

پتانسیل سیل خیزی حوضه‌های آبریز استان کردستان با به‌کارگیری شاخص‌های مورفومتری و تحلیل‌های آماری

هادی نیری* - استادیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان
ممد سالاری - استادیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان
اسرین میرزا مرادی - دانشجوی کارشناسی ارشد، مخاطرات محیطی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱/۱۷ تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۰۶/۲۸

چکیده

سیل یکی از مهم‌ترین مخاطرات تهدیدکننده جامعه بشری محسوب می‌شود. در دهه‌های اخیر با افزایش جمعیت و تغییر اقلیم اثرات این مخاطره بیشتر شده است. مطالعه ویژگی‌های حوضه‌ها که میزان سیل‌خیزی با آن در ارتباط است می‌تواند به مدیریت صحیح این مخاطره کمک نماید. استان کردستان با اقلیم نیمه‌خشک و تغییرپذیری زیاد بارش از پتانسیل بالایی برای این مخاطره برخوردار است. در این مقاله پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های استان کردستان شامل حوضه‌های قرارگرفته در داخل استان و مشترک با استان‌های مجاور با استفاده از شاخص‌های مورفومتری و هیدروگرافی محاسبه گردید. با این هدف و بر اساس عوامل توپوگرافی و هیدروولوژی سطحی ۱۸ حوضه شناسایی و مورد ارزیابی قرار گرفتند. در ادامه پژوهش آبراهه‌ها بر اساس روش استرالر طبقه‌بندی و 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 گردید. از نرم‌افزارهای GIS و Excel به منظور تسهیل محاسبات و استخراج داده‌ها و SPSS برای طبقه‌بندی و نیز استاندارد کردن داده‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد که حوضه‌های آبخیز مورد مطالعه بر اساس پارامترهای مورد مطالعه در دو خوشه قرار می‌گیرند. به ترتیب خوشه ۱ دارای ۱۱ حوضه شامل حوضه‌های بیجار، گل‌تپه، تپه اسماعیل، بوکان، رزاب، سفز، انگوران، قروه، سنندج، تکاب و شاهین-دژ و خوشه ۲ دارای ۷ حوضه شامل حوضه‌های پاوه، سردشت، بانه، روانسر، کامیاران، مریوان و قزلچه می‌باشد. همچنین نتایج مقایسه‌ای بیانگر قرارگیری حوضه‌های خوشه ۱ در شرق و حوضه‌های خوشه ۲ در غرب محدوده مورد مطالعه است. مجموع برآوردها و تحلیل‌های آماری نشان‌دهنده پتانسیل سیل‌خیزی بیشتر حوضه‌های شرقی با وجود بارندگی بیشتر حوضه‌های غربی است که دلیل بارز آن ناشی از شرایط توپوگرافی، پوشش گیاهی و لیتولوژیکی خاص حوضه‌های شرقی است.

واژگان کلیدی: سیل‌خیزی، مورفومتری، شاخص‌های آماری، استان کردستان.

مقدمه

همه‌روزه در سراسر جهان وقایع طبیعی زیادی رخ می‌دهد که تعدادی از آن‌ها تبدیل به بلایای طبیعی می‌شوند. بلایای طبیعی در واقع یک فاجعه یا مصیبت ناشی از وقوع یک پدیده طبیعی پرمخاطره مانند سیلاب است در مناطقی که ارتباط مستقیم با انسان دارد و باعث وارد آمدن خسارت مالی و جانی فراوان به جوامع انسانی می‌گردد (ثروتی و همکاران، ۱۳۹۰). سیل به صورت بسیار ساده جریانی است که نسبت به میانگین حجم آب در طول رودخانه بالاتر باشد (وول^۱، ۲۰۰۰: ۴). این مخاطره طبیعی- انسانی در طول تاریخ رایج‌ترین، مرگبارترین و پرهزینه‌ترین خطر در میان مخاطرات طبیعی بوده که خطر وقوع آن طی زمان افزایش یافته است، به‌ویژه از زمانی که بسیاری از کشورها مجوز ساخت‌وساز در دشت‌های سیلابی را صادر کردند و حتی رشد تجاری و مسکونی در این مناطق را مورد حمایت قرار دادند (کوسکای^۲، ۲۰۰۸: ۶۱). در ایران همانند سایر مناطق سیل‌خیز دنیا در دهه‌های اخیر، شدت وقوع سیلاب‌ها و میزان خسارت‌های ناشی از آن به‌طور چشمگیری افزایش یافته است (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۰: ۶-۷)، به طوری که، روند افزایش سیل (شریفی و نوروزی، ۱۳۸۱) در دهه‌های گذشته در ایران نشان می‌دهد که تعداد وقوع سیل در دهه‌ی ۸۰ نسبت به دهه‌ی ۴۰ کمابیش ۱۰ برابر شده است و به بیان دیگر ۹۰۰ درصد افزایش داشته است (عبدی، ۱۳۸۵: ۲۰۰). در اثر آن تأسیسات عمرانی، امکانات ارتباطی، زمین‌های کشاورزی، شهرها و روستاها تخریب شده است. نبود اطلاعات کافی از حوضه‌های آبخیز کشور و عدم توجه به پتانسیل آن‌ها در کنار مدیریت ضعیف چنین مخاطراتی را سبب شده است. مقابله با این وضعیت نیازمند ارزیابی و شناخت توان محیطی حوضه‌ها جهت برنامه‌ریزی‌های مختلف است. زیرا اجرای برنامه‌های آمایشی در راستای مدیریت خطر و خسارت سیل با مطالعه و شناخت پتانسیل‌های موجود در هر حوضه و تلاش در جهت کاهش سیلاب امکان‌پذیر است.

اندازه و تکرار رویداد سیلاب در هر منطقه، بستگی به عوامل متعددی دارد. ویژگی‌های فیزیکی حوضه‌ی آبریز، ویژگی‌های و اقدامات ناشی از فعالیت‌های بشری، از جمله این عوامل است که شناخت و دسته‌بندی آن‌ها در هر منطقه‌ای، از اصول اولیه‌ی مهار سیلاب و کاهش خطرات آن است (رضوی، ۱۳۸۷: ۷۵). به بیان دیگر، پیش از هرگونه برنامه‌ریزی برای کنترل سیل، باید رفتار فرآیندهای آن را شناخت، (اسمیت، به نقل از قنواتی ۱۳۸۲: ۱۷۴-۱۸۲). در بررسی وضعیت سیلاب‌های یک رودخانه علاوه بر ساختار بستر جریان باید ویژگی‌های محیطی کل حوضه نیز ارزیابی شود (برایرلی و فرایرز^۳، ۲۰۰۵: قنواتی، ۱۳۸۲، ۱۷۴). هر حوضه‌ی آبخیز از پهنه‌هایی ساخته شده است که از نظر مورفومتری و ویژگی‌های محیطی با حوضه‌های مجاور تفاوت دارد. پیش از هر اقدام در خصوص برخورد با پدیده‌ی سیلاب، باید واکنش پهنه‌های بالادست آن رودخانه نسبت به بارش‌های رگباری یا درازمدت مورد ارزیابی قرار گیرد (یالسن و آیکوریک^۴، ۲۰۰۴: ۱۷۴). زیرا شاخص‌های مورفومتری از جمله تعداد مجاری، طول رود، مساحت حوضه، ضریب شکل هورتون و محیط حوضه رابطه خطی و معنی‌داری را با متغیر مستقل سیل دارند (مقیمی، ۱۳۸۸).

پهنه‌بندی حوضه‌ها از نظر درجه و اهمیت در تولید رواناب، از جمله اقداماتی است که پژوهشگران انجام می‌دهند (بروجدی و همکاران، ۱۳۷۳، ۳۵). این پهنه‌بندی غالباً بر اساس ویژگی‌های مورفومتری و فیزیکی حوضه صورت می‌گیرد که در سطح حوضه در ارتباط باهم عمل می‌کنند، ممکن است همدیگر را تقویت یا خنثی کنند (فریفته، ۱۳۷۰: ۲۵) این خصوصیات نمایانگر وضعیت کلی حوضه هستند که موضوع بسیاری از مطالعات هیدرولوژیکی می‌باشد که در بین آن‌ها محاسبه سیل و پیش‌بینی سیلاب‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است.

¹ - Wohl

² - Kusky

³ - Brierley & Fryirs

⁴ - Yalcin & Akyu

با توجه به تغییرپذیری بارش در سطح استان کردستان و کوهستانی بودن این منطقه میزان احتمال سیل‌خیزی در این منطقه بسیار بالا است. این استان همواره خسارات قابل‌توجهی را به سبب رخداد سیلاب متحمل شده است. از این میان می‌توان به سیل ناشی از بارندگی‌های رگباری ۲۳ تیر ۱۳۷۸ و بارندگی‌های رگباری ۲۱ مرداد ۱۳۸۴ اشاره کرد (حیدری، ۱۳۸۵، ۴۳۹). با برآورد و پهنه‌بندی میزان سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز استان با دید سیستمی و مبتنی بر شاخص‌های مورفومتری و ژئومورفولوژیکی می‌توان از میزان خسارت‌های جانی و مالی ناشی از سیل در سطح این استان کاست که این امر ضرورت توجه به این موضوع را برای ما آشکار می‌کند.

با توجه به اهمیت موضوع مطالعات متعددی توسط محققان داخلی و خارجی در این‌ارتباط صورت گرفته است. به‌عنوان نمونه یوسف و همکاران^۱ (۲۰۱۱)، به برآورد خطر سیل‌خیزی امتداد جاده سنت کاترین جنوب صحرای سینا در مصر با استفاده از شاخص‌های مورفومتری و تصاویر ماهواره‌ای در محیط GIS پرداخته‌اند. در این پژوهش علاوه بر داده‌های ماهواره‌ای از داده‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی برای برآورد خطر سیلاب استفاده شده است. نتایج پژوهش نشان داده است در مناطقی که تحت تأثیر نفوذ بالاتر انسان‌ها هستند میزان سیل‌خیزی بیشتر است. استفانیدیس و همکاران^۲ (۲۰۱۳) نیز به ارزیابی خطر سیل بر اساس عوامل طبیعی و انسانی با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، در شمال یونان پرداختند. در این پژوهش ویژگی‌های مورفومتری و هیدروگرافی حوضه موردبررسی قرار گرفته است که بر اساس شاخص‌های مورفومتری میزان خطر سیل‌خیزی در منطقه مورد مطالعه به طبقات مختلف طبقه‌بندی شد. در پژوهشی دیگر باجبا و همکاران^۳ (۲۰۱۴) به پهنه‌بندی مخاطره سیلاب در حوضه ال لیت عربستان بر اساس مؤلفه‌های هیدرولوژی، ژئومورفولوژی در محیط GIS پرداختند. نتایج پژوهش منجر به تعیین سه پهنه خطر کم، متوسط و زیاد و نیز شناسایی مناطق مستعد و به نوعی مدیریت سیلاب گردید. مطالعات میراج و همکاران^۴ (۲۰۱۵) در بررسی اثرات ویژگی‌های حوضه آبخیز در سیل‌خیزی زیر حوضه‌های حوضه جلوم در کشمیر هیمالیا بیانگر تأثیر مؤلفه‌های طبیعی و انسانی به‌صورت توأمان در افزایش میزان سیل‌خیزی و خطر به‌عنوان نمونه در زیر حوضه لیدر و نیز زمینه‌ای برای تعیین استراتژی بهتر کاهش سیل است. آن و مروارد^۵ (۲۰۱۶) به نقش و تأثیر ویژگی‌های ژئومورفیک حوضه‌های آبخیز روی سیل‌خیزی در ایندیانا آمریکا پرداختند. نتایج نشان داد که سیلاب‌های شدید تحت تأثیر مورفومتری حوضه آبخیز به‌ویژه طول حوضه هستند.

قطعاً هرگونه مطالعه مورفومتری در خصوص هیدرولوژی حوضه‌های منطقه می‌تواند در جهت روشن نمودن ساختار هیدرولوژیکی مفید واقع گردد و در مدیریت آب‌های سطحی و زیرزمینی حوضه و توان بالقوه و بالفعل منطقه به‌ویژه آمایش سرزمین کمک نماید. با توجه به اهمیت موضوع، این مطالعه در این راستا و با هدف طبقه‌بندی حوضه‌های آبریز استان با استفاده از شاخص‌های هیدرولوژیکی و مورفومتری صورت گرفته است.

موقعیت و ویژگی‌های طبیعی محدوده مطالعاتی

محدوده مورد مطالعه با ۵۱۷۸۰/۱۹ کیلومتر مربع بین ۳۴ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۷ و ۱۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۸ دقیقه طول شمالی از نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد که شامل استان کردستان و قسمت‌های جنوبی استان آذربایجان غربی و غرب استان زنجان، شمال غربی استان همدان و شمال کرمانشاه است. به لحاظ زمین‌شناسی قسمت‌های غربی منطقه مورد مطالعه در زون زاگرس مرتفع که عمدتاً آهک‌های سیلیسی دوران دوم است و

¹ - Youssef & et al

² - Stefanidis & et al

³ - Bajabaa & et al

⁴ - Meraj & et al

⁵ - Ahn & Merwade

شرق آن در زون ایران مرکزی (سندج- سیرجان و سهند- بزمان) با لیتولوژی غالباً دگرگونی و آتشفشانی واقع شده است. از نظر پوشش گیاهی غرب منطقه دارای پوشش جنگلی است (جزیره‌ای و همکاران، ۱۳۹۲). بر اساس ویژگی‌های توپوگرافی و هیدرولوژی سطحی و تحقیقات قبلی ۱۸ حوضه در این محدوده جغرافیای شناسایی شدند که ۸ حوضه در داخل استان کردستان (قروه، بانه، سفز، دیواندره، سندج، رزآب، قزلچه و مریوان) و ۱۰ حوضه مشترک با دیگر استان‌ها (انگوران، بوکان، گل‌تپه، کامیاران، پاوه، روانسر، شاهین‌دژ، سردشت، تپه‌اسماعیل و تکاب) است. تمام این حوضه‌ها در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته است (شکل ۱).



شکل ۱: نقشه موقعیت محدوده و حوضه‌های مورد مطالعه

مواد و روش تحقیق

با توجه به گستردگی محدوده مورد مطالعه و نیز ماهیت پژوهش و افزایش دقت مطالعاتی، ترکیبی از داده‌ها و مواد همراه با روش‌های تحقیق مورد استفاده قرار گرفته شده‌اند. به این صورت که در فرایند تحقیق و با هدف عملیاتی کردن پژوهش، نقشه‌های توپوگرافی (اروهیدروگرافی) محدوده با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ به منظور تهیه خصوصیات مورفومتری، مدل ارتفاعی رقومی ۳۰ متر جهت ترسیم نقشه‌های رستری، نرم‌افزارهای GIS و Excel به منظور تسهیل محاسبات و استخراج داده‌ها و SPSS برای طبقه‌بندی و تجزیه و تحلیل داده‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در راستای روش اجرای پژوهش نیز

به این صورت اقدام شده که ابتدا، منطقه مورد مطالعه بر اساس عوامل توپوگرافی و هیدرولوژی سطحی و در راستای مطالعات شرکت آب منطقه‌ای کردستان به ۱۸ حوضه تقسیم شد. در این مرحله بررسی هم‌پوشانی حوضه‌های آبریز استخراج شده توسط شرکت آب منطقه‌ای استان با نقشه‌های اروهیدروگرافی و مدل رقومی ارتفاعی برای رفع خطاهای احتمالی و پردازش نهایی آن‌ها صورت گرفت. سپس آبراهه‌ها رقومی و بر اساس روش استرالر طبقه‌بندی شدند. در مرحله بعدی، ۱۲ پارامتر شاخص مورفومتریک که در ارتباط با پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌ها تأثیرگذارند از جمله 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 انتخاب و در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تمامی حوضه‌های مطالعاتی محاسبه شدند. نحوه محاسبه شاخص‌ها به همراه رابطه آن‌ها با سیل و محققینی که از آن‌ها استفاده نموده‌اند در جدول ۱ آمده است. بعد از استخراج پارامترهای مورفومتریک اقدام به استاندارد کردن داده‌ها شد. استاندارد کردن داده‌ها به منظور یکسان‌سازی هر یک از پارامترها برای ورود به نرم‌افزارهای آماری و با هدف طبقه‌بندی صورت گرفت. برای این منظور در شاخص‌های که رابطه معکوسی با سیل دارند یعنی کمتر بودن شاخص، احتمال سیل را افزایش می‌دهد بیشترین عدد آن شاخص در بین حوضه‌ها بر اعداد دیگر حوضه‌ها تقسیم شده است و در شاخص‌های که بیشتر بودن شاخص، امکان سیل را افزایش می‌دهد اعداد هر شاخص تقسیم بر بزرگ‌ترین عدد آن شاخص در بین حوضه‌ها شد (رابطه ۱ و ۲). این نوع استاندارد کردن ضمن طبقه‌بندی حوضه‌ها اجازه مقایسه حوضه‌ها را هم می‌دهد. در این مرحله با توجه به این که این داده‌ها قابل اندازه‌گیری و محاسبه بودند، بنابراین روش تحلیل خوشه‌ای که یک روش دقیق و قابل اعتماد است و توسط محققین مختلف از جمله خسروی و همکاران (۱۳۹۴) و دارابی و همکاران (۱۳۹۱) با درجه کارایی بالا به کار گرفته شده است، برای طبقه‌بندی حوضه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. در بین روش‌های مرسوم تحلیل خوشه‌ای، روش طبقاتی تجمعی و محاسبه فاصله زیر حوضه‌ها از یکدیگر با استفاده از فاصله اقلیدسی بر اساس روش حداقل واریانس وارد^۱ زیر حوضه‌ها به کار رفت. این روش امکان ترسیم دندروگرام را داده و در علوم مرتبط با زمین نیز کاربرد زیادی دارد (غیائی و همکاران، ۱۳۸۳). بر این مبنای دندروگرام ترسیم و تمامی حوضه‌های مطالعاتی در قالب آن قرار داده شدند. سپس برای تعداد خوشه‌های بهینه، از حداکثر فاصله بین خوشه‌ها استفاده گردید. بدین معنی در جایی که خوشه‌ها از هم فاصله زیادی داشتند دندروگرام برش داده شد و بر این اساس به ارزیابی حوضه‌ها با دقت مطالعاتی بالا پرداخته شد.

جدول ۱: پارامترهای مورفومتریک، رابطه آن‌ها با سیل، نحوه محاسبه و محققینی که از آن‌ها استفاده نموده‌اند

پارامترها	فرمول محاسبه	رابطه	
طول حوضه	$L_b = 1.312A^{0.888}$	-	علیزاده، ۱۳۸۷. مقیمی، ۱۳۸۸. کلو و پیستر ^۲ ، ۲۰۰۲
تراکم زهکشی	$D_d = L/A$	+	مهدوی، ۱۳۸۶. زاهدی، ۱۳۸۷. بزرگمهر، ۱۳۸۹.
نسبت انشعاب	$R_b = N_u/N_{u+1}$	+	کلو و پیستر ^۲ ، ۲۰۰۲. بزرگمهر، ۱۳۸۹.
فراوانی آبراهه	$F_u = N/A$	+	مهدوی، ۱۳۸۶. فولر ^۳ ، ۲۰۰۸
طول جریان سطحی	$L_o = 0.5/D_d$	-	شعبانلو و همکاران، ۱۳۸۷، مقیمی، ۱۳۸۸
ضریب فرم حوضه	$R_f = A/L_b^2$	-	مهدوی، ۱۳۸۶. بزرگمهر، ۱۳۸۹.
شکل حوضه	$B_s = L_b^2/A$	-	علیزاده، ۱۳۸۷. مهدوی، ۱۳۸۶. گارد ^۱ ، ۲۰۰۶. فریفته، ۱۳۷۰

^۱ - Ward

علیزاده، ۱۳۸۷. مهدوی، ۱۳۸۶. گارد، ۲۰۰۶. فریفته، ۱۳۷۰	-	$B_s = L_b^{2/A}$	شکل حوضه
علیزاده، ۱۳۸۷. شوم، ۱۹۵۶.	-	$R_e = 1.128A^{0.5/L_b}$	ضریب کشیدگی
مهدوی، ۱۳۸۶. بزرگمهر، ۱۳۸۹.	+	$R_c = 12.57A/p^2$	ضریب گردی
مهدوی، ۱۳۸۶.	-	$C_c = 0.2821P/A^{0.5}$	ضریب فشردگی
احمدی و طاهری ۱۳۸۸، پاتل و همکاران ۲۰۱۳	+	$T = N_1/P$	نسبت بافت
علیزاده ۱۳۸۸، بزرگمهر ۱۳۸۹	+	A	مساحت

$$X_- = \frac{Max_i}{x} \quad \text{رابطه یک}$$

$$X_+ = \frac{x}{Max_i} \quad \text{رابطه دو}$$

در این رابطه‌ها X اعداد استاندارد شده است.

علامت + نشان از رابطه مستقیم پارامتر با سیل و علامت - نشان از رابطه منفی با سیل است.

Max_i حداکثر میزان شاخص در بین حوضه‌ها

X میزان هر شاخص‌ها در حوضه مورد نظر

بحث و یافته‌های تحقیق

برای رسیدن به اهداف پژوهش و بر مبنای مطالعات ترکیبی که در مواد و روش مورد اشاره قرار گرفتند، حوضه‌های آبخیز شناسایی و به دنبال آن کدگذاری شدند. در این ارتباط ۱۸ حوضه مشخص گردیده که ۸ حوضه کامل در داخل استان کردستان و ۱۰ حوضه نیز در حالت اشتراک با استان‌های پیرامون قرار گرفتند که در جدول شماره ۲ آورده شده‌اند. در مرحله بعد آبراهه‌های رقومی شده موجود با نقشه‌های توپوگرافی محدوده مطالعاتی انطباق و سپس در محیط نرم‌افزار GIS با هدف افزایش دقت کامل تصحیح گردیدند. سپس شبکه آبراهه تمامی حوضه‌ها برای انجام محاسبات پارامترهای مؤثر پیرامون ارزیابی پتانسیل سیل‌خیزی همچون نسبت انشعاب و فراوانی آبراهه‌ها به روش استرالر طبقه‌بندی شدند.

در ارزیابی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبخیز پارامترهای متعدد فیزیوگرافیک و هیدروگرافیک همراه با مؤلفه‌های مورفومتریکی به صورت سیستمی تأثیر دارند، بنابراین در این پژوهش پارامترهای شاخص مرتبط با مبحث فوق برای تمامی حوضه‌های مطالعاتی برآورد گردیدند که نتایج محاسباتی به صورت ماتریس در جدول شماره ۲ آورده شده است.

جدول ۲: مقادیر کمی پارامترهای مورفومتریکی محاسبه‌شده برای حوضه‌های مطالعاتی

کد	حوضه	A	L _b	D _a	R _b	F _u	L _o	R _f	B _s	R _e	R _c	C _c	T
۱	انگوران	۶۷۷۲	۳۳۰۸	۰/۴۳	۴/۵۶	۰/۰۸	۱/۵۵	۰/۵۰۱	۱/۹۹۵	۰/۷۹	۰/۳۷	۱/۶۴	۰/۸۶
۲	بانه	۹۳۰	۵۶۷	۰/۳۲	۳/۴۴	۰/۰۵	۱/۵۸	۰/۸۸۰	۱/۱۳۵	۱/۰۵	۰/۴۰	۱/۵۷	۰/۲۲
۳	بوکان	۲۹۰۲	۱۵۵۸	۰/۳۳	۴/۷۷	۰/۰۴	۱/۵۳	۰/۴۶۲	۲/۱۶۱	۰/۷۶	۰/۳۹	۱/۵۹	۰/۳۴
۴	دیواندره-بیجار	۵۳۶۳	۲۶۸۹	۰/۳۷	۴/۱۲	۰/۰۶	۱/۳۵	۰/۳۰۰	۳/۳۲۵	۰/۶۱	۰/۲۹	۱/۸۳	۰/۵۷
۵	قزلچه	۳۸۲	۲۵۷	۰/۴۰	۳/۲۰	۰/۰۹	۱/۲۶	۱/۷۳	۰/۵۷۵	۱/۴۸	۰/۲۴	۲/۰۱	۰/۱۸
۶	قروه	۷۲۴۱	۳۵۱۱	۰/۳۳	۴/۳۰	۰/۰۳	۱/۵۱	۰/۵۲۶	۱/۸۹۷	۰/۸۱	۰/۳۵	۱/۶۷	۰/۵۹
۷	گل تپه	۵۱۷۲	۲۶۰۴	۰/۳۷	۴/۰۶	۰/۰۵	۱/۳۸	۰/۳۴۹	۲/۸۶۴	۰/۶۶	۰/۲۸	۱/۸۶	۰/۴۰
۸	کامیاران	۹۶۶	۵۸۶	۰/۳۴	۳/۵۲	۰/۰۶	۱/۴۵	۰/۳۸	۰/۷۲۰	۱/۳۲	۰/۴۷	۱/۴۵	۰/۲۶
۹	مریوان	۴۹۴	۳۲۳	۰/۲۳	۳/۷۵	۰/۰۳	۲/۱۳	۱/۳۲	۰/۷۵۶	۱/۲۹	۰/۴۱	۱/۵۴	۰/۱۱
۱۰	پاوه	۴۹۹	۳۲۶	۰/۳۳	۵/۶۹	۰/۰۶	۱/۷۷	۰/۵۰۶	۱/۹۷۴	۰/۸۰	۰/۳۴	۱/۶۹	۰/۱۹

۱۱	روانسر	۱۲۴۰	۷۳۲	۰/۲۷	۳/۴۰	۰/۰۴	۱/۸۴	۱/۲۶	۰/۷۹۱	۱/۲۶	۰/۳۵	۱/۶۸	۰/۱۷
۱۲	رزاب	۳۹۷۹	۲۰۶۳	۰/۳۶	۴/۱۳	۰/۰۹	۱/۳۷	۱/۲۹	۰/۷۶۹	۱/۲۹	۰/۳۳	۱/۷۳	۰/۷۰
۱۳	شاهین‌دژ	۲۱۶۰	۱۱۹۹	۰/۴۲	۳/۹۴	۰/۱۳	۱/۱۸	۰/۵۴۴	۱/۸۳۷	۰/۸۳	۰/۲۶	۱/۹۳	۰/۶۸
۱۴	سنندج	۲۰۳۴	۱۱۳۶	۰/۴۵	۵/۵۸	۰/۱۰	۱/۱۰	۰/۳۶۴	۲/۷۴۱	۰/۶۸	۰/۳۴	۱/۷۰	۰/۵۳
۱۵	سقز	۴۵۹۱	۲۳۴۲	۰/۳۴	۳/۸۰	۰/۰۵	۱/۴۵	۱/۰۵	۰/۹۴۸	۱/۱۵	۰/۳۶	۱/۶۵	۰/۵۰
۱۶	سردشت	۱۸۰۴	۱۰۲۲	۰/۳۲	۲/۹۹	۰/۰۵	۱/۵۶	۰/۳۹۷	۲/۵۱۶	۰/۷۱	۰/۳۴	۱/۶۹	۰/۲۷
۱۷	تپه اسماعیل	۲۸۳۸	۱۵۲۸	۰/۳۲	۵/۶۹	۰/۰۵	۱/۵۷	۰/۲۶۲	۳/۸۰۳	۰/۵۷	۰/۲۷	۱/۹۱	۰/۳۳
۱۸	تکاب	۲۴۰۳	۱۳۱۸	۰/۴۶	۳/۸۹	۰/۰۹	۱/۰۸	۰/۴۸۳	۲/۰۶۸	۰/۷۸	۰/۳۵	۱/۶۷	۰/۶۰

L_b طول حوضه، D_d تراکم زهکشی، R_b نسبت انشعاب، F_u فراوانی آبراه‌ها، L_o طول جریان سطحی، R_f ضریب فرم حوضه، B_s شکل حوضه، R_e ضریب کشیدگی، R_c ضریب گردی، C_c ضریب فشردگی، T نسبت بافت.

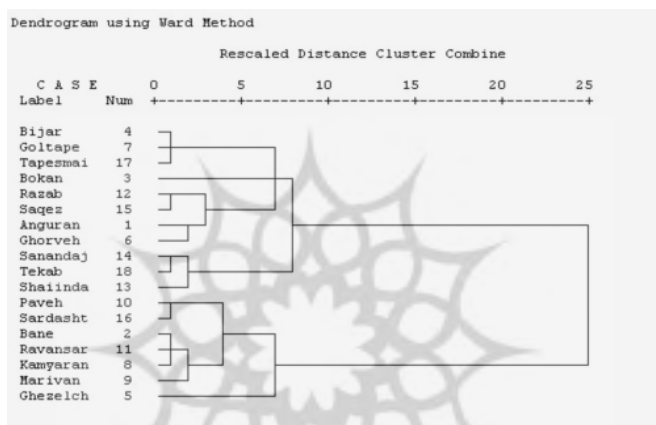
نتایج حاصل از محاسبه این پارامترها اختلاف مقادیر زیادی را نشان می‌دهد که بر اساس آن تحلیل، مقایسه و نتیجه‌گیری در مورد ارزیابی کمی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌ها مشکل بوده و نمی‌تواند بسیار دقیق باشد. بنابراین عملیات استاندارد کردن داده‌های موجود پارامترها صورت گرفت که استاندارد کردن اعداد با توجه به رابطه آن با سیل انجام شد. در استانداردسازی داده‌ها سعی شده که استاندارد داده به این شکل صورت گیرد که مقادیر بالا نشان از سیل‌خیزی بیشتر حوضه باشد. در شاخص‌هایی که میزان کم آن نشان از سیل‌خیزی بیشتر است با تقسیم بیشترین عدد بر اعداد هر یک از حوضه‌ها، این رابطه معکوس شده است، بدین مفهوم که عدد بالا حتی در شاخص‌های که رابطه عکسی با سیل‌خیزی دارند، نشان از سیل‌خیزی بالاتر حوضه در مقایسه با دیگر حوضه‌ها است (جدول ۳).

جدول ۳: نتایج مقادیر کمی پارامترهای استاندارد شده

T	C _c	R _c	R _e	B _s	R _f	L _o	F _u	R _b	D _d	L _b	A	
۱	۱/۲۲	۰/۷۸	۱/۸۷	۱/۹۰	۳/۴۵	۱/۳۷	۰/۶۷	۰/۸۰	۰/۹۳	۱/۰۶	۱/۹۳	۱
۲	۰/۲۵	۱/۲۸	۰/۸۵	۱/۴۰	۳/۳۵	۱/۹۶	۱/۳۴	۰/۳۸	۰/۶۰	۶/۱۹	۱/۱۲	۲
۳	۰/۳۹	۱/۲۶	۰/۸۲	۱/۹۴	۳/۷۴	۱/۳۹	۰/۳۰	۰/۸۳	۰/۷۱	۲/۲۵	۱/۴	۳
۴	۰/۶۶	۱/۰۹	۰/۶۱	۲/۴۲	۱/۱۴	۵/۷۶	۱/۵۷	۰/۴۶	۰/۷۲	۱/۳۰	۱/۷۴	۴
۵	۰/۲۰	۱	۰/۵۱	۱	۶/۶۱	۱	۱/۶۹	۰/۶۹	۰/۵۶	۱۳/۶۶	۱/۰۵	۵
۶	۰/۶۷	۱/۲۰	۰/۷۴	۱/۸۲	۲	۳/۲۸	۱/۴۱	۰/۲۳	۰/۷۵	۱	۱	۶
۷	۰/۴۵	۱/۰۸	۰/۵۹	۲/۲۴	۱/۳۲	۴/۹۵	۱/۵۴	۰/۳۸	۰/۷۱	۱/۳۴	۱/۷۱	۷
۸	۰/۳۰	۱/۳۸	۱	۱/۱۲	۵/۲۸	۱/۲۵	۱/۴۶	۰/۶۱	۰/۷۳	۵/۹۹	۱/۱۳	۸
۹	۰/۱۲	۱/۳۰	۰/۸۷	۱/۱۴	۵/۰۳	۱/۳۱	۱	۰/۲۳	۰/۶۵	۱۰/۸۶	۱/۰۶	۹
۱۰	۰/۲۲	۱/۱۸	۰/۷۲	۱/۸۵	۱/۹۲	۳/۴۱	۱/۲۰	۰/۴۶	۱	۱۰/۷۶	۱/۰۶	۱۰
۱۱	۰/۱۹	۱/۱۹	۰/۷۴	۱/۱۷	۴/۸۰	۱/۳۷	۱/۱۵	۰/۳۰	۰/۵۹	۴/۷۹	۱/۱۷	۱۱
۱۲	۰/۸۱	۱/۱۶	۰/۷۰	۱/۱۵	۴/۹۴	۱/۳۴	۱/۵۵	۰/۶۹	۰/۷۲	۱/۷۰	۱/۵۴	۱۲
۱۳	۰/۷۹	۱/۰۴	۰/۵۵	۱/۷۸	۲/۰۷	۳/۱۸	۱/۸۰	۱	۰/۶۹	۲/۹۲	۱/۲۹	۱۳
۱۴	۰/۶۱	۱/۱۸	۰/۷۲	۲/۱۷	۱/۳۸	۴/۷۵	۱/۹۳	۰/۷۶	۰/۹۸	۳/۰۹	۱/۲۸	۱۴
۱۵	۰/۵۸	۱/۲۱	۰/۷۶	۱/۲۸	۴/۰۱	۱/۶۴	۱/۴۶	۰/۳۸	۰/۶۶	۱/۴۹	۱/۶۳	۱۵
۱۶	۰/۳۱	۱/۱۸	۰/۷۲	۲/۰۸	۱/۵۱	۴/۳۵	۱/۳۶	۰/۳۸	۰/۵۲	۳/۴۳	۱/۲۴	۱۶
۱۷	۰/۳۸	۱/۰۵	۰/۵۷	۲/۵۹	۱	۶/۶۰	۱/۳۵	۰/۳۸	۱	۲/۲۹	۱/۳۹	۱۷
۱۸	۰/۶۹	۱/۲۰	۰/۷۴	۱/۸۹	۱/۸۳	۳/۵۸	۱/۹۷	۰/۶۹	۰/۶۸	۲/۶۶	۱/۳۳	۱۸

A مساحت L_b طول حوضه، D_d تراکم زهکشی، R_b نسبت انشعاب، F_u فراوانی آبراهه‌ها، L_o طول جریان سطحی، R_f ضریب فرم حوضه، B_s شکل حوضه، R_e ضریب کشیدگی، R_c ضریب گردی، C_c ضریب فشردگی و T نسبت بافت

با هدف ارزیابی و طبقه‌بندی دقیق حوضه‌های مطالعاتی و نیز تحلیل‌های نهایی در ارتباط با سیل‌خیزی، پس از استخراج پارامترهای مورفومتریک و استاندارد کردن آن‌ها که داده‌های مرتبط در جداول شماره ۲ و ۳ آمده است، داده‌های استاندارد شده برای طبقه‌بندی نهایی وارد محیط نرم افزاری Spss شده و با استفاده از تکنیک تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی نمودار دندروگرام حوضه‌های مطالعاتی ترسیم و بر اساس آن طبقه‌بندی نهایی انجام شد. در ارتباط با طبقه‌بندی و تفکیک خوشه‌ها معیار تعیین، حداکثر فاصله بین خوشه‌ها می‌باشد.



شکل ۲: نمودار شاخه درختی یا دندروگرام حوضه‌های مطالعاتی حاصل از روش خوشه‌بندی HCA

جدول ۴: نتایج طبقه‌بندی نهایی حوضه‌های مطالعاتی توسط HCA

خوشه	تکنیک
	HCA
۱	۴-۷-۱۷-۳-۱۴-۱۸-۱۳-۶-۱۵-۱-۱۲
۲	۱۶-۲-۱۱-۸-۹-۵-۱۰

مجموع نتایج و یافته‌های نهایی حاصل از طبقه‌بندی و تفسیر نمودار دندروگرام و بر مبنای داده‌های استاندارد شده موجود در جدول شماره ۳ بیانگر آن است که دو خوشه برای حوضه‌های مطالعاتی مشخص گردید. به عبارتی از لحاظ پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های موجود در دو خوشه قرار گرفتند. خوشه یک شامل حوضه‌های بیجار، گل‌تپه، تپه اسماعیل، بوکان، رزاب، سقز، انگوران، قروه، سنندج، تکاب و شاهین‌دژ که غالباً منطبق بر موقعیت مکانی در شرق محدوده مطالعاتی هستند. خوشه دو شامل حوضه‌های پاره، سردشت، بانه، روانسر، کامیاران، مریوان و قزلچه است که در غرب محدوده مطالعاتی قرار گرفته‌اند. ضمناً حوضه‌های واقع در خوشه یک در جدول استاندارد شده مقادیر بالایی را نشان می‌دهند که دال بر پتانسیل سیل‌خیزی بیشتر این حوضه‌ها است.

نتیجه‌گیری

رویکرد ارائه‌شده در این تحقیق در حقیقت کاربرد برخی متغیرهای فیزیوگرافیک به صورت سیستمی در یک ناحیه وسیع جهت طبقه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبخیز بوده است. بدین منظور حوضه‌های آبخیز استان کردستان و

هم‌جوار مورد شناسایی و مطالعه قرار گرفتند. این حوضه‌ها با استفاده از ۱۲ شاخص مؤثر مورفومتریک و هیدروگرافی ارزیابی شدند و بر مبنای آن مقادیر کمی هر پارامتر برای تمامی حوضه‌ها به دست آمد. در مرحله بعدی با هدف پهنه‌بندی و طبقه‌بندی حوضه‌های مذکور اقدام به استانداردسازی داده‌های موجود شده و سپس بر مبنای روش تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی و نیز دندروگرام ترسیمی حاصل از آن به تحلیل مسئله سیل‌خیزی حوضه‌ها پرداخته شد. نتایج نشان داد که ۱۸ حوضه به‌صورت مستقل در داخل استان و یا به‌صورت مشترک با سایر استان‌های هم‌جوار در داخل محدوده مطالعاتی وجود دارند. بررسی‌های بیشتر سیستمی بر مبنای روش‌های مطالعاتی مذکور و نیز در محیط GIS بیانگر آن است که حوضه‌های مذکور با در نظر گرفتن شاخص حداکثر فاصله که دارای ضریب دقت بالایی است در دو خوشه جداگانه قرار گرفتند. خوشه یک دربرگیرنده ۱۱ حوضه که در شرق محدوده مطالعاتی واقع شده و خوشه دو شامل ۷ حوضه با موقعیت قرارگیری غالب غربی است. نتیجه و یافته نهایی تحقیق به این صورت است که حوضه‌های واقع در خوشه یک دارای مقادیر استاندارد شده بالا و به‌تبع آن پتانسیل سیل‌خیزی بیشتری هستند که چنین استنباط می‌شود برآیند تأثیرگذاری لیتولوژی و ساختار منطقه بر روی مورفومتری حوضه‌ها و درنهایت سیل‌خیزی آن‌ها باشد. بررسی مقایسه‌ای این مسئله ناشی از وجود لیتولوژی غالباً دگرگونی در شرق و از طرفی وجود تشکیلات آهکی تکتونیزه شده نیز در غرب محدوده مطالعاتی می‌باشد به این صورت که نفوذناپذیری بالای لیتولوژی دگرگونی موجود در محدوده مطالعاتی زمینه‌ای برای بالا رفتن شاخص‌های موجود و به‌تبع آن افزایش پتانسیل سیل‌خیزی آن شده است. این پژوهش با توجه به یافته‌های تحقیق می‌تواند در ارتباط با برنامه‌ریزی‌های محیطی و آمایش سرزمین مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

- احمدی، حسن و سمیه طاهری، ۱۳۸۸، اهمیت آنالیزهای مورفومتریک جهت بدست آوردن مناطق با پتانسیل آب‌های زیرزمینی با کنترل ساختمان زمین (مطالعه موردی: حوزه آبخیز تسوج)، پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، کرج، انجمن آبخیزداری ایران.
- بزرگمهر، کیا. ۱۳۸۹، بررسی استفاده از متغیرهای مورفومتری حوزه‌های آبریز در تحلیل منطقه‌ای سیلاب (مطالعه موردی: حوزه‌های آبریز سردآبرود، چالوس و کورکورس)، فصلنامه علوم و فنون منابع طبیعی، سال پنجم، شماره ۴.
- ثروتی، محمدرضا، اکبر رستمی و فاطمه خدادادی. ۱۳۹۰، امکان‌سنجی وقوع سیل در حوضه آبخیز لیلان چای (مراغه) به روش CN، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، علمی-پژوهشی، سال هشتم، شماره ۳۲.
- حیدری، محمدطالب. ۱۳۸۵، مطالعه موردی ۲ نوع سیل در استان کردستان و پیشنهاد به‌کارگیری الگوی موفق مدیریت سیل ۹۱ مرداد کردستان برای کاهش خسارات سیل، اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری از منابع آب حوضه‌های کارون در شهر زاینده‌رود.
- رضوی، احمد. ۱۳۸۷، اصول تعیین حریم منابع آب، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعت آب و برق تهران.
- زاهدی، مجید و مریم بیاتی خطیبی. ۱۳۸۷، هیدرولوژی، چاپ اول، انتشارات سمت، تهران.
- دارابی، حمید. کریم سلیمانی، کاکا شاهی و میرحسن میرعقوب‌زاده. ۱۳۹۱، طبقه‌بندی زیر حوضه‌ها براساس پارامترهای مورفومتریک با استفاده از تحلیل‌های خوشه‌ای در حوضه آبخیز پل دوآب شازند، نشریه دانش آب‌وخاک، جلد ۲۲، شماره ۴.
- سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، دفتر امور فنی تدوین معیارها. (۱۳۸۰) راهنمای مهار سیلاب رودخانه (روش سازه‌ای)، نشریه‌ی شماره‌ی ۲۴۲.
- شعبانلو، سعید، حسین صدقی، بهرام ثقفیان و حبیب موسوی جهرمی، ۱۳۸۷، پهنه‌بندی سیلاب در شبکه رودخانه‌های استان گلستان با استفاده از GIS. مجله پژوهش آب ایران، سال دوم، شماره سوم.
- عبدی، پرویز. ۱۳۸۵، بررسی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه زنجان رود با روش سیستم اطلاعات جغرافیایی، کمیته آبیاری و زهکشی، کارگاه فنی همزیستی با سیلاب.

- علیزاده. امین، ۱۳۸۸، اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ ۲۶، دانشگاه امام رضا، ۸۷ ص.
- نجف قلی، محمود عرب خدری و علیرضا غفاری، ۱۳۸۳. بررسی تأثیر برخی ویژگی هندسی آبخیزها در سیلاب‌های حداکثر لحظه‌ای با دوره برگشت‌های مختلف. مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۶۱. صفحه‌های ۲ تا ۱۰.
- فریفته، جمشید، ۱۳۷۰، تحلیل‌های کمی در ژئومورفولوژی (ترجمه)، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- قنواتی، عزت‌الله. ۱۳۸۲. مدل ژئومورفولوژیکی سیلاب در حوضه‌ی گاماسیاب، تحقیقات جغرافیایی، شماره‌ی ۱۸، صص. ۱۷۴-۱۸۲.
- مقیمی، علی. سید رضا موسوی حرمی. احمد معتمد و حسن احمدی، ۱۳۸۸، بررسی تأثیر متغیرهای مورفومتری حوضه بر روی دبی حداکثر سیل در حوضه آبریز رودخانه چالوس با استفاده از روش آماری و مدل‌های ریاضی. فصلنامه زمین و منابع واحد لاهیجان، شماره اول سال دوم ۲، پیاپی ۵.
- محمد، ۱۳۸۶. هیدرولوژی کاربردی، جلد دوم، چاپ ۵، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- Ahn, K. Merwade, V., 2016, *Role of Watershed Geomorphic Characteristics on Flooding in Indiana, United States, Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 21, No. 2.
- Bajabaa, S. Masoud, M, Al-Amri, N., 2014, *Flash flood hazard mapping based on Quantitative hydrology, geomorphology and GIS techniques(case study of Wadi Al Lith, Saudi Arabia)*, Arab J Geosci, 7. Pp: 2469- 2481.
- Brierley, G, J Fryirs, K. A., 2005, *Geomorphology and River Management Application of the River Styles Framework*, Oxford, Blackwel Publishing.
- Garde R. J, 2006, *River. Morphology*, Published by New Age International (P) Ltd., publishers, New York.
- Keller. E. A., Pinter. N., 2002, *Active Tectonics, Uplift and Landscape*, PrenticeHall, New Jersey, 362 p.
- Kusky, T., 2008, *Floods: Hazards of Surface and Groundwater Systems*, Facts On File publishing, New York.
- Meraj, G, Romshoo, S.A, Yousuf, A, Altaf, S, Altaf, F., 2015, *Assessing the influence of Watershed characteristics on the flood vulnerability of Jhelum basin in Kashmir Himalaya*, Nat Hazards, 77, pp: 153-177.
- Patel, D. P., Gajjar, C. A., & Srivastava, P. K. (2013). *Prioritization of Malesari mini-watersheds through morphometric analysis: a remote sensing and GIS perspective. Environmental earth sciences*, 69(8), 2643-2656.
- Srinivasa RajuK, Nagesh KumarD, 2007. *Classification of Indian meteorological stations using cluster and fuzzy cluster analysis and Kohonen artificial neural networks. Nordic Hydrology* 38: 303-314.
- Stefanidis, S., & Stathis, D. (2013). *Assessment of flood hazard based on natural and anthropogenic factors using analytic hierarchy process (AHP). Natural hazards*, 68(2), 569-585.
- Wohl, E. E., 2000, *Inland Flood Hazards (Human, Riparian, and Aquatic Communities)*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Yalcin, G., Akyu rek, Z., 2004, *Multiple Criteria Analysis for Flood Vulnerable Areas*, 20th ISPRS Congress, July, Istanbul, Turkey, PP. 174-181.
- Youssef, A. M., Pradhan, B., & Hassan, A. M. (2011). *Flash flood risk estimation along the St. Katherine road, southern Sinai, Egypt using GIS based morphometry and satellite imagery. Environmental Earth Sciences*, 62(3), 611-623.