

تحلیل خصوصیات هیدروژئومورفیک حوضه آبریز الندچای به منظور اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها از نظر

حساسیت سیل‌خیزی

محمدحسین رضائی مقدم^۱ - استاد ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

سید اسدالله حجازی - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

خلیل ولیزاده کامران - دانشیار سنجش از دور و GIS، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

توحید رحیم پور - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۵/۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۲۵

چکیده

تحقیق حاضر با هدف اولویت‌بندی زیر حوضه‌های حوضه آبریز الندچای واقع در استان آذربایجان غربی از نظر حساسیت سیل‌خیزی انجام گرفته است. برای نیل به این هدف، ابتدا حوضه آبریز الندچای بر اساس خصوصیات شبکه زهکشی و توپوگرافی و با استفاده از مدل رقمی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر به ۱۵ زیر حوضه تقسیم شد. در مرحله بعد پارامترهای ژئومورفومتریک هر زیر حوضه از سه جنبه خصوصیات شبکه زهکشی (شامل رتبه آبراهه، تعداد آبراهه، طول آبراهه، تناوب آبراهه، نسبت انشعاب، طول جریان در روی زمین، تراکم زهکشی، بافت زهکشی، نسبت بافت، شماره نفوذ، ثابت نگه داشت کانال و ضریب رو)، پارامترهای شکلی حوضه (شامل مساحت، ضریب فشردگی، نسبت مدور بودن، نسبت کشیدگی، ضریب شکل و شاخص شکل) و خصوصیات برجستگی حوضه آبریز (شامل برجستگی، نسبت برجستگی، عدد سختی یا زبری و نسبت شیب) با به‌کارگیری قوانین ژئومورفولوژیکی هورتن، شوم و استرالر در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شدند. به منظور وزن دهی ۲۲ پارامتر مورد بررسی در تحقیق حاضر از روش وزن دهی نوین SWARA استفاده شده و وزن نسبی هر یک از پارامترها برای ۱۵ زیر حوضه مورد مطالعه مشخص گردید. نتایج وزن دهی و اولویت‌بندی نشان داد که زیر حوضه‌های ۳، ۱، ۴ و ۲ به ترتیب با وزن ۰/۱۴۲، ۰/۱۲۲، ۰/۰۹۱ و ۰/۰۸۷ بیش‌ترین وزن را داشته و از حساسیت سیل‌خیزی بالایی برخوردار می‌باشند. در مقابل زیر حوضه ۱۳ با وزن نهایی ۰/۰۱۸ و زیر

حوضه ۶ با وزن ۰/۰۲۰ به ترتیب کم‌ترین وزن را از نظر ۲۲ پارامتر مورد بررسی داشته و در نتیجه در طبقه خیلی کم از نظر حساسیت سیل‌خیزی قرار دارند.

کلیدواژه‌ها: سیل، تحلیل هیدروژئومورفیک، اولویت‌بندی، SWARA, GIS، حوضه آبریز الوندچای.

۱- مقدمه

سیل یک فاجعه‌ی طبیعی عمومی است که سالانه خسارت‌های زیادی به محیط طبیعی و ساخت‌وساز در سراسر جهان وارد می‌سازد. تأثیرگذاری سیل تابعی از عملکرد چندین معیار از جمله قدرت سیل، بزرگی، تکرار، مدت زمان جریان، تغییرات پلان فرم و مقطع عرضی در رودخانه و... می‌باشد (داس^۱، ۲۰۱۹). فرسایش سریع و رانش زمین ناشی از سیل می‌تواند باعث تغییرات مورفولوژیکی ناگهانی در منطقه شود (ون تو^۲ و همکاران، ۲۰۱۶). سیلاب‌ها عموماً به‌طور ناگهانی شروع می‌شوند و در عرض چند ساعت به سرعت افزایش می‌یابند (بورگا^۳ و همکاران، ۲۰۰۸). آن‌ها بیشتر در فصل بهار به دلیل بارندگی شدید و یا ذوب برف اتفاق می‌افتند (فورل^۴ و همکاران، ۲۰۱۸). افزایش جمعیت و رشد سریع توسعه شهری و ساخت‌وساز در کنار رودخانه، خطر سیل‌گیری را در بسیاری از مناطق افزایش داده است (احمدی شرف و همکاران، ۲۰۱۶). آبراهه‌های فرعی و حوضه‌های آن‌ها نقش مهمی در وقوع سیلاب‌های پایین‌دست ایفا می‌کنند. هر زیر حوضه به دلیل مورفومتری زهکشی متنوع، تأثیر متمایزی بر روی کانال اصلی دارند (آزدمیر و ببرد^۵، ۲۰۰۹). علاوه بر این، تغییرات مورفولوژیکی در کانال‌های رودخانه‌ای ناشی از دخالت انسان یا به‌صورت طبیعی، گاهی اوقات ممکن است منجر به تغییراتی در جریان رودخانه و ایجاد سیل شود (یوسفی و همکاران، ۲۰۱۸). مدیریت خطر سیل نیاز به تسلط و غلبه بر مرزهای ملی، موقعیت جغرافیایی و محدودیت‌های اقتصادی-اجتماعی دارد (دی جورجیس^۶ و همکاران، ۲۰۱۲). مدیریت خطر سیل معمولاً به ارزیابی خطر سیل و کاهش خطر سیل تقسیم می‌شود (چانز^۷ و همکاران، ۲۰۰۶). اگرچه جلوگیری از وقوع سیل امکان‌پذیر نیست، می‌توان آن را از طریق تجزیه و تحلیل‌های مناسب و روش‌های پیش‌بینی، پیش‌بینی و کنترل کرد (کلاک و پاپنبرگر^۸، ۲۰۰۹). برای پیش‌بینی احتمال وقوع یک سیل و برای کاهش و مدیریت سیلاب‌های آینده، تهیه نقشه حساسیت سیل گامی ضروری است (کورجیالاس و کاراتزاس^۹، ۲۰۱۱). پیش‌بینی آسیب‌پذیری سیل می‌تواند تلفات ناشی از سیل و خسارت‌های اقتصادی را کاهش دهد (داس، ۲۰۱۹).

1 Das

2 Van Tu

3 Borga

4 Furl

5 Ozdemir and Bird

6 Degiorgis

7 Schanze

8 Cloke and Pappenberger

9 Kourgialas and Karatzas

حوضه آبریز الوندچای واقع در شهرستان خوی و شمال غرب ایران به دلیل زهکشی زیر حوضه‌های متعدد، گستردگی مساحت و شرایط زمین‌شناسی و توپوگرافیکی خاص از پتانسیل بالایی جهت وقوع سیل برخوردار می‌باشد. رودخانه الوندچای به‌عنوان رودخانه اصلی این حوضه، در فصل بهار به دلیل بارش‌های موسوم به نیشان و ذوب ذخایر برفی ارتفاعات داخل حوضه مثل کوه اورین، از میزان دبی بالایی برخوردار بوده و حالت طغیانی به خود می‌گیرد و در نتیجه باعث وارد آمدن خسارات فراوانی به زمین‌های کشاورزی و مناطق مسکونی اطراف خود می‌شود. روستاها و زمین‌های کشاورزی زیادی در حاشیه رودخانه الوندچای قرار گرفته‌اند که با آمدن فصل بهار و شروع بارندگی‌های سیل‌آسا، خسارات زیادی از طغیانی شدن این رودخانه متحمل می‌شوند. بنابراین تحقیق حاضر با هدف اولویت‌بندی زیر حوضه‌های حوضه آبریز الوندچای از نظر حساسیت سیل‌خیزی با استفاده از شاخص‌های هیدروژئومورفیک و روش تصمیم‌گیری¹ SWARA و با بهره‌گیری از توانایی سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) انجام گرفته است. نتایج اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها در مدیریت زیر حوضه‌هایی که از حساسیت بالایی نسبت به سیل‌خیزی برخوردار هستند حائز اهمیت می‌باشد.

تحقیقات متنوعی در رابطه با بررسی و پهنه‌بندی خطر سیل با به‌کارگیری مدل‌های مختلف در ایران و جهان صورت گرفته است که در ادامه به برخی از تازه‌ترین تحقیقات اشاره می‌شود: بدری و همکاران (۱۳۹۵)، زیر حوضه‌های آبخیز بهشت‌آباد استان چهارمحال و بختیاری را از نظر پتانسیل سیل‌خیزی مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق از روش شماره منحنی برای برآورد تلفات بارش، از روش SCS برای شبیه‌سازی تبدیل بارش - رواناب در سطح زیر حوضه‌ها و از روش ماسکینگام به‌منظور روندیابی هیدروگراف سیل خروجی حوضه استفاده شد. نتایج اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها از نظر دبی اوج نشان داد که زیر حوضه‌های درکش و رکش و بهشت‌آباد به ترتیب با ۲۹/۱۶ و ۲/۵ درصد، بیش‌ترین و کمترین سهم را در دبی اوج سیلاب خروجی از حوضه بر عهده دارند. نتایج اولویت‌بندی بر اساس کاهش دبی به ازای واحد سطح نیز نشان داد که زیر حوضه بهشت‌آباد با داشتن کمترین مساحت نسبت به سایر زیر حوضه‌ها بیشترین تأثیر را داشته است. زیر حوضه تنگ دهنو نیز کمترین تأثیر را از این نظر داشته است. عرب‌عامری و همکاران (۱۳۹۶)، در پژوهشی به پهنه‌بندی حساسیت سیل‌گیری در حوضه آبریز نکا واقع در استان مازندران پرداختند. در این تحقیق به منظور شناسایی مناطق حساس به سیل‌گیری از روش ترکیبی نوین تئوری بیزین - فرآیند سلسله مراتبی (Bayes-AHP) استفاده شد. ایشان ۱۱ عامل مؤثر در سیل‌گیری شامل درصد شیب، طبقات ارتفاعی، فاصله از آبراهه، تراکم زهکشی، شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI)، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، شاخص توان آبراهه (SPI)، بارندگی سالانه و انحنای سطح را مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد که عوامل درصد شیب، ارتفاع و کاربری اراضی

1 Step-wise Weight Assessment Ratio Analysis

بیشترین تأثیر را در وقوع سیلاب‌های منطقه داشته‌اند. همچنین نتایج نشان داد که ۱۷/۲۴ و ۱۵/۳۷ درصد از کل مساحت حوضه نکا در رده‌های حساسیت زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته است. رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۷)، سیلاب‌های رودخانه قره‌سو در محدوده روستای پیرازمیان تا تلاقی رودخانه اهرچای را با استفاده از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق ۷۲ کیلومتر از رودخانه قره‌سو مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد که با رخداد سیلابی با دوره بازگشت ۲۵ سال، مساحتی در حدود ۱۰۸۵ هکتار از اراضی کشاورزی و باغات حاشیه رودخانه قره‌سو به زیر آب رفته و خساراتی را برای کشاورزان منطقه به وجود خواهد آورد. پراساد و پانی^۱ (۲۰۱۷)، در تحقیقی به تحلیل ژئو-هیدرولوژیکی و اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها از نظر خطر وقوع سیلاب در حوضه آبریز رودخانه یوهی^۲ واقع در کشور هند پرداختند. در این تحقیق از خصوصیات مختلف مورفومتریک حوضه آبریز که در وقوع سیلاب نقش دارند استفاده شد. این محققین جهت اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها از نظر خطر وقوع سیل از مدل تحلیل مجموع وزنی (WSA^۳) استفاده کردند. نتایج تحقیق نشان داد که ۱۲/۸۳ و ۱۶/۹۴ درصد از مساحت کل منطقه به ترتیب در خطر خیلی زیاد و زیاد از نظر وقوع سیل قرار دارند. ایشان به منظور بررسی رفتار هیدرولوژیکی زیر حوضه‌ها و اولویت‌بندی آن‌ها از روش هیدروگراف واحد لحظه‌ای سیندر^۴ نیز استفاده کردند. نتایج این بررسی نیز نشان داد زیر حوضه‌هایی که از نظر خطر وقوع سیل در طبقه خیلی زیاد و زیاد قرار دارند، کمترین زمان تأخیر و بالاترین دبی حداکثری را در هر واحد از حوضه آبریز دارا می‌باشند. طاهاه^۵ و همکاران (۲۰۱۷)، در پژوهشی به پهنه‌بندی خطر سیل بر اساس ژئو-مورفومتری حوضه در حوضه آبریز وادی قنا واقع در کشور مصر پرداختند. در این تحقیق از تکنیک‌های GIS و سنجش‌ازدور برای تهیه نقشه خطر سیلاب استفاده شد. برای انجام این تحقیق، منطقه مورد مطالعه به ۱۵۱ زیر حوضه تقسیم شد. در مرحله بعد ۱۱ پارامتر ژئو-مورفومتریک زیر حوضه‌ها با استفاده از تکنیک‌های GIS و سنجش‌ازدور تهیه شدند. در ادامه با استفاده از روش هم‌پوشانی مجموع وزنی (WSO) لایه‌های اطلاعاتی هم‌پوشانی شده و نقشه خطر سیل تهیه شد. نتایج تحقیق نشان داد که اکثر زیر حوضه‌ها در طبقه کم تا متوسط از نظر خطر سیل قرار دارند و فقط زیر حوضه شماره ۱۵ در طبقه خیلی زیاد قرار گرفته است. تانگ^۶ و همکاران (۲۰۱۸)، در تحقیقی به ارزیابی مناطق حساس به سیل با استفاده از تحلیل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در محدوده گوچنگ واقع در کشور چین پرداختند. در این تحقیق از روش‌های میانگین وزنی مرتب شده (OWA^۷) و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی مونته‌کارلو جهت وزن دهی معیارها

1 Prasad and Pani

2 Uhl River watershed

3 weighted sum analysis

4 Snyder's synthetic unit hydrograph method

5 Taha

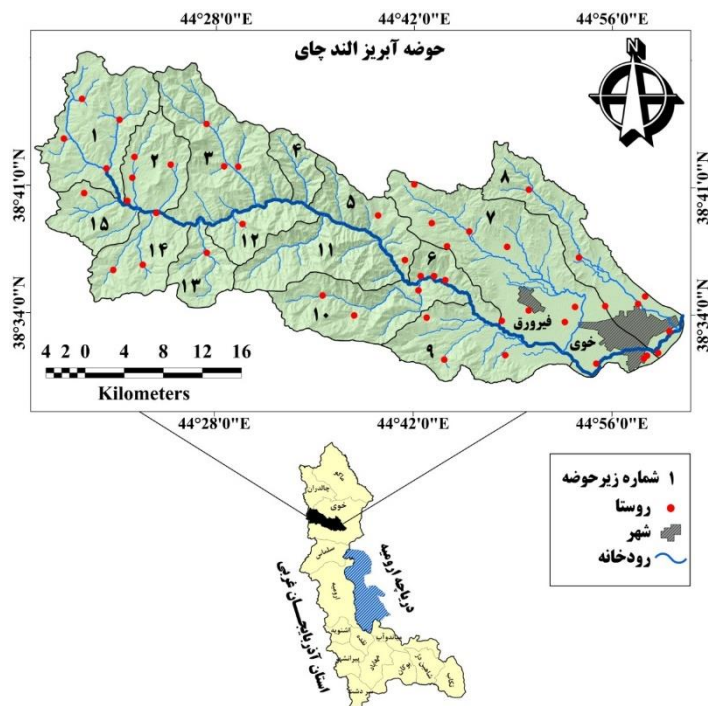
6 Tang

7 Ordered Weighted Averaging

استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که استفاده از روش ترکیبی، نتایج مدل را بهبود می‌بخشد و وزن معیارها باعث تغییرات مهم در خروجی مدل‌ها هستند. محمود و رحمان^۱ (۲۰۱۹)، در پژوهشی به مدل‌سازی حساسیت خطر سیل در حوضه آبریز پنجکورا واقع در کشور پاکستان با استفاده از رویکردهای ژئومورفومتری و هیدرولوژی پرداختند. در این تحقیق حوضه آبریز پنجکورا به ۳۰ زیر حوضه تقسیم شد و پارامترهای ژئومورفومتری هر زیر حوضه با استفاده از قوانین ژئومورفولوژیکی هورتن، شوم و استرالر محاسبه شد. عمق رواناب سطحی هر زیر حوضه نیز با استفاده از مدل هیدرولوژیکی NRCS تخمین زده شد. در مرحله بعد با استفاده از تکنیک تحلیل هم‌پوشانی وزنی، نقشه حساسیت خطر سیل تهیه شد. نتایج نشان داد که ۲۷ درصد از مساحت منطقه در طبقه خطر خیلی زیاد و ۳۶/۵ درصد از مساحت منطقه نیز در طبقه خطر زیاد از نظر حساسیت خطر سیل قرار دارد. همچنین نتایج تحقیق نشان داد که حساسیت خطر سیل رابطه مستقیمی با رواناب سطحی دارد، به طوری که با افزایش رواناب سطحی، حساسیت خطر سیل نیز افزایش می‌یابد.

۲- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز الندچای یک واحد فیزیوگرافیکی مهم در استان آذربایجان غربی و شمال غرب ایران است که توسط رودخانه الندچای و شاخه‌های فرعی آن زهکشی می‌شود (شکل ۱). مساحت حوضه حدود ۱۱۴۷/۳۰ کیلومتر مربع می‌باشد که از نظر موقعیت جغرافیایی بین مختصات $38^{\circ} 30' 14''$ تا $38^{\circ} 48' 22''$ عرض شمالی و $44^{\circ} 15' 13''$ تا $45^{\circ} 01' 02''$ طول شرقی قرار گرفته است. تغییرات ارتفاعی حوضه از ۱۰۹۳ متر در بستر رودخانه الندچای در خروجی حوضه تا ۳۶۳۸ متر ارتفاع از سطح دریا در کوه اورین می‌باشد. رودخانه اصلی این حوضه، الندچای می‌باشد که یکی از رودخانه‌های مهم و پر آب شهرستان خوی می‌باشد. این حوضه یکی از زیر حوضه‌های حوضه آبریز رود ارس محسوب می‌شود که آب‌های سطحی آن پس از پیوستن به رودخانه بزرگ قطورچای به رود ارس می‌ریزد. حوضه آبریز الندچای از نظر آب و هوایی معمولاً دارای زمستان‌های سرد و برفی و تابستان‌های معتدل بوده که میانگین دمای سالانه آن بر اساس آمار بلند مدت ایستگاه سینوپتیک خوی (۲۰۱۰-۱۹۶۱)، ۱۲/۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. میانگین بارندگی سالانه نیز حدود ۲۹۰ میلی‌متر می‌باشد. پوشش برفی ذخیره شده در کوه‌های مرتفع منطقه، آب مورد نیاز رودخانه الندچای را در فصول گرم سال تأمین می‌کنند. این رودخانه نقش مهمی در تأمین آب مورد نیاز زمین‌های کشاورزی منطقه دارد. طغیان این رودخانه در فصل بهار به دلیل بارش‌های موسوم به نیسان و همچنین ذوب ذخایر برفی ارتفاعات منطقه مثل کوه اورین با ارتفاع ۳۶۳۸ متر باعث وارد آمدن خسارات زیادی به زمین‌های کشاورزی و روستاهای این منطقه می‌شود.



شکل ۱ - موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان آذربایجان غربی

۳- مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر به لحاظ روش از نوع تحلیلی و به لحاظ هدف از نوع تحقیقات کاربردی می‌باشد. پارامترهای هیدروژئومورفیک از سه جنبه خصوصیات شبکه زهکشی، پارامترهای شکلی حوضه و خصوصیات برجستگی حوضه آبریز مورد بررسی قرار گرفته است (جدول ۱). به منظور تهیه لایه‌های اطلاعاتی هر یک از پارامترها از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر استفاده شده است. در مرحله بعد جهت تعیین وزن نسبی هر یک از پارامترهای هیدروژئومورفیک مورد استفاده در تحقیق از روش جدید وزن دهی SWARA استفاده شده و وزن هر یک از پارامترها جهت اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها از نظر حساسیت سیل خیزی مشخص شده است.

جدول ۱- پارامترهای هیدروژئومورفیک مورد استفاده و فرمول محاسبه آن‌ها

منبع	فرمول	پارامتر
هورتن ^۱ (۱۹۴۵)	$F_s = Nu/A$ Nu = تعداد کل آبراهه‌های حوضه آبریز A = مساحت حوضه آبریز	تناوب آبراهه
شوم ^۲ (۱۹۵۶)	$R_b = Nu/Nu + 1$	نسبت انشعاب

1 Horton
2 Schumm

پارامتر	فرمول	منبع
طول جریان در روی زمین	$Lof = 1/Dd \times 2$ $Dd =$ تراکم زهکشی	هورتن (۱۹۴۵)
تراکم زهکشی	$Dd = Lu/A$ $Lu =$ طول کل آبراهه‌های حوضه آبریز	هورتن (۱۹۴۵)
بافت زهکشی	$Dt = Nu/P$ $P =$ محیط حوضه آبریز	هورتن (۱۹۴۵)
نسبت بافت	$Rt = N1/P$	شوم (۱۹۵۶)
شماره نفوذ	$If = Dd \times Fs$	فانیران ^۱ (۱۹۶۸)
ثابت نگه داشت کانال	$C = 1/Dd$	شوم (۱۹۵۶)
ضریب رو	$\rho = Lur/Rb$ $Lur =$ نسبت طول آبراهه	هورتن (۱۹۴۵)
ضریب فشردگی	$Cc = 0.2812 \times P/A^{0.5}$	هورتن (۱۹۴۵)
نسبت مدور بودن	$Rc = 4 \times 3.14 A/P^2$	سینگ و سینگ ^۲ (۲۰۱۷)
نسبت کشیدگی	$Er = 1.128 \sqrt{A/L}$ $L =$ طول حوضه آبریز به کیلومتر	شوم (۱۹۵۶)
ضریب شکل	$Ff = A/Lb^2$	هورتن (۱۹۴۵)
شاخص شکل	$Sw = Lb^2/A$	هورتن (۱۹۴۵)
برجستگی حوضه	$Bh = hmax - hmin$ $hmax =$ حداکثر ارتفاع حوضه آبریز $hmin =$ حداقل ارتفاع حوضه آبریز	شوم (۱۹۵۶)
نسبت برجستگی	$Rr = Bh/Lb$	شوم (۱۹۵۶)
عدد سختی یا زبری	$Rn = Bh \times Dd$	استرالر ^۳ (۱۹۶۴)
نسبت شیب	$G = Bh/Lb \times 60$	سینگ و سینگ (۲۰۱۷)

مدل SWARA یا تحلیل نسبت ارزیابی وزن دهی تدریجی در سال ۲۰۱۰ توسط کرسولین^۴ و همکاران ارائه شد. این مدل به‌عنوان یک تکنیک تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) برای محاسبه وزن معیارها و زیرمعیارها استفاده می‌شود. روش تعیین وزن با استفاده از SWARA در گام‌های زیر ذکر شد است:

گام اول: ایجاد یک مدل تصمیم‌گیری بر اساس رابطه بین پارامترها. در این مرحله معیارهای مورد استفاده در تهیه نقشه حساسیت سیل‌خیزی بر اساس اهمیت مورد انتظارشان به‌صورت نزولی مرتب می‌شوند. برای تعیین اهمیت هر

1 Faniran
2 Singh and Singh
3 Strahler
4 Keršulienė

پارامتر از روش قضاوت کارشناس که توسط کندال^۱ (۱۹۷۰)، زاوادسکاس و ویلاتین^۲ (۲۰۰۶) و زاوادسکاس و همکاران (۲۰۱۰) ارائه شده است استفاده می‌شود.

گام دوم: وزن معیارها به صورت زیر محاسبه می‌شوند: از معیار دوم شروع می‌شود، پاسخ‌دهنده اهمیت نسبی معیار j را در ارتباط با معیار قبلی ($j - 1$) بیان می‌کند و این کار را برای هر معیار تکرار می‌کند. طبق کرسولین و همکاران (۲۰۱۰) این نسبت اهمیت مقایسه‌ای مقدار میانگین S_j نامیده می‌شود که از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$S_j = \frac{\sum_i^n A_i}{n} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن n تعداد کارشناسان؛ A_i رتبه‌های ارائه شده توسط کارشناسان برای هر پارامتر و j نشان‌دهنده تعداد پارامترها می‌باشد.

گام سوم: ضریب K_j از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$K_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ S_j + 1 & j > 1 \end{cases} \quad \text{رابطه (۲)}$$

گام چهارم: وزن مجددی q_j از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$q_j = \begin{cases} 1 & j = 1 \\ \frac{k_j - 1}{k_j} & j > 1 \end{cases} \quad \text{رابطه (۳)}$$

گام پنجم: وزن نسبی معیارها از طریق رابطه زیر به دست می‌آید:

$$W_j = \frac{q_j}{\sum_{j=1}^n q_j} \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن W_j نشان دهنده وزن نسبی معیار j و n نشان دهنده تعداد کل معیارها می‌باشد.

۴- بحث و نتایج

این تحقیق با هدف اولویت‌بندی ۱۵ زیر حوضه الندچای از نظر حساسیت سیل‌خیزی انجام گرفته است. بنابراین در گام نخست پارامترهای هیدروژئومورفیک تأثیرگذار در سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها از سه جنبه خصوصیات شبکه زهکشی (پارامترهای خطی)، هندسه حوضه (پارامترهای شکلی) و برجستگی حوضه (بالاآمدگی) مشخص و لایه‌های اطلاعاتی هر یک از این پارامترها در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شدند. پارامترهای خطی مثل رتبه آبراهه، طول آبراهه و نسبت انشعاب، اهمیت لیتولوژی بازالتی و کنترل ساختمانی را روی الگوی زهکشی نشان می‌دهند

1 Kendall

2 Zavadskas and Vilutiene

کاله و گوپتا^۱، ۲۰۰۱). در تحقیق حاضر از ۱۲ پارامتر خطی استفاده شده است. شکل ۲ نقشه پارامترهای خطی را که با استفاده از DEM در محیط نرم افزار ArcGIS تهیه شده‌اند نشان می‌دهد.

تراکم زهکشی (Dd)، پتانسیل رواناب، ظرفیت نفوذپذیری زمین، شرایط اقلیمی و پوشش گیاهی حوضه آبریز را نشان می‌دهد (طاهای^۲ و همکاران، ۲۰۱۷). مقادیر کم تراکم زهکشی شرایط مناسبی برای نفوذپذیری فراهم آورده و در نتیجه پتانسیل رواناب را کاهش می‌دهد و برعکس. تراکم زهکشی زیر حوضه‌های منطقه مورد مطالعه بین ۱/۲۵ تا ۱/۹۱ محاسبه شده است، که زیر حوضه شماره ۵ کمترین تراکم زهکشی و زیر حوضه شماره ۱ بیشترین تراکم زهکشی را دارا می‌باشد. نسبت انشعاب کم‌تر با خطر سیل‌گیری بالا مرتبط است. دلیل آن این است که احتمالاً آب به‌جای این‌که آزادانه پراکنده شود، در یک کانال جمع می‌شود (ابوزید^۳ و همکاران، ۲۰۱۶). در این تحقیق زیر حوضه شماره ۱ کمترین نسبت انشعاب (۲/۸۸) و زیر حوضه ۱۱ با نسبت انشعاب ۴/۸ بیشترین مقدار را داشته است. تناوب آبراهه (Fs) به مواد زیرسطحی غیرقابل نفوذ، پوشش گیاهی پراکنده و شرایط برجستگی بالا وابسته است (ابوزید و همکاران، ۲۰۱۶). ردی^۴ و همکاران (۲۰۰۴)، به این نتیجه رسیده‌اند که مقادیر کم تناوب آبراهه نشان دهنده مواد زیرسطحی نفوذپذیر و برجستگی کم می‌باشد. مقادیر بالای تناوب آبراهه نشان دهنده رواناب بالا و تراکم زهکشی زیاد می‌باشد. مقادیر تناوب آبراهه در منطقه مورد مطالعه بین ۱/۰۸۹ تا ۲/۴۲۹ متغیر بوده که زیر حوضه‌های ۱۵ و ۴ به ترتیب کمترین و بیشترین مقادیر را داشته‌اند. بافت زهکشی یکی از جنبه‌های مهم ژئومورفولوژی بوده و به معنای فاصله نسبی بین آبراهه‌ها می‌باشد (بیشت^۵ و همکاران، ۲۰۱۸). بافت زهکشی از اقلیم، بارش، پوشش گیاهی، لیتولوژی، نوع خاک، ظرفیت نفوذپذیری و مرحله توسعه حوضه تأثیر می‌پذیرد (اسمیت^۶، ۱۹۵۰). طبق طبقه‌بندی اسمیت بافت زهکشی به ۵ کلاس تقسیم می‌شود: خیلی درشت (کمتر از ۲)، درشت (۲-۴)، متوسط (۴-۶) - (۸-۶) و خیلی ریز (بیشتر از ۸). مقادیر بالاتر بافت زهکشی نشان دهنده ظرفیت نفوذپذیری کم و در نتیجه افزایش پتانسیل رواناب می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه، زیر حوضه ۶ با ۱/۰۸ کمترین مقدار بافت زهکشی و زیر حوضه ۳ با ۴/۸۷ بیشترین مقدار بافت زهکشی را داشته‌اند. طول آبراهه به‌عنوان فاصله از دهانه حوضه تا دورترین بخش از شبکه زهکشی تعریف می‌شود (هورتن، ۱۹۴۵). به‌طور کلی آبراهه‌های با طول بیشتر نشان دهنده شیب‌های مسطح‌تر هستند (کریستوفر^۷ و همکاران، ۲۰۱۰). طول آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه بین ۳۵ تا ۳۲۱/۹ کیلومتر متغیر بوده است، که زیر حوضه ۶ کمترین مقدار و زیر حوضه ۷ بیشترین مقدار داشته‌اند. نسبت بافت یک فاکتور مهم در

1 Kale and Gupta

2 Taha

3 Abuzied

4 Reddy

5 Bisht

6 Smith

7 Christopher

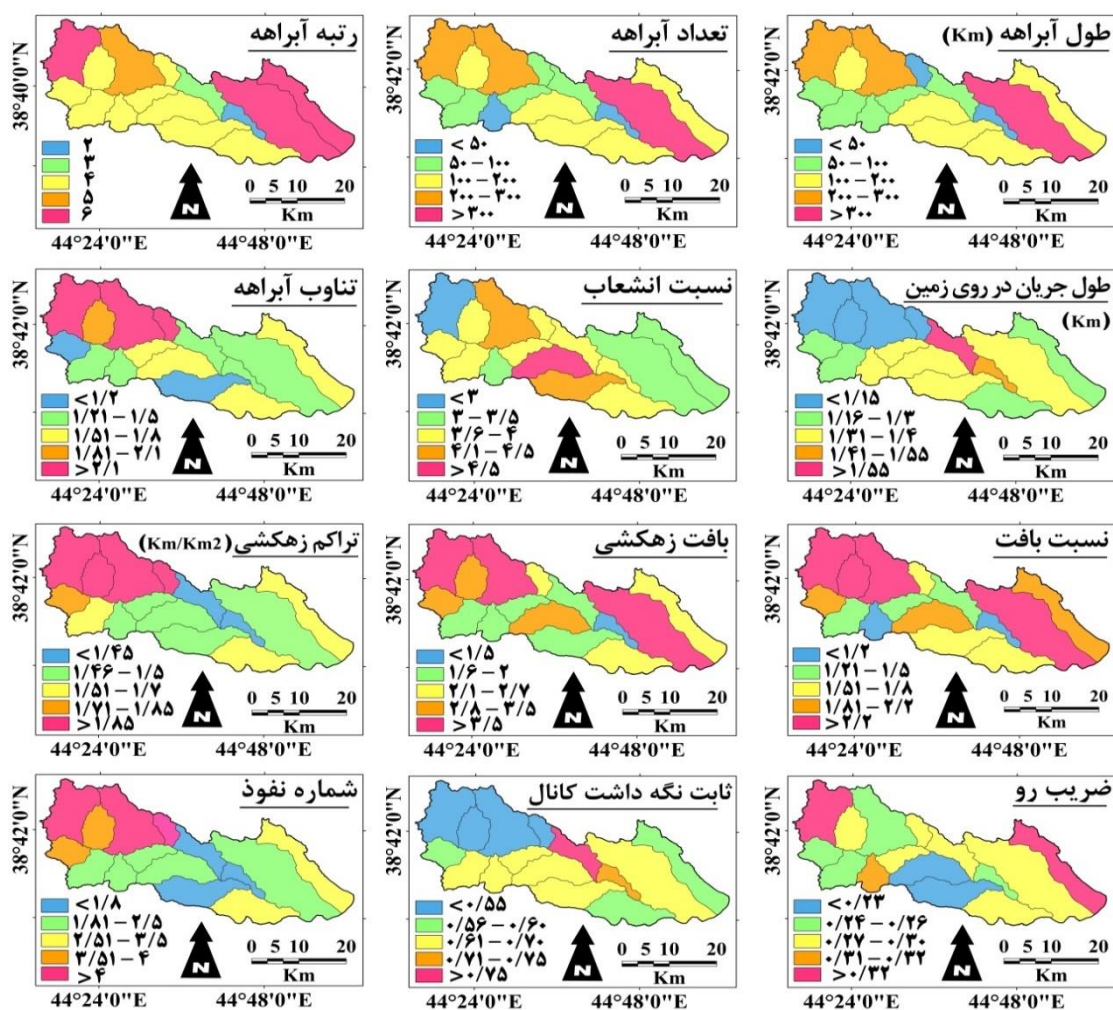
تحلیل مورفومتریکی شبکه زهکشی است که به لیتولوژی زیرین، ظرفیت نفوذپذیری و جنبه‌های برجستگی زمین وابسته است (سینگ و سینگ، ۲۰۱۷). در منطقه مورد مطالعه کمترین مقدار نسبت بافت مربوط به زیر حوضه ۶ با مقدار ۰/۸۶ و بیشترین مقدار نیز با ۳/۷۱ مربوط به زیر حوضه ۳ بوده است. شماره نفوذ نقش مهمی در درک ویژگی نفوذپذیری حوضه ایفا می‌کند. هر چه شماره نفوذ بیشتر باشد، میزان نفوذپذیری کمتر بوده و در مقابل میزان رواناب بیشتر خواهد بود (کومار رأی^۱ و همکاران، ۲۰۱۷). مقادیر شماره نفوذ در منطقه مورد مطالعه بین ۱/۷۴ تا ۴/۵۱ متغیر بوده که کمترین مقدار مربوط به زیر حوضه ۱۰ و بیشترین مقدار نیز مربوط به زیر حوضه‌های ۴ و ۳ می‌باشد. تعداد آبراهه‌ها به‌طور مستقیم متناسب با اندازه حوضه آبریز و ابعاد کانال می‌باشد. تعداد آبراهه‌های بیشتر نشان دهنده کم‌تر بودن میزان تخلخل و نفوذپذیری حوضه است (کومار رأی و همکاران، ۲۰۱۷). کمترین تعداد آبراهه در منطقه مورد مطالعه مربوط به زیر حوضه ۱۳ با ۴۸ آبراهه و بیشترین تعداد نیز با ۳۱۶ آبراهه مربوط به زیر حوضه ۷ بوده است. تقسیم‌بندی و رتبه‌بندی سلسله مراتبی آبراهه‌ها به منظور توضیح ویژگی هیدرودینامیکی حوضه زهکشی ضروری است. رتبه آبراهه به‌طور مستقیم متناسب با اندازه حوضه، ابعاد کانال و دبی رودخانه می‌باشد. رتبه آبراهه بزرگ‌تر با دبی بزرگ‌تر و سرعت جریان بیشتر مرتبط است (کومار رأی و همکاران، ۲۰۱۷). در زیر حوضه‌های منطقه مورد مطالعه کوچک‌ترین رتبه با عدد ۲ مربوط به زیر حوضه ۶ بوده و زیر حوضه‌های ۱، ۷ و ۸ بزرگ‌ترین رتبه یعنی ۶ را به خود اختصاص داده‌اند. طول جریان در روی زمین به نوع سنگ، نفوذپذیری، رژیم آب و هوایی، پوشش گیاهی و برجستگی و همچنین مدت زمان فرسایش بستگی دارد (شوم، ۱۹۵۶). مقادیر کم طول جریان زمینی نشان دهنده رواناب سطحی سریع‌تر، توسعه بهتر شبکه زهکشی و شیب بالاتر می‌باشد (بیش و همکاران، ۲۰۱۸). مقادیر طول جریان زمینی در منطقه مورد مطالعه بین ۱/۰۴ تا ۱/۶ محاسبه شده است که کمترین مقدار مربوط به زیر حوضه ۱ و بیشترین مقدار نیز مربوط به زیر حوضه ۵ بوده است. ضریب رو نشان دهنده تراکم زهکشی و توسعه حوضه آبریز می‌باشد. این فاکتور امکان ارزیابی ظرفیت ذخیره شبکه زهکشی را فراهم می‌آورد (هورتن، ۱۹۴۵). این فاکتور تحت تأثیر عوامل اقلیمی، زمین‌شناسی، بیولوژیکی، ژئومورفیک و انسانی می‌باشد (مزا^۲، ۲۰۰۶). مقادیر ضریب رو بالا نشان دهنده ظرفیت هیدرولیک بالا و کاهش اثرات فرسایش در طول دبی بزرگ‌تر می‌باشد (رامانی سوجاتا^۳ و همکاران، ۲۰۱۵). بنابراین می‌توان گفت که هر چه مقدار ضریب رو بالاتر باشد میزان ذخیره‌سازی آب در دوره‌های سیلابی بیشتر بوده و اثرات فرسایش و سیل کمتر می‌شود و برعکس. در منطقه مورد مطالعه مقدار ضریب رو بین ۰/۲۱ تا ۰/۳۴ محاسبه شده است. زیر حوضه ۱۱ کم‌ترین مقدار رو و زیر حوضه ۱ بیش‌ترین مقدار را داشته است. شوم در سال ۱۹۵۶، از تراکم زهکشی جهت تعریف ثابت نگه داشت کانال استفاده کرد. ثابت نگه داشت کانال نه تنها به نوع

1 Kumar Rai

2 Mesa

3 Ramani Sujatha

سنگ و نفوذپذیری، شرایط اقلیمی، پوشش گیاهی و برجستگی بستگی دارد، بلکه همچنین وابسته به مدت زمان فرسایش و اقلیم تاریخی می باشد (چاندراسکار^۱، ۲۰۱۵). مقادیر کم ثابت نگه داشت کانال نشان دهنده وجود خاک های نا مقاوم، پوشش گیاهی پراکنده و زمین های کوهستانی است، در مقابل مقادیر بالای این فاکتور خاک های مقاوم، پوشش گیاهی خوب و زمین های نسبتاً جلگه ای را نشان می دهد (شولیت^۲، ۱۹۶۸). مقدار این فاکتور برای زیر حوضه های منطقه مورد مطالعه بین ۰/۵۲ تا ۰/۷۹ محاسبه شده است که کمترین مقدار مربوط به زیر حوضه های ۳ و ۱ و بیشترین مقدار نیز مربوط به زیر حوضه ۵ بوده است. در جدول ۲ مقادیر پارامترهای خطی برای هر یک از زیر حوضه ها آورده شده است.



شکل ۲- لایه های اطلاعاتی پارامترهای خطی زیر حوضه های حوضه آبریز الندچای

1 Chandrashekar

2 Shulits

شکل حوضه و پارامترهای مرتبط با آن از قبیل نسبت کشیدگی، ضریب شکل، نسبت مدور بودن و شاخص شکل می‌تواند بر روی راندمان و کارایی زهکشی و حساسیت سیل تأثیر بگذارند (ابوزید و همکاران، ۲۰۱۶). در این تحقیق از ۶ پارامتر شکلی استفاده شده است. شکل ۳ نقشه پارامترهای شکلی را نشان می‌دهد. مساحت حوضه آبریز به عنوان یکی از جنبه‌های مهم در نظر گرفته می‌شود، زیرا مساحت بزرگ‌تر نشان دهنده تعداد آبراهه‌های بیشتر و در نتیجه رواناب بیشتری می‌باشد (بیشت و همکاران، ۲۰۱۸). در منطقه مورد مطالعه، مساحت زیر حوضه‌ها از ۲۵ تا ۲۱۹/۵ کیلومتر مربع متغیر بوده است. زیر حوضه ۴ کمترین مساحت و زیر حوضه ۷ بیشترین مساحت را داشته‌اند.

جدول ۲- مقادیر محاسبه شده پارامترهای خطی زیر حوضه‌های ۱۵ گانه الندچای

ρ	C	If	RT	Dt	Dd	Lof	Rb	Fs	Lu	Nu	So	No
۰/۳۴	۰/۵۲	۴/۴۱	۲/۹۷	۴/۳۹	۱/۹۱	۱/۰۴	۲/۸۸	۲/۳۱۳	۲۰۷/۴	۲۵۱	۶	۱
۰/۲۷	۰/۵۳	۳/۸۶	۲/۵۸	۳/۴۶	۱/۸۶	۱/۰۷	۳/۷	۲/۰۸۰	۱۰۲/۲	۱۱۴	۴	۲
۰/۲۴	۰/۵۲	۴/۵۱	۳/۷۱	۴/۸۷	۱/۸۹	۱/۰۵	۴/۱	۲/۳۹۰	۲۳۳/۳	۲۹۵	۵	۳
۰/۲۷	۰/۵۳	۴/۵۱	۱/۶۸	۲/۶۱	۱/۸۶	۱/۰۷	۳/۷	۲/۴۲۹	۴۷/۵	۶۲	۴	۴
۰/۲۷	۰/۷۹	۱/۷۹	۱/۲۴	۱/۶۳	۱/۲۵	۱/۶	۳/۷	۱/۴۳۷	۶۲/۷	۷۲	۳	۵
۰/۲۵	۰/۷۵	۱/۷۵	۰/۸۶	۱/۰۸	۱/۳۲	۱/۵۱	۴	۱/۳۲۹	۳۵	۳۵	۲	۶
۰/۳۰	۰/۶۸	۲/۱۰	۲/۴۳	۳/۶۱	۱/۴۶	۱/۳۶	۳/۳	۱/۴۳۹	۳۲۱/۹	۳۱۶	۶	۷
۰/۳۳	۰/۵۹	۲/۸۸	۱/۸۵	۲/۵۳	۱/۶۸	۱/۱۹	۳/۰۴	۱/۷۱۶	۱۷۹/۵	۱۸۳	۶	۸
۰/۲۷	۰/۶۰	۲/۵۴	۱/۷۹	۲/۵۵	۱/۶۵	۱/۲۱	۳/۶	۱/۵۴۱	۱۴۴/۱	۱۳۴	۴	۹
۰/۲۳	۰/۶۸	۱/۷۴	۱/۵۲	۲	۱/۴۶	۱/۳۶	۴/۲	۱/۱۹۶	۱۲۸/۶	۱۰۵	۴	۱۰
۰/۲۱	۰/۶۶	۲/۴۷	۲/۰۶	۲/۹۱	۱/۵۰	۱/۳۳	۴/۸	۱/۶۵۲	۱۲۵/۰۸	۱۳۷	۴	۱۱
۰/۲۷	۰/۶۷	۲/۲۶	۱/۳۳	۱/۷۶	۱/۴۸	۱/۳۵	۳/۷	۱/۵۲۹	۵۵/۳	۵۷	۴	۱۲
۰/۳۲	۰/۶۷	۱/۸۷	۱/۱۲	۱/۶۴	۱/۴۸	۱/۳۵	۳/۱	۱/۲۶۹	۵۶/۲	۴۸	۴	۱۳
۰/۲۶	۰/۶۴	۱/۸۸	۱/۳۹	۱/۹۴	۱/۵۴	۱/۲۹	۳/۸	۱/۲۲۷	۸۹/۶	۷۱	۴	۱۴
۰/۲۶	۰/۵۸	۳/۵۷	۲/۰۲	۲/۹۱	۱/۷۱	۱/۱۶	۳/۹	۱/۰۸۹	۷۲/۲	۸۸	۴	۱۵

No شماره زیر حوضه، So رتبه آبراهه، Nu تعداد آبراهه، Lu طول آبراهه، Fs تناوب آبراهه، Rb نسبت انشعاب، Lof طول جریان در روی زمین، Dd تراکم هکشی، Dt بافت زهکشی، Rt نسبت بافت، If شماره نفوذ، C ثابت نگه داشت کانال، ρ ضریب رو

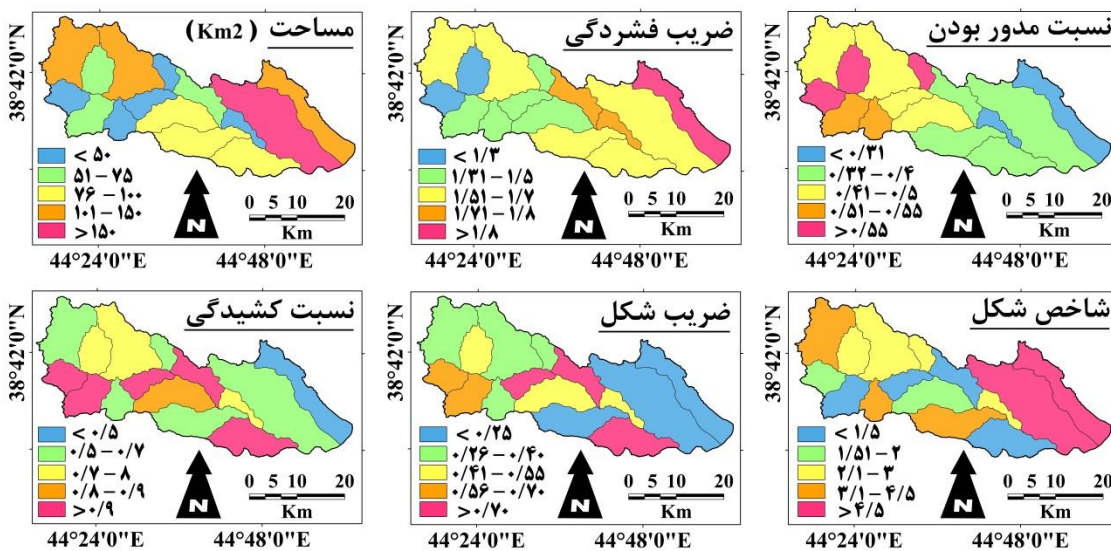
ضریب فشردگی عبارت است از نسبت محیط حوضه به محیط دایره فرضی که مساحت آن برابر مساحت حوضه می‌باشد. اگر مقدار ضریب فشردگی ۱ باشد نشان می‌دهد که حوضه دایره کامل است. مقدار بزرگ‌تر از ۱ نشان دهنده کشیدگی حوضه است. حوضه دایره‌ای از نظر زهکشی حساس‌تر است، زیرا کمترین زمان تمرکز را قبل

از اینکه اوج جریان در حوضه اتفاق بیافتد، به دست خواهد آورد (نوکاراتنام^۱ و همکاران، ۲۰۰۵). مقادیر ضریب فشردگی زیر حوضه‌های منطقه مورد مطالعه بین ۱/۲۴ تا ۱/۹۶ محاسبه شده است که زیر حوضه ۲ دارای کمترین مقدار و زیر حوضه ۸ نیز بیشترین مقدار را داشته است. نسبت مدور بودن عبارت است از نسبت مساحت حوضه به مساحت دایره‌ای که محیط آن مساوی محیط حوضه می‌باشد (میلر^۲، ۱۹۵۳). نسبت مدور بودن از فاکتورهای تراکم زهکشی، تناوب زهکشی، ساختار زمین‌شناسی، برجستگی، شیب، پوشش گیاهی و پوشش زمین حوضه آبریز تأثیر می‌پذیرد. مقادیر آن از صفر برای یک شکل کاملاً کشیده تا ۱ برای شکل دایره‌ای کامل متغیر است (بیشت و همکاران، ۲۰۱۸). هر چه مقادیر این پارامتر به یک نزدیک‌تر باشد حساسیت سیل‌خیزی حوضه بیشتر خواهد بود. مقادیر این پارامتر برای زیر حوضه‌های منطقه مورد مطالعه از ۰/۲۵ تا ۰/۶۳ متغیر بوده است که زیر حوضه ۸ کمترین مقدار و زیر حوضه ۲ نیز بیشترین مقدار را داشته‌اند. نسبت کشیدگی یک فاکتور مهم برای تحلیل شکل حوضه آبریز است. دبی جریان در یک حوضه دایره‌ای بیشتر از حوضه کشیده می‌باشد (سینگ و سینگ، ۱۹۹۷). مقادیر نسبت کشیدگی از صفر برای شکل خیلی کشیده تا یک برای شکل دایره‌ای کامل متغیر است. طبق طبقه‌بندی استرالر (۱۹۶۴)، نسبت کشیدگی حوضه به ۵ طبقه تقسیم می‌شود: مقادیر بیشتر از ۰/۹ برای شکل دایره‌ای، بین ۰/۸ - ۰/۷ برای بیضی، ۰/۸ - ۰/۷ برای کشیدگی کمتر، ۰/۷ - ۰/۵ برای حوضه کشیده و کمتر از ۰/۵ برای حوضه خیلی کشیده. مقادیر این پارامتر برای زیر حوضه‌های منطقه مورد مطالعه بین ۰/۴۱ تا ۰/۹۹ محاسبه شده است. زیر حوضه ۸ کمترین مقدار و زیر حوضه‌های ۱۲ و ۹، بیشترین مقدار را داشته‌اند. ضریب شکل، شکل‌گیری سیل، درجه فرسایش و ظرفیت حمل بار رسوبی حوضه را نشان می‌دهد. این فاکتور شکل حوضه را تعیین می‌کند که مقادیر آن از صفر برای حوضه کشیده تا ۱ برای حوضه دایره‌ای کامل متغیر است. حوضه دایره‌ای نشان دهنده پیک جریان زیاد در مدت زمان کوتاه‌تر می‌باشد در حالی که حوضه کشیده، پیک جریان آرام را در مدت زمانی طولانی‌تر نشان می‌دهد. در حوضه کشیده، جریان سیل نسبت به حوضه دایره‌ای به راحتی می‌تواند مدیریت شود (بیشت و همکاران، ۲۰۱۸). در منطقه مورد مطالعه، زیر حوضه ۸ با مقدار ۰/۱۳ و زیر حوضه ۱۲ با مقدار ۰/۷۸ به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار ضریب شکل را داشته‌اند. شاخص شکل حوضه نیز بیانگر این مطلب هست که هر چه مقدار این پارامتر بیشتر باشد، دبی اوج سیلاب کمتر خواهد بود و برعکس (پرساد و پانی^۳، ۲۰۱۷). مقادیر این پارامتر نیز در منطقه مورد مطالعه بین ۱/۲۷ تا ۷/۴۰ متغیر بود است. کمترین مقدار این پارامتر مربوط به زیر حوضه ۱۲ و بیشترین مقدار نیز مربوط به زیر حوضه ۸ می‌باشد. در جدول ۳ مقادیر پارامترهای شکلی محاسبه شده برای هر یک از زیر حوضه‌ها ارائه شده است.

1 Nookaratnam

2 Miller

3 Prasad and Pani



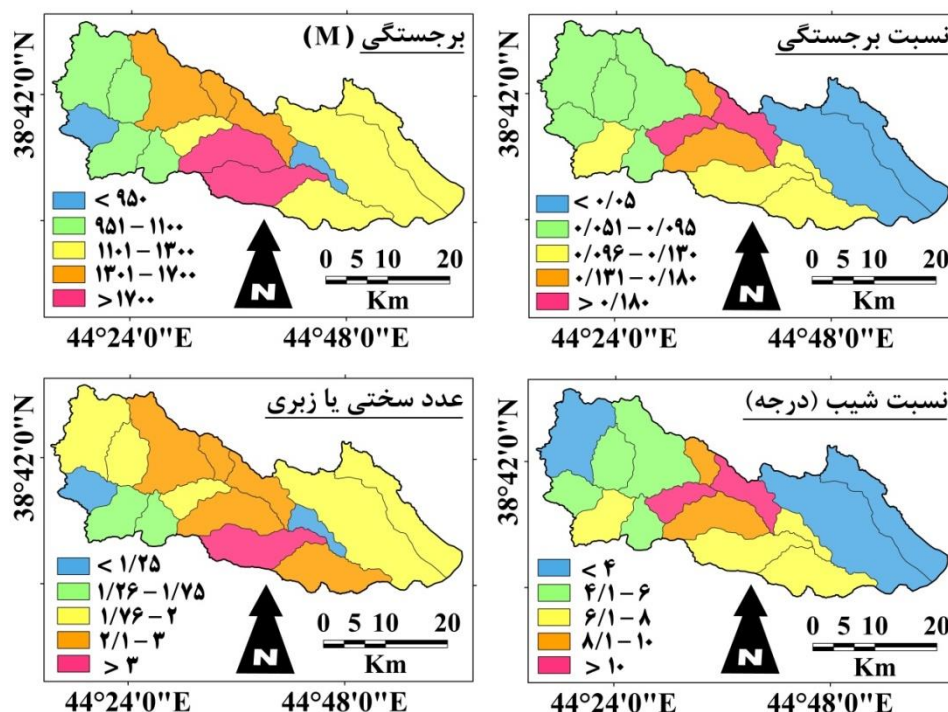
شکل ۳- لایه‌های اطلاعاتی پارامترهای شکلی زیر حوضه‌های حوضه آبریز الندچای

جدول ۳- مقادیر محاسبه شده پارامترهای شکلی زیر حوضه‌های ۱۵ گانه الندچای

Sw	Ff	Er	Rc	Cc	A	No
۳/۲۵	۰/۳۰	۰/۶۲	۰/۴۱	۱/۵۳	۱۰۸/۴۹۷۹	۱
۲/۲۸	۰/۴۳	۰/۷۴	۰/۶۳	۱/۲۴	۵۴/۷۹۹۳	۲
۲/۵۶	۰/۳۸	۰/۷۰	۰/۴۲	۱/۵۲	۱۲۳/۳۸۰۳	۳
۲/۹۶	۰/۳۳	۰/۶۵	۰/۵۶	۱/۳۱	۲۵/۵۱۷۱	۴
۱/۳۴	۰/۷۴	۰/۹۷	۰/۳۲	۱/۷۴	۵۰/۰۷۹۹	۵
۲/۳	۰/۴۳	۰/۷۴	۰/۳۱	۱/۷۶	۲۶۳۲۸۲	۶
۴/۶۰	۰/۲۱	۰/۵۲	۰/۳۶	۱/۶۵	۲۱۹/۵	۷
۷/۴۰	۰/۱۳	۰/۴۱	۰/۲۵	۱/۹۶	۱۰۶/۵۸۹۱	۸
۱/۳۹	۰/۷۱	۰/۹۵	۰/۳۹	۱/۵۷	۸۶/۹۵۳۰	۹
۴/۴۶	۰/۲۲	۰/۵۳	۰/۴۰	۱/۵۶	۸۷/۷۴۰۲	۱۰
۲	۰/۴۹	۰/۷۹	۰/۴۷	۱/۴۴	۸۲/۹۱۵۸	۱۱
۱/۲۷	۰/۷۸	۰/۹۹	۰/۴۵	۱/۴۷	۳۷/۲۶۱۴	۱۲
۳/۵۵	۰/۲۸	۰/۵۹	۰/۵۵	۱/۳۳	۳۷/۸۲۵۱	۱۳
۱/۴۶	۰/۶۸	۰/۹۳	۰/۵۴	۱/۳۴	۵۷/۸۳۳۵	۱۴
۱/۵۷	۰/۶۵	۰/۹۱	۰/۵۸	۱/۳۰	۴۲/۱۱۷۲	۱۵

No شماره زیر حوضه، A مساحت به کیلومتر مربع، Cc ضریب فشردگی، Rc نسبت مدور بودن، Er نسبت کشیدگی، Ff ضریب شکل، Sw شاخص شکل

ویژگی‌های سطحی حوضه آبریز از قبیل برجستگی، نسبت برجستگی، نسبت برجستگی نسبی، درجه سختی یا زبری و شیب نقش ضروری در پاسخ‌های هیدرولوژیکی حوضه آبریز و انباشت رواناب آن‌ها دارند (شوم، ۱۹۵۶). معمولاً رواناب در حوضه‌های با نسبت برجستگی بالا و شیب تندتر، سریع‌تر جریان می‌یابد. بنابراین حوضه‌هایی با نسبت برجستگی بالاتر، زمان تأخیر کمتر، پیک بالا و سرعت جریان بیشتری را تجربه می‌کنند. از این رو از حساسیت بالایی برای سیل برخوردار هستند (ابوزید و همکاران، ۲۰۱۶). در این تحقیق از ۴ پارامتر برجستگی، نسبت برجستگی، درجه سختی یا زبری و نسبت شیب استفاده شده است. شکل ۳ نقشه پارامترهای برجستگی و جدول ۴ مقادیر پارامترهای محاسبه شده برای هر یک از زیر حوضه‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۴- لایه‌های اطلاعاتی پارامترهای برجستگی زیر حوضه‌های حوضه آبریز الندچای

جدول ۴- مقادیر محاسبه شده پارامترهای برجستگی زیر حوضه‌های ۱۵ گانه الندچای

G	Rn	Rr	Bh	No
۳/۰۹	۱/۸۵	۰/۰۵۱	۹۷۱	۱
۵/۳	۱/۸۵	۰/۰۸۹	۹۹۷	۲
۴/۵	۲/۵۴	۰/۰۷۵	۱۳۴۶	۳
۹/۷	۲/۶۲	۰/۱۶۲	۱۴۱۰	۴

G	Rn	Rr	Bh	No
۱۲/۳	۲/۱۱	۰/۲۰۶	۱۶۹۲	۵
۷/۲	۱/۲۴	۰/۱۲۱	۹۴۵	۶
۲/۳	۱/۸۶	۰/۰۳۸	۱۲۰۹	۷
۲/۴	۱/۹۴	۰/۰۴۱	۱۱۵۷	۸
۷	۲/۱۲	۰/۱۱۷	۱۲۸۸	۹
۶/۶	۳/۱۹	۰/۱۱۰	۲۱۹۱	۱۰
۸/۳	۲/۶۸	۰/۱۳۸	۱۷۹۱	۱۱
۱۱/۰۴	۱/۸۸	۰/۱۸۴	۱۲۷۲	۱۲
۵/۶	۱/۶۰	۰/۰۹۳	۱۰۸۵	۱۳
۶/۳	۱/۴۹	۰/۱۰۵	۹۶۸	۱۴
۴/۱	۰/۹۴	۰/۰۶۸	۵۵۰	۱۵

No شماره زیر حوضه، Bh برجستگی، Rr نسبت برجستگی، Rn عدد سختی یا زبری، G
نسبت شیب

پس از محاسبه مقادیر هر یک از پارامترها و تهیه لایه‌های اطلاعاتی آن‌ها، به منظور وزن دهی پارامترها از مدل SWARA استفاده شد. جهت وزن دهی پارامترها از نتایج سایر محققین استفاده شده و وزن دهی پارامترها بر اساس تأثیر هر کدام از آن‌ها در سیل خیزی زیرحوضه‌ها انجام شد. همان‌طور که در بخش روش تحقیق گفته شد در این مدل پارامترها به ترتیب نزولی مرتب شده و به پارامتری که بیشترین تأثیر را دارد رتبه یک داده می‌شود. سایر پارامترها نیز نسبت به اهمیتشان در حساسیت سیل خیزی در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. نتایج وزن دهی پارامترهای مورد استفاده برای ۱۵ زیر حوضه مورد مطالعه در جداول ۵ تا ۷ آورده شده است.

جدول ۵- وزن نسبی پارامترهای خطی زیر حوضه‌های ۱۵ گانه الوندچای

No	So	Nu	Lu	Fs	Rb	Lof	Dd	Dt	Rt	If	C	p
۱	۰/۱۵۳	۰/۱۲۹	۰/۱۳۷	۰/۱۲۴	۰/۳۲۸	۰/۳۰۶	۰/۴۱۶	۰/۲۳۲	۰/۲۶۰	۰/۱۶۳	۰/۲۳۸	۰/۰۰۲
۲	۰/۰۴۶	۰/۰۱۲	۰/۰۰۶	۰/۰۷۳	۰/۰۳۹	۰/۱۷۹	۰/۱۱۲	۰/۰۶۹	۰/۱۴۰	۰/۰۹۱	۰/۱۴۱	۰/۰۲۲
۳	۰/۰۸۱	۰/۲۴۰	۰/۲۵۳	۰/۲۳۶	۰/۰۰۹	۰/۲۰۳	۰/۲۱۳	۰/۴۴۱	۰/۴۲۹	۰/۳۱۱	۰/۲۳۸	۰/۱۱۷
۴	۰/۰۴۶	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۲	۰/۴۶۱	۰/۰۳۹	۰/۱۱۹	۰/۱۱۲	۰/۰۲۲	۰/۰۰۳	۰/۳۱۱	۰/۱۴۱	۰/۰۲۲
۵	۰/۰۲۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۳۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۷	۰/۰۲۲
۶	۰/۰۱۸	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۱۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۶۵
۷	۰/۱۵۳	۰/۴۰۶	۰/۴۰۰	۰/۰۰۴	۰/۰۷۷	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۱۲۹	۰/۰۷۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۱۳
۸	۰/۱۵۳	۰/۰۷۶	۰/۰۸۰	۰/۰۴۵	۰/۱۹۰	۰/۰۴۶	۰/۰۳۳	۰/۰۰۶	۰/۰۱۳	۰/۰۳۱	۰/۰۴۱	۰/۰۰۴

ρ	C	If	Rt	Dt	Dd	Lof	Rb	Fs	Lu	Nu	So	No
۰/۰۲۲	۰/۰۲۲	۰/۰۱۷	۰/۰۰۷	۰/۰۱۱	۰/۰۱۹	۰/۰۲۷	۰/۰۵۳	۰/۰۱۴	۰/۰۷۴	۰/۰۴۳	۰/۰۴۶	۹
۰/۲۱۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۶	۰/۰۰۰۳	۰/۰۲۴	۰/۰۰۶	۰/۰۴۶	۱۰
۰/۳۹۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۹	۰/۰۴۳	۰/۰۳۹	۰/۰۰۶	۰/۰۰۹	۰/۰۰۵	۰/۰۲۶	۰/۰۱۲	۰/۰۷۶	۰/۰۴۶	۱۱
۰/۰۲۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۳۹	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۴۶	۱۲
۰/۰۰۷	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۱۱۵	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۲	۰/۰۴۶	۱۳
۰/۰۳۷	۰/۰۱۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۱۱	۰/۰۱۵	۰/۰۲۸	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۴۶	۱۴
۰/۰۳۷	۰/۰۷۸	۰/۰۵۲	۰/۰۲۲	۰/۰۳۹	۰/۰۶۲	۰/۰۷۴	۰/۰۱۸	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۴۶	۱۵

No شماره زیر حوضه، So رتبه آبراهه، Nu تعداد آبراهه، Lu طول آبراهه، Fs تناوب آبراهه، Rb نسبت انشعاب، Lof طول جریان در روی زمین، Dd تراکم هکشی، Dt بافت زهکشی، Rt نسبت بافت، If شماره نفوذ، C ثابت نگه داشت کانال، ρ ضریب رو

جدول ۶- وزن نسبی پارامترهای برجستگی زیرحوضه های ۱۵ گانه الوندچای

G	Rn	Rr	Bh	No	G	Rn	Rr	Bh	No
۰/۰۲۳	۰/۰۰۲	۰/۰۲۱	۰/۰۲۳	۹	۰/۰۰۰۵	۰/۰۲۶	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۶	۱
۰/۰۱۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۱۱	۰/۳۷۵	۱۰	۰/۰۰۲	۰/۰۲۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۲
۰/۱۷۶	۰/۰۰۰۴	۰/۱۷۵	۰/۳۵۴	۱۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۴۲	۳
۰/۱۹۲	۰/۰۱۴	۰/۲۶۳	۰/۰۱۲	۱۲	۰/۱۸۴	۰/۰۰۰۷	۰/۲۰۸	۰/۰۷۴	۴
۰/۰۰۳	۰/۰۷۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۱۳	۰/۳۴۸	۰/۰۰۴	۰/۲۶۴	۰/۱۰۳	۵
۰/۰۰۶	۰/۱۳۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۳	۱۴	۰/۰۴۵	۰/۲۴۱	۰/۰۴۱	۰/۰۰۰۲	۶
۰/۰۰۰۸	۰/۴۲۲	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۱	۱۵	۰/۰۰۰۲	۰/۰۴۴	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۶	۷
					۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۳	۸

No شماره زیر حوضه، Bh برجستگی، Rr نسبت برجستگی، Rn عدد سختی یا زبری، G نسبت شیب

جدول ۷- وزن نسبی پارامترهای شکلی زیرحوضه های ۱۵ گانه الوندچای

Sw	Ff	Er	Rc	Cc	A	No
۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۱۴۴	۱
۰/۰۱۳	۰/۰۱۲	۰/۰۱۰	۰/۴۴۷	۰/۴۷۵	۰/۰۰۲	۲
۰/۰۰۳	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵	۰/۲۶۶	۳
۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۱۳۸	۰/۱۲۸	۰/۰۰۰۱	۴
۰/۱۵۲	۰/۲۳۴	۰/۲۳۵	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۱	۵
۰/۰۰۷	۰/۰۱۲	۰/۰۱۰	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۶
۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۴	۰/۴۲۶	۷
۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۷۳	۸

No	A	Cc	Rc	Er	Ff	Sw
۹	۰/۰۲۱	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۱	۰/۲۲۹	۰/۲۲۸	۰/۱۹۱
۱۰	۰/۰۴۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۴
۱۱	۰/۰۱۱	۰/۰۲۰	۰/۰۲۱	۰/۰۱۹	۰/۰۲۱	۰/۰۶۳
۱۲	۰/۰۰۰۳	۰/۰۱۰	۰/۰۱۱	۰/۲۸۷	۰/۳۰۴	۰/۳۰۰
۱۳	۰/۰۰۰۶	۰/۰۶۷	۰/۰۷۲	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۷
۱۴	۰/۰۰۶	۰/۰۳۵	۰/۰۳۸	۰/۰۹۸	۰/۰۸۷	۰/۱۲۲
۱۵	۰/۰۰۱	۰/۲۵۰	۰/۲۵۵	۰/۰۹۵	۰/۰۸۵	۰/۱۲۰

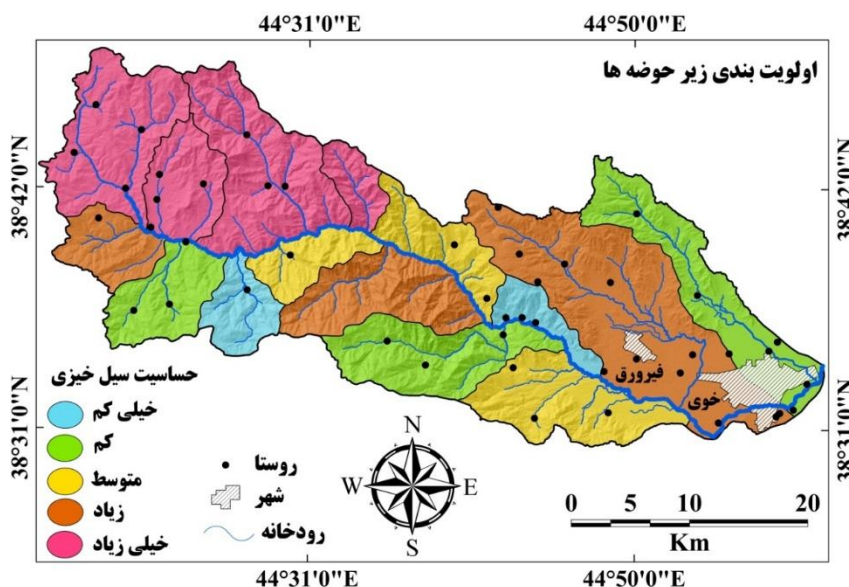
No شماره زیر حوضه، A مساحت، Cc ضریب فشردگی، Rc نسبت ملور بودن، Er نسبت کشیدگی، Ff

ضریب شکل، Sw شاخص شکل

پس از تعیین وزن نسبی هر یک از پارامترها برای ۱۵ زیر حوضه، اقدام به تعیین وزن نهایی هر زیر حوضه از مجموع ۲۲ پارامتر مورد بررسی شده و زیر حوضه‌ها از نظر وزن نهایی به ترتیب اولویت‌بندی شدند. وزن نهایی پارامترها برای ۱۵ زیر حوضه مورد مطالعه در جدول ۸ آورده شده است. نتایج نهایی وزن دهی پارامترها نشان می‌دهد که زیر حوضه‌های ۳، ۱، ۴ و ۲ طبق ۲۲ پارامتر هیدروژئومورفیک مورد بررسی، به ترتیب بیشترین وزن را داشته و از حساسیت سیل‌خیزی خیلی زیادی برخوردار هستند. در مقابل دو زیر حوضه ۱۳ و ۶ کم‌ترین حساسیت را از نظر سیل‌خیزی نشان می‌دهند. شکل ۵ نقشه اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها از نظر حساسیت سیل‌خیزی را نشان می‌دهد.

جدول ۸- وزن نهایی پارامترها و اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها از نظر سیل‌خیزی

زیر حوضه	۳	۱	۴	۲	۷	۱۵	۱۱	۱۲	۵	۹	۸	۱۰	۱۴	۶	۱۳
وزن نهایی پارامتر برای هر زیر حوضه	۳۳/۰	۳۱/۰	۱۵/۰	۸۷/۰	۵۸/۰	۵۸/۰	۸۰/۰	۵۶/۰	۵۶/۰	۵۳/۰	۳۳/۰	۳۳/۰	۳۴/۰	۲۰/۰	۷۰/۰
اولویت‌بندی	۵	۵	۵	۵	۴	۴	۴	۳	۳	۳	۲	۲	۲	۱	۱
سیل‌خیزی	خیلی زیاد			زیاد			متوسط			کم			خیلی کم		



شکل ۵- نقشه اولویت بندی زیر حوضه ها از نظر حساسیت سیل خیزی

۵- نتیجه گیری

در تحقیق حاضر تلاش شد تا نقش شاخص های هیدروژئومورفیک در حساسیت سیل خیزی زیر حوضه های حوضه آبریز الندیچای مورد بررسی قرار گیرد. جهت بررسی زیر حوضه ها از ۲۲ پارامتر هیدروژئومورفیک از سه جنبه خصوصیات شبکه زهکشی، پارامترهای شکلی حوضه و خصوصیات برجستگی حوضه آبریز استفاده شد. نتایج وزن دهی پارامترها برای زیر حوضه های مورد مطالعه نشان داد که زیر حوضه های ۱، ۳، ۴ و ۲ به ترتیب با وزن ۰/۱۴۲، ۰/۱۲۲، ۰/۰۹۱ و ۰/۰۸۷ بیشترین وزن را داشته اند. این زیر حوضه ها از نظر اولویت بندی حساسیت سیل خیزی در طبقه خیلی زیاد قرار گرفته اند. زیر حوضه های ۷، ۱۵ و ۱۱ نیز به ترتیب وزن شان در طبقه زیاد از نظر حساسیت سیل خیزی قرار دارند. همچنین زیر حوضه های ۱۲، ۵ و ۹ در طبقه متوسط، زیر حوضه های ۸، ۱۰ و ۱۴ در طبقه کم و زیر حوضه های ۶ و ۱۳ نیز با توجه به وزن نهایی شان از نظر اولویت بندی در طبقه خیلی کم قرار دارند. مجموع مساحت زیر حوضه هایی که در طبقات زیاد و خیلی زیاد از نظر سیل خیزی قرار دارند ۶۵۶/۷۲ کیلومتر مربع هست که ۵۷/۲۴ درصد از کل مساحت حوضه آبریز الندیچای را شامل می شود. لذا با توجه به نتایج تحقیق به منظور کنترل و مدیریت هر چه بهتر سیلاب در سطح حوضه آبریز الندیچای، ضرورت دارد که اقدامات پیشگیری از جمله برنامه های آبخیزداری مناسب در زیر حوضه هایی که از حساسیت بالایی نسبت به سیل خیزی برخوردارند هستند، صورت گیرد. بررسی نتایج تحقیق حاضر با نتایج پژوهشگرانی همچون پرساد و پانی (۲۰۱۷) در حوضه آبریز رودخانه یوهی واقع در کشور هند، محمود و رحمان (۲۰۱۹) در حوضه آبریز پنجکورا واقع در کشور پاکستان و محمود و رحمان (۲۰۱۹) در حوضه آبریز یوشایری واقع در شرق هندوکش مطابقت دارد. پژوهشگران نام

برده استفاده از خصوصیات ژئومورفومتریک حوضه آبریز و رتبه‌بندی آن‌ها را بر اساس اهمیت‌شان در سیل‌خیزی، روش مناسبی جهت تهیه نقشه حساسیت سیل‌خیزی پیشنهاد کرده بودند که نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق نیز بیانگر تأیید نتایج محققین مذکور می‌باشد. همچنین در این تحقیق از مدل SWARA به منظور وزن دهی پارامترها و رتبه‌بندی زیر حوضه‌ها استفاده شد که از این مدل در زمینه بررسی مخاطرات محیطی و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی در داخل کشور استفاده نشده است. بنابراین می‌توان گفت که مقاله حاضر به دلیل استفاده از روش جدید و پارامترهای هیدروژئومورفیک از نوآوری برخوردار بوده است.

کتابنامه

بدری، بهرام؛ زارع بیدکی، رفعت؛ هنربخش، افشین؛ آتسخوار، فاطمه؛ ۱۳۹۵. اولویت‌بندی زیر حوضه‌های آبخیز بهشت‌آباد از نظر پتانسیل سیل‌خیزی. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. دوره ۴۸. شماره ۱. ص ۱۵۸-۱۴۳.

رضایی مقدم، محمدحسین؛ یاسی، مهدی؛ نیکجو، محمدرضا؛ رحیمی، مسعود؛ ۱۳۹۷. پهنه‌بندی و تحلیل مورفولوژیکی سیلاب‌های رودخانه قره‌سو با استفاده از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS (از روستای پیرازمیان تا تلاقی رودخانه اهر چای). جغرافیا و مخاطرات محیطی. شماره ۲۵. ص ۱۵-۱.

عرب عامری، علیرضا؛ پورقاسمی، حمیدرضا؛ شیرانی، کورش؛ ۱۳۹۶. پهنه‌بندی حساسیت سیل‌گیری با استفاده از روش ترکیبی نوین تئوری بیزین - فرایند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز نکا - استان مازندران). اکوهیدرولوژی. دوره ۴. شماره ۲. ص ۶۲-۴۷.

- Abuzied, S., Yuan, M., Ibrahim, S., Kaiser, M., Saleem, T., 2016. Geospatial risk assessment of flash floods in Nuweiba area, Egypt, *Journal of Arid Environments* 133: 54-72. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.06.004>.
- Ahmadisharaf, E., Tajrishy, M., Alamdari, N., 2016. Integrating flood hazard into site selection of detention basins using spatial multi-criteria decision-making, *Journal of Environmental Planning and Management* 59: 1397-1417. <https://doi.org/10.1080/09640568.2015.1077104>.
- Bisht, S., Chaudhry, S., Sharma, S., Soni, S., 2018. Assessment of flash flood vulnerability zonation through Geospatial technique in high altitude Himalayan watershed, Himachal Pradesh India, *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 12: 35-47. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.09.001>.
- Borga, M., Gaume, E., Creutin, J.D., Marchi, L., 2008. Surveying flash floods: gauging the ungauged extremes. *Hydrological Processes* 22: 3883-3885. <https://doi.org/10.1002/hyp.7111>.
- Chandrashekara, H., Lokesh, K.V., Sameena, M., Roopa, J., Ranganna, G., 2015. GIS -Based Morphometric Analysis of Two Reservoir Catchments of Arkavati River, Ramanagaram District, Karnataka, *INTERNATIONAL CONFERENCE ON WATER RESOURCES, COASTAL AND OCEAN ENGINEERING (ICWRCOE 2015)*, doi: 10.1016/j.aqpro.2015.02.175.

- Christopher, O., Idowu, A., Olugbenga, A., 2010. Hydrological analysis of Onitsha North East drainage Basin using Geoinformatic techniques, *World Appl. Sci. J* 11 (10): 1297–1302.
- Cloke, H.L., Pappenberger, F., 2009. Ensemble flood forecasting: a review, *Journal of Hydrology* 375(3): 613–626. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.06.005>.
- Das, S., 2019. Geospatial mapping of flood susceptibility and hydro-geomorphic response to the floods in Ulhas basin, India, *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 14: 60-74. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.02.006>.
- Degiorgis, M., Gnecco, G., Gorni, S., Roth, G., Sanguineti, M., Celeste Taramasso, A., 2012. Classifiers for the detection of flood prone areas using remote sensed elevation data, *Journal of Hydrology* 470–471: 302–315. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.09.006>.
- Faniran, A., 1968. The index of drainage intensity – a provisional new drainage factor, *Australian Journal of Science* 31: 328–330.
- Furl, C., Sharif, H., Zeitler, J.W., El Hassan, A., Joseph, J., 2018. Hydrometeorology of the catastrophic Blanco River flood in South Texas, May 2015, *Journal of Hydrology: Regional Studies* 15: 90–104. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.12.001>.
- Horton, R. E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology, *Bulletin of the Geological Society of America* 56(3): 275–370.
- Kale, V.S., Gupta, A., 2001. *Introduction to Geomorphology*. Academic (India). Publishers New Delhi.
- Kendall, M. G., 1970. *Rank correlation methods*, 4th edn. Griffin, London
- Keršulienė, V., Zavadskas, E. K., Turskis, Z., 2010. Selection of rational dispute resolution method by applying new step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA), *Journal of Business Economics and Management* 11(2): 243–258. <https://doi.org/10.3846/jbem.2010.12>.
- Kourgialas, N.N., Karatzas, G.P., 2011. Flood management and a GIS modelling method to assess flood-hazard areas—a case study, *Hydrological Sciences Journal* 56(2): 212–225. <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.555836>.
- Kumar Rai, P., Narayan Mishra, V., Mohan, K., 2017. A study of morphometric evaluation of the Son basin, India using geospatial approach, *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 7: 9-20. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsase.2017.05.001>.
- Mahmood, Sh., Rahman, A., 2019. Flash flood susceptibility modeling using geomorphometric and hydrological approaches in Panjkora Basin, Eastern Hindu Kush, Pakistan, *Environmental Earth Sciences* 78(43): 1-16. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-8041-y>.
- Mahmood, Sh., Rahman, A., 2019. Flash flood susceptibility modelling using geomorphometric approach in the Ushairy Basin, eastern Hindu Kush, *J. Earth Syst. Sci* 128(97): 1-14. <https://doi.org/10.1007/s12040-019-1111-z>.
- Mesa, L.M., 2006. Morphometric analysis of a subtropical Andean basin (Tucuman, Argentina), *Environ. Geol* 50 (8): 1235–1242.
- Miller, V.C., 1953. *A Quantitative Geomorphic Study of Drainage Basin Characteristics in the Clinch Mountain Area, Virginia and Tennessee*, Technical Report (3), Dept. of Geol. New York: Columbia University: 389–402.
- Nookaratnam, K., Srivastava, Y.K., Venkateswarao, V., Amminedu, E., Murthy, K.S.R., 2005. Check dam positioning by prioritization of micro-watersheds using SYI model and morphometric analysis - remote sensing and GIS perspective, *Jour. Indian Soc. Remote Sens* 33 (1): 25–38.

- Ozdemir, H., Bird, D., 2009. Evaluation of morphometric parameters of drainage networks derived from topographic maps and DEM in point of floods, *Environmental Geology* 56(7): 1405–1415. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1235-y>.
- Prasad, R. N., Pani, P., 2017. Geo-hydrological analysis and sub watershed prioritization for flash flood risk using weighted sum model and Snyder's synthetic unit hydrograph, *Modeling Earth Systems and Environment* 3(4): 1491–1502. <https://doi.org/10.1007/s40808-017-0354-4>.
- Ramani Sujatha, E., Selvakumar, R., Rajasimman, U.A.B., Victor, R.G., 2015. Morphometric analysis of sub-watershed in parts of Western Ghats, South India using ASTER DEM, *Geomatics, Natural Hazards and Risk* 6: 326-341. [http:// dx. doi. org/1 0.1080/ 19475705.2013.845114](http://dx.doi.org/10.1080/19475705.2013.845114).
- Reddy, O.G.P., Maji, A.K., Gajbhiye, S.K., 2004. Drainage morphometry and its influence on landform characteristics in a basaltic terrain, Central India—a remote sensing and GIS approach, *Int J Appl Earth Observation Geoinf* 6(1): 1–16.
- Schanze, J., Zeman, E., Marsalek, J., 2006. Flood risk management: hazards, vulnerability and mitigation measures. Springer, Dordrecht, <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-4598-1>.
- Schumm, S. A., 1956. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey, *Geological Society of America Bulletin* 67(5): 597–646. [http:// dx. doi. / 10.1130/0016-7606\(1956\)67\[597:EODSAS\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2).
- Shulits, S., 1968. Quantitative formulation of stream and watershed morphology, *Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology* 3: 201–207.
- Singh, N., Singh, K. K., 2017. Geomorphological analysis and prioritization of sub- watersheds using Snyder's synthetic unit hydrograph method, *Applied Water Science* 7(1): 275–283. <https://doi.org/10.1007/s13201-014-0243-1>.
- Singh, S., Singh, M.C., 1997. Morphometric analysis of Kanhar river basin, *Natl. Geogr. J. India* 43(1): 31–43.
- Smith, K.G., 1950. Standards for grading texture of erosional topography, *Am. J. Sci* 248: 655–668.
- Strahler, A.N., 1964. Quantitative geomorphology of drainage basin and channel networks, *Handbook of applied hydrology*.
- Taha, M. M. N., Elbarbary, S. M., Naguib, D. M., El-Shamy, I. Z., 2017. Flash flood hazard zonation based on basin morphometry using remote sensing and GIS techniques: A case study of Wadi Qena basin, Eastern Desert, Egypt, *Remote Sensing Applications: Society and Environment* 8: 157–167. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.08.007>.
- Tang, Z., Zhang, H., Yi, Sh., Xiao, Y., 2018. Assessment of flood susceptible areas using spatially explicit, probabilistic multi-criteria decision analysis, *Journal of Hydrology* 558: 144-158. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.01.033>.
- Van Tu, T., Duc, D.M., Tung, N.M., 2016. Preliminary assessments of debris flow hazard in relation to geological environment changes in mountainous regions, North Vietnam. *Vietnam Journal of Earth Sciences* 38 (3): 277–286.
- Yousefi, S., Mirzaee, S., Keesstra, S., Surian, N., Pourghasemi, H.R., Zakizadeh, H.R., Tabibian, S., 2018. Effects of an extreme flood on river morphology (case study: Karoon River, Iran), *Geomorphology* 304: 30–39. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2017.12.034>.
- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., Ustinovichius, L., Shevchenko, G., 2010. Attributes weights determining peculiarities in multiple attribute decision making methods, *Economics of Engineering Decisions* 21(1): 32–43.

Zavadskas, E. K., Vilutiene, T., 2006. A multiple criteria evaluation of multi-family apartment block's maintenance contractors: I-model for maintenance contractor evaluation and the determination of its selection criteria, *Building and Environment* 41(5): 621–632.