GIS-based approach. *Applied Water Science*. 2017; 7(4), 1807-1815.

- [32]. Rai, P. K., Mohan, K., Mishra, S., Ahmad, A., & Mishra, V. N. A GIS-based approach in drainage morphometric analysis of Kanhar River Basin, India. *Applied Water Science*. 2017; 7(1), 217-232.
- [33]. Babu, K. J., Sreekumar, S., & Aslam, A. Implication of drainage basin parameters of a tropical river basin of South India. *Applied Water Science*. 2016; 6(1), 67-75.
- [34]. Al-Rowaily, S. L., El-Bana, M. I., & Al-Dujain, F. A. Changes in vegetation composition and diversity in relation to morphometry, soil and grazing on a hyper-arid watershed in the central Saudi Arabia. *Catena*. 2012; 97, 41-49.
- [35]. Solaimani, K., Sharifipour, M. And Abdoli, S. Flood Damage Detection Algorithm Using Sentinel 2 Images (Case Study: Flood in April 2017 in Golestan Province). *Echo Hydrology*. 2020. Volume 7, Number 2, pp.303-312. [Persian].
- [36]. Solaimani, K. And Dervish, Sh. Zoning and flood risk monitoring of spring 1398 Khuzestan using Landsat-8 data. *Echo Hydrology*. 1399; Volume 7, Number 3, Fall 1399, pp.662-647.
- [37]. Boomeri, M., Nahtanifar, Abdul Basit Radfer, Shahbaz. Mahdavi, Abu al-Qasim. Identification of flood zones and physiographic and quantitative characteristics of Daman catchment area using GIS and remote sensing system. *Geography and development*. 2011; Volume 9, Serial Number 22; 129-146. [Persian].
- [38]. Binesh, Negin., Sarang, Amin. Investigation of the effect of physiographic characteristics of the catchment in the form of flood hydrograph; Comparison of three basins of Damavand, Verdij and Kasilian. *Journal of Water Management*. 2014; Number 3. Pp. 65-78. [Persian].
- [39]. Nasri, Massoud., Najafi, Ali. Determining the mathematical relationships of sediment delivery ratio (SDR) and basin factors. *Iranian Natural Ecosystems Quarterly*. 2015; Volume 6, Number 2 - Serial Number 19: Pages 1-12. [Persian].
- [40]. Qanavati, Ezatullah., Saffari, Amir., Karam, Amir., Najafi, Ismail., Jahandar, Gholam Hossein. Investigation of hydrogeomorphological features of catchments of Tehran metropolis with emphasis on flooding. *Hydrogeomorphology*. 2016; Volume 3, Number 6 Number 6, pp. 33-54. [Persian].
- [41]. Nayeri, Hadi., Salari, Mamand., Mirza Moradi, Asrin. Flood potential of catchments in Kurdistan province using morphometric indices and statistical analysis. *Quarterly Journal of Quantitative Geomorphological Research*. 2016; Fifth Year No. 1 (17th consecutive, pp. 181-190. [Persian].
- [42]. Halabian, Amir Hussein., Asgari, Shamsullah. Zoning of flood severity in Mishkhas catchment with the help of factor-cluster analysis. *Hydrogeomorphology*. 2017; Volume 3, Number 12; From page 153 to page 177. [Persian].
- [43]. Mosafaei, Jamal., Kamali, Mehdi., Salehpour Jam, Amin., Solaimani, Karim., Shahedi, Kaka., Gomarkchi, Amiryousef. Investigation of the efficiency of hierarchical analysis technique in prioritizing flood potential of Barajin watershed. *Journal of Watershed Management*. 2020; Volume 11, Number 21, Volume 11 Number 21 Pages 48-58. [Persian].
- [44]. Solaimani, K. Geometric analysis and classification of the origin of the flow in the Naplarrud forest basin, east of Vazrood. Final plan report. Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 2020. [Persian].
- [45]. Wong, M., & Parker, G. One-dimensional modeling of bed evolution in a gravel bed river subject to a cycled flood hydrograph. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*. 2006; 111(F3).
- [46]. Leopold, L. B., & Maddock, T. The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications (Vol. 252). US Government Printing Office. 1953.
- [47]. Laden, N. R., Reilly, T. L., & Minnotte, J. S. Synthetic unit-hydrographs, distribution-graphs and flood-routing in the Upper Ohio River basin. *Eos, Transactions American Geophysical Union*. 1940; 21(2), 649-659.
- [48]. Alizadeh, A. *Applied Hydrology*. Fifteenth edition, Astan Quds Razavi Publications. 2005; 735 p. [Persian].
- [49]. Heidel, S. G. The progressive lag of sediment concentration with flood waves. *Eos, Transactions American Geophysical Union*. 1956; 37(1), 56-66.
- [50]. Tarboton, DG. Chapter 6. Simulation of Runoff Generation in Hydrologic Models. 2003.
- [51]. Napolitano, P., & Fabbri, A. G. (1996). Single-parameter sensitivity analysis for aquifer vulnerability assessment using DRASTIC and SINTACS. IAHS Publications-Series of Proceedings and Reports-Intern Assoc Hydrological Sciences. 1996; 23: 559-566.