

## پهنه‌بندی سیل‌خیزی حوضه با تأکید بر تحلیل‌های کمی ژئومورفومتریک

کوروش شیرانی\* و ستار چاوشی<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۴/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۳۰)

### چکیده

اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از لحاظ شدت بلایای طبیعی و لزوم برنامه‌های اجرایی پیشگیری و درمان آن جایگاه ویژه‌ای در مدیریت منابع طبیعی و به‌ویژه مدیریت حوضه‌های آبخیز دارد. در این پژوهش به اولویت‌بندی ۲۴ زیرحوضه آبخیز زهره-جراحی با استفاده از پارامترهای مورفومتریک و مدل ترکیبی نوین تاپسیس-رگرسیون چندمتغیره خطی پرداخته شده است. تعداد ۱۲ عامل مورفومتریکی شامل ثابت نگهداشت، تراکم زهکشی، عدد ناهمواری، ضریب نفوذ، شاخص توان آبراهه، فراوانی آبراهه، شیب، بافت زهکشی، نسبت ناهمواری، ضریب فرم، نسبت انشعاب و شاخص رطوبت توپوگرافی به‌همراه عامل اقلیمی بارندگی مورد مطالعه قرار گرفته است. به‌منظور تعیین وزن عوامل از مدل رگرسیون چندمتغیره و آمار پراکنش مکانی سیلاب‌های رخ داده در منطقه استفاده شد و روش تصمیم‌گیری تاپسیس به‌منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها به‌کار گرفته شد. نتایج وزن‌دهی نشان داد که عوامل عدد ناهمواری، شیب و مقدار متوسط بارندگی به‌ترتیب با کسب مقادیر ۰/۰۶۸، ۰/۰۲۴ و ۰/۰۱۶ بیشترین تأثیر را در رخداد سیلاب در منطقه مورد مطالعه داشته‌اند. طبق نتایج اولویت‌بندی، زیرحوضه‌های آبخیز صیدون، امامزاده جعفر و تخت دراز به‌ترتیب با کسب کمترین فاصله از ایده‌آل مثبت (۰/۰۰۲۸، ۰/۰۰۲۹ و ۰/۰۰۲۹) و بیشترین فاصله از ایده‌آل منفی (۰/۰۰۹۷، ۰/۰۰۹۸ و ۰/۰۰۹۵) و در نتیجه کسب بیشترین امتیازات (۰/۷۷۴۵، ۰/۷۶۹۰ و ۰/۷۶۲۵) در رتبه‌های اول تا سوم قرار گرفته‌اند. به‌منظور اعتبارسنجی مدل از آمار تعداد سیلاب‌های رخ داده در این زیرحوضه‌ها استفاده شد و نتایج اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها با تعداد رخداد سیلاب در هر زیرحوضه مقایسه شد. نتایج اعتبارسنجی نشان داد که مدل ترکیبی دارای دقت بالایی در شناسایی زیرحوضه‌های با پتانسیل سیل‌خیزی بالا است، به‌طوری که در زیرحوضه‌های صیدون، امامزاده جعفر و تخت دراز بیشترین تعداد سیلاب رخ داده است که این موضوع بیانگر کارایی بالای مدل و همچنین تأثیر زیاد وضعیت مورفومتریک زیرحوضه‌ها روی پتانسیل سیل‌خیزی آنها است.

واژه‌های کلیدی: روش تاپسیس، ژئومورفومتری، سیل‌خیزی

۱. بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: K.Shirani@areeo.ac.ir

## مقدمه

مفهوم مورفومتری دربرگیرنده اندازه‌گیری و تحلیل عددی سطح زمین، شکل، ابعاد و فرم اراضی است (۲۹). در رابطه با سیل‌خیزی، مورفومتری حوضه دربرگیرنده شاخص‌های کمی و توصیف‌کننده خصوصیات فیزیکی حوضه است که الگو و ویژگی‌های کمی سیل مانند مقدار، زمان وقوع، زمان تأخیر و هیدروگراف جریان را کنترل می‌کند. توسعه نامتعارف شهرها به واسطه افزایش جمعیت و به دنبال آن تغییر کاربری اراضی منجر به بهم خوردن تعادل هیدرولوژیکی و افزایش سیل‌خیزی حوضه‌ها شده است. سیل از مهم‌ترین فجایع طبیعی است که باعث هدررفت منابع طبیعی در حوضه‌های آبخیز می‌شود (۳۴). بنابراین کنترل و مدیریت آن از اهمیت بالایی برخوردار است. گام نخست در کنترل سیل و بهبود وضعیت بحرانی یک حوضه آبخیز، شناسایی مناطق و زیرحوضه‌های با وضعیت بحرانی و اولویت‌بندی آنها برای عملیات کنترلی است (۴). تقسیم حوضه‌های آبخیز بزرگ به زیرحوضه‌های متعدد و مطالعه و اولویت‌بندی حوضه‌ها باعث کاهش زمان و هزینه‌های اجرایی عملیات آبخیزداری و همچنین کارایی بیشتر این طرح‌ها می‌شود (۴ و ۱۰). با توجه به اینکه حوضه آبخیز زهره- جراحی با مشکلات شدید کم‌آبی مواجه شده است، نیاز به مدیریت سیلاب‌ها به‌منظور تأمین آب و کاهش خسارات ناشی از سیلاب در این حوضه افزایش یافته است (۸). در این پژوهش از روش تحلیل کمی مورفومتریکی به دلیل عدم نیاز به داده‌های گسترده و دقیق به‌همراه یک روش ترکیبی نوین به‌منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها استفاده شده است. تحلیل کمی مورفومتریکی یک ابزار مهم برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها است (۱۲). در این روش با استفاده از تجزیه و تحلیل خصوصیات فیزیوگرافی مورفولوژیکی حوضه آبخیز به اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها پرداخته می‌شود (۳۰). سیستم اطلاعات جغرافیایی و تکنیک سنجش از دور از ابزار مؤثر برای بررسی‌های مورفومتریکی و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها هستند. در دهه‌های اخیر توجه بسیاری از پژوهشگران به مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

## Multiple Criteria- Decision- Making (MCDM) برای

تصمیم‌گیری‌های پیچیده معطوف شده است (۲۱). در این نوع از تصمیم‌گیری‌ها برای بهینه‌سازی مدل، به‌جای استفاده از یک معیار سنجش، از چند معیار استفاده می‌شود (۲، ۱۷، ۳۱ و ۳۲). استفاده از روش Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) این امکان را به مدیران می‌دهد که نتیجه تصمیم‌گیری آنها علمی‌تر شده و فرایند تصمیم‌گیری آنها در بستری از داده‌ها و خروجی‌های منطقی قرار گیرد. همچنین این روش و ابزار امکان تحلیل حساسیت را برای مدیران فراهم می‌سازد. بدین معنی که با تغییر شرایط و داده‌های اطلاعاتی مدیران به سادگی می‌توانند میزان تغییرات را در نتایج تصمیم‌گیری خود مشاهده کنند (۲). روش رگرسیون چند متغیره خطی نیز با توجه به اینکه با استفاده از واقعیت‌های زمینی و آمار موجود به تعیین وزن پارامترها می‌پردازد، دارای دقت بالایی بوده و قابل استناد است. درحالی‌که در روش‌های مرسوم، مانند فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، خطاهای کارشناسی وجود داشته و از سوی دیگر مقایسه‌های زوجی که توسط کارشناسان انجام می‌گیرد به دلیل دقیق و کامل نبودن تحقیقات در زمینه میزان اهمیت پارامترها قابل استناد نیستند (۲).

مطالعات زیادی در زمینه شناخت خصوصیات مورفومتریکی حوضه و ارتباط آن با سیل‌خیزی صورت گرفته است. سرینی و اسما و همکاران (۲۸) به اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها به‌منظور توسعه پایدار و مدیریت منابع طبیعی با استفاده از رویکرد ترکیبی سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و داده‌های اجتماعی، اقتصادی در هند در منطقه پاواگادا پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیدند که سه زیرحوضه بالاترین امتیاز را کسب کردند و دارای بیشترین اولویت به‌منظور اجرای طرح‌های مدیریتی و توسعه‌ای هستند. شارما و همکاران (۲۷) با استفاده از پارامترهای مورفومتریکی به اولویت‌بندی پنج زیرحوضه آبخیز رودخانه سارفا شاهدل بخشی از پرداش مادها در مرکز کشور هند با استفاده از قابلیت‌های GIS پرداختند. نتایج تحقیق ایشان حاکی از نقش و اهمیت بارز عوامل ژئومورفومتریکی و

شده‌اند. آمانی و نجفی‌نژاد (۴) به اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها با استفاده از آنالیز مورفومتری، فنون سنجش از دور و GIS در حوضه آبخیز لهندر در استان گلستان پرداخته‌اند. اولویت هر یک از زیرحوضه‌ها به کمک مقادیر شاخص رطوبت سالیانه و میانگین کل پارامترهای مورفومتریکی تعیین شد. از نظر پارامترهای مورفومتری زیرحوضه B5 و از نظر پارامتر شاخص رسوب سالیانه زیرحوضه A5 دارای وضعیت بحرانی‌تر بوده‌اند. حاصل تلفیق هر دو عامل نشان داد که زیرحوضه B2 دارای بدترین شرایط است. اوزدمیر برت (۲۳) با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و داده‌های DEM پارامترهای مورفومتریکی شبکه آبراهه را ارزیابی کردند. مقدسه و همکاران (۹) به اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها با استفاده از تحلیل مورفومتری و تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبخیز تالاب استان مازندران پرداخته‌اند. آنان چنین نتیجه گرفته‌اند که از ۲۱ زیرحوضه مورد بررسی، ۹ زیرحوضه دارای اولویت خیلی زیاد، ۶ زیرحوضه اولویت زیاد، پنج زیرحوضه اولویت متوسط و یک زیرحوضه دارای اولویت کم است. اسماعیلی و همکاران (۱) حوضه گلندرود در البرز شمالی، استان مازندران و جنوب شهر رویان به ۱۲ زیرحوضه تقسیم کردند. دوازده پارامتر مورفومتریکی را انتخاب کردند. بر اساس تکنیک تلفیقی رتبه‌بندی تاپسیس و روش آنتروپی شانون وزن زیرحوضه‌های ۱۲، ۱۰ و ۳ را به ترتیب رتبه‌های اول تا سوم را تعیین کردند. حبیبی و غریب رضا (۵) برای شناسایی سکونت‌گاه‌های در معرض خطر سیلاب از مدل تلفیقی تاپسیس با استفاده از ۹ لایه مؤثر در وقوع سیلاب و نرم‌افزار ۱۰/۱ ArcGIS نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر سیلاب را تهیه و طبقه‌بندی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل تاپسیس قابلیت خوبی در تعیین موقعیت سکونت‌گاه در پهنه‌های پرخطر و تعیین حریم رودخانه دارد. دارابی و همکاران (۷) بر اساس ۱۰ پارامترها مورفومتریکی و با استفاده از تکنیک GIS اولویت سیل‌خیزی زیرحوضه‌های پل دوآب شازند را تعیین کردند. بر این اساس زیرحوضه‌ها در سه کلاس با اولویت زیاد، کم و متوسط به منظور اقدامات حفاظتی آب و خاک طبقه‌بندی شدند.

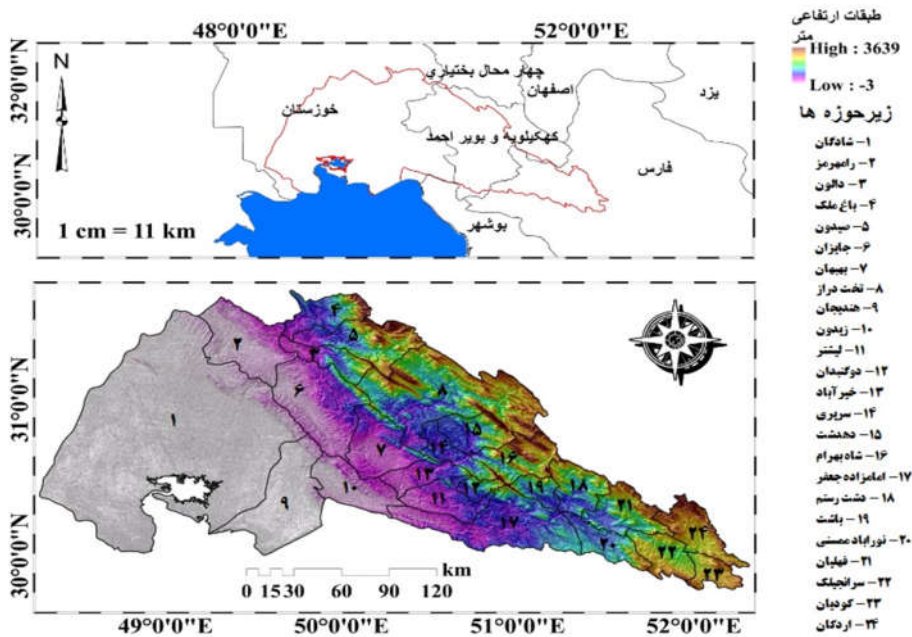
هیدرومورفیک در اولویت‌بندی نسبت به سیل بود. جاود (۱۶) به اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها بر اساس تحلیل مورفومتریکی و کاربری اراضی با استفاده از قابلیت‌های سنجش از دور و GIS در حوضه کانرا ایالت راجستان کشور هند پرداخته و بر اساس تحلیل مورفومتریکی و کاربری اراضی، زیرحوضه‌ها را به سه گروه زیاد، متوسط و کم به‌منظور اولویت برای مدیریت و حفاظت منابع طبیعی طبقه‌بندی کرده است. طبق نتایج این تحقیق دو زیرحوضه دارای اولویت زیاد، یک زیرحوضه دارای اولویت متوسط و چهار زیرحوضه دارای اولویت کم برای حفاظت و مدیریت منابع طبیعی هستند. تاکار و دهیمن (۳۰) با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور استفاده از خصوصیات مورفومتری، هشت زیرحوضه را در حوضه آبخیز گوجارات هند اولویت‌بندی کردند و به این نتیجه رسیدند که خصوصیات مربوط به شکل رابطه منفی و سایر عوامل مانند ضریب انشعاب، بافت خاک، تراکم زهکشی و توان آبراهه رابطه مثبت با رواناب و فرسایش خاک دارد (۲۱). آهر و همکاران (۱۱) به کمی‌سازی خصوصیات مورفومتریکی و اولویت‌بندی به‌منظور برنامه‌ریزی مدیریتی در مناطق خشک و نیمه‌خشک هند با استفاده از رویکرد ترکیبی سنجش از دور و GIS پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیدند که ۵۱/۶۶ درصد از زیرحوضه‌ها در مناطق با حساسیت متوسط تا زیاد قرار گرفته‌اند که بیانگر نیاز این مناطق به برنامه‌ریزی‌های حفاظتی است. در مطالعات داخلی نیز خیری‌زاده (۶) به پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در حوضه آبخیز مردق چای استان آذربایجان شرقی با استفاده از مدل ANP پرداخته‌اند. بدین منظور از متغیرهای شیب، شماره منحنی، ارتفاع رواناب، شکل، تراکم زهکشی، سنگ‌شناسی و پوشش گیاهی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که عوامل شیب و ارتفاع رواناب در رابطه با رخداد سیلاب از بیشترین میزان اهمیت و عوامل پوشش گیاهی و سنگ‌شناسی از کمترین میزان اهمیت برخوردار هستند و در ۳۲ درصد از سطح حوضه خطر وقوع سیلاب در حد زیاد و بسیار زیاد است که بیشتر در قسمت‌های پایین دست حوضه واقع

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

به‌منظور ارزیابی کارایی روش تاپسیس در اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از لحاظ سیل‌خیزی، این مدل در حوضه زهره-جراحی واقع در جنوب غربی ایران مابین طول‌های جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۶ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۹ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی به‌کار گرفته شده است (شکل ۱). این حوضه با مساحتی بالغ بر ۴۱۰۱۴/۸۶۱ کیلومتر مربع بین حدود ارتفاعی حداکثر ۳۶۳۹ و حداقل ۳- متر پایین‌تر از سطح دریا قرار دارد. دو رود اصلی این حوضه، جراحی به‌طول ۴۳۸ کیلومتر و زهره به‌طول ۲۷۵ کیلومتر هستند که به خلیج فارس می‌ریزند (۳). رود جراحی بخش غربی حوضه را تشکیل می‌دهد. این رود از تلاقی رودهای مارون و اعلا (الله) ایجاد شده است. رود اعلا از شمال باغ‌ملک سرچشمه می‌گیرد و به سوی جنوب جریان می‌یابد. رود مارون نیز از جنوب لردگان آغاز می‌شود و در چم‌هاشم به رود اعلا می‌پیوندد. دیگر رود اصلی این حوضه، رود زهره است. شاخه اصلی این رود، رود اردکان است که از ارتفاعات اردکان سرچشمه می‌گیرد و در ادامه مسیر خود رود فهلیان نامیده می‌شود. شاخه دیگر رود زهره، رود خیرآباد است که در ارتفاعات دوگنبدان تشکیل می‌شود و در شرق زیدون با فهلیان تلاقی می‌کند (۳). در قسمت‌های بالادست میزان بارش‌های جوی و چشمه‌های کارستی فراوان است و در مناطق پایین‌دست وارد منطقه خشک و نیمه‌خشک با میزان بارندگی متوسط ۲۵۵ میلی‌متر و کمتر می‌شود (۳). منطقه مورد نظر عمدتاً در استان خوزستان و بخش‌هایی از آن در استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و فارس واقع شده است. بخش‌های شرقی و جنوب شرقی منطقه دارای توپوگرافی کوهستانی است، درحالی‌که بخش‌های غربی منطقه دارای توپوگرافی هموار است. این حوضه بر اساس تقسیمات جاماب (طرح جامع آب کشور) به ۲۴ واحد هیدرولوژیک تقسیم شده است. این واحدهای هیدرولوژیک با

نتایج نشان داد که ۱۴ زیرحوضه در اولویت زیاد و ۶ زیرحوضه در اولویت متوسط و ۴ زیرحوضه در اولویت کم قرار دارند. سامسون و همکاران (۲۶) با کمک تحلیل‌های مکانی و تحلیل ۱۰ عامل مورفومتریک مؤثر بر سیلاب در یکی از زیرحوضه‌های رودخانه اوگون-اوشون در جنوب غرب نیجریه به اولویت‌بندی آنها از لحاظ تأثیر بر وقوع سیلاب پرداختند. نتایج نشان داد که ۲۳ درصد منطقه مورد مطالعه دارای حساسیت شدید به سیلاب است. بارش‌های با شدت زیاد، کاربری اراضی، شیب و خصوصیات مورفومتری نقش به‌سزایی در وقوع سیلاب در این منطقه دارند. المصطفی و محمد (۱۴) با استفاده از هشت پارامتر مورفومتری حوضه، نقشه خطر سیل‌خیزی را در حوضه صحرای سینا در مصر تهیه کردند. مساحت حوضه، زمان تمرکز و شیب به‌ترتیب بیشترین ارتباط را با وقوع سیلاب در منطقه نشان دادند درحالی‌که سایر عوامل مثل عامل شکل حوضه، تراکم و تناوب زهکشی و طول جریان سطحی اثر کمتری داشتند. کوشک و داود (۱۸) با استفاده از ۹ پارامتر مورفومتریک و تکنیک‌های GIS شش زیرحوضه محدوده شهری مکه در جنوب غربی عربستان را مطالعه و تأثیر هر یک از این عوامل بر سیلاب بررسی کردند. طبق نتایج حوضه شماره ۳ با کمترین زمان تمرکز دارای بیشترین عمق رواناب است که علت آن مساحت کم، عدد ناهمواری بالار بیشترین شیب در منطقه است. از آنجا که حوضه جراحی زهره رخ داده‌های سیلابی نسبتاً زیادی تا کنون از آن گزارش شده است. در صورتی‌که با استفاده از پارامترهای ژئومورفیک بتوان اولویت سیل‌خیزی زیرحوضه‌ای آن را مشخص کرد، مدیریت بهتری از نظر خسارات وارده می‌توان اعمال کرد. با توجه به تحقیقات فوق در این پژوهش با استفاده از پارامترهای مورفومتریک و روش ترکیبی تاپسیس-رگرسیون چند متغیره خطی به رتبه‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های حوضه آبخیز زهره-جراحی پرداخته شده است. نوآوری این پژوهش نسبت به پژوهش‌های گذشته ارزیابی روش ترکیبی تاپسیس-رگرسیون چند متغیره خطی است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز زهره - جراحی

(Ig) و یک پارامتر اقلیمی متوسط بارش (Rm) قرار گرفت. پارامترهای مورفومتریک و هیدروژئومورفولوژیک مذکور، به‌کمک نرم‌افزار ArcGIS ver. ۱۰/۴ و به‌کارگیری الحاقیه ArcHydro و روابط ارائه شده در جدول ۱ محاسبه و نقشه‌های مورد نیاز برای مرحله بعد تهیه شد (جدول ۱). نقشه بارندگی متوسط با استفاده از نقشه خطوط هم‌باران جاماب تهیه شده است. پس از محاسبه و تهیه نقشه‌های پارامتر اقدام به الویت‌بندی ۲۴ زیر حوضه از نظر سیل‌خیزی با استفاده از روش ترکیبی نوین تاپسیس - چندمتغیره خطی شد. به‌منظور اعتبارسنجی مدل از داده‌های پراکنش مکانی سیلاب‌های رخ داده در زیرحوضه‌ها استفاده شد و با مقایسه اولویت‌های ارائه شده به‌وسیله روش ترکیبی و تعداد سیلاب رخ داده در هر زیرحوضه به اعتبارسنجی مدل پرداخته شد.

#### روش تاپسیس

تکنیک TOPSIS که نخستین بار سال ۱۹۸۱ توسط وان و یون معرفی شد، نقاط اشتراک زیادی با AHP دارد (۳۳). بنیان اصلی TOPSIS، محاسبه فاصله اقلیدسی گزینه‌های تصمیم‌گیری از راه‌حل‌های ایده‌آل مثبت و منفی است (۱۳). راه حل ایده‌آل

توجه به اهمیت نقش عوامل مورفومتریک مؤثر در رخداد سیل مبنای تقسیم‌بندی و تعیین پارامترهای مورفومتریک قرار گرفتند.

#### روش تحقیق

از آنجایی که واحدهای هیدرولوژیک مبنای بررسی پارامترهای مورفومتریک برای الویت‌بندی نقشه سیل‌خیزی هستند، لذا در این پژوهش با استفاده از شبکه آبراه‌های و منحنی‌های تراز ارتفاع، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و داده‌های رقومی ارتفاعی حاصل از تصاویر آستر نسخه دوم (با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر) در محیط ArcGIS ver. ۱۰/۴ و به‌کارگیری الحاقیه ArcHydro و ۳/۰/۰ SAGA GIS v. اقدام به تدقیق مرز واحدهای هیدرولوژیک شد. پس از اصلاح مرز واحدهای هیدرولوژیک، داده‌های رقومی ارتفاعی حاصل از تصاویر آستر نسخه دوم مبنای استخراج ۱۳ پارامتر مؤثر شامل ۱۰ پارامتر مورفومتریک نسبت انشعاب (Rb)، تراکم زهکشی (Dd)، ثابت نگهداشت آبراهه (C)، فراوانی آبراهه (Fs)، ضریب فرم (Ff)، نرخ بافت زهکشی (Rt)، نسبت ناهمواری (Rh)، عدد ناهمواری (Rn)، شیب متوسط (Sm)، سه پارامتر هیدروژئومورفولوژیک شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، شاخص توان آبراهه (SPI)، ضریب نفوذ

جدول ۱. نحوه محاسبه پارامترهای مورفومتریک

مرجع	توصیف	رابطه ریاضی	پارامتر مورفومتریک	ردیف
(۲۷)	تعداد آبره‌های یک رده (Nu) به تعداد تعداد آبراهه‌های رده بعدی (Nu+1)	$Rb = \frac{Nu}{Nu+1}$	نسبت انشعاب (Rb)	۱
(۲۷)	نسبت مجموع طول آبراهه‌ها (Li) به سطح حوضه (A)	$Dd = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{A}$	تراکم زهکشی (Dd)	۲
(۲۸)	نسبت سطح حوضه آبخیز (A) به مجموع طول آبراهه‌های موجود (Li)	$C = \frac{A}{\sum_{i=1}^n L_i}$	ثابت نگهداشت آبراهه (C)	۳
(۱۵)	نسبت تعداد آبراهه (N) به مساحت حوضه (A)	$Fs = N / A$	فراوانی آبراهه (Fs)	۴
(۱۵)	مساحت حوضه (A) به مربع طول حوضه آبخیز (Lb)	$Ff = \frac{A}{(L_b)^2}$	ضریب فرم (Ff)	۵
(۲۴)	تعداد آبراهه‌های رده‌های مختلف (Nu) به محیط حوضه آبخیز (P)	$Rt = Nu / P$	نرخ بافت زهکشی (Rt)	۶
(۲۸)	اختلاف ارتفاع حوضه (HΔ) به طول حوضه آبخیز (Lb)	$Rh = \Delta H / Lb$	نسبت ناهمواری (Rh)	۷
(۲۰)	اختلاف ارتفاع حوضه (HΔ) به تراکم زهکشی (Dd)	$Rn = \Delta H * Dd$	عدد ناهمواری (Rn)	۸
(۲۷)	اختلاف ارتفاع حوضه (HΔ) به مساحت حوضه (A)	$Sm = \Delta H / A$	شیب متوسط (Sm)	۹
(۲۲)	لگاریتم نسبت سطح زهکشی بالادست (a) به مماس زاویه شیب (tagβ)	$TWI = \ln(a / \text{tag}\beta)$	شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)	۱۰
(۲۲)	حاصل ضرب سطح حوضه (A) در مماس زاویه شیب (tagβ)	$SPI = A * \text{tag}\beta$	شاخص توان آبراهه (SPI)	۱۱
(۳۴)	حاصل ضرب تراکم زهکشی (Dd) و فراوانی آبراهه (Fs)	$Ig = Dd * Fs$	ضریب نفوذ (Ig)	۱۲
-	اختلاف بارندگی حوضه (Rd) به سطح حوضه آبخیز (A)	$Rm = Rd / A$	بارندگی متوسط حوضه (Rm)	۱۳

نزدیکی Closeness Coefficient بیان می‌شود که بر این اساس گزینه‌ای که مقدار عددی ضریب نزدیکی بزرگ‌تری داشته باشد، به‌عنوان گزینه برتر شناخته می‌شود (۱۳).

### نتایج و بحث

به‌منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها در ابتدا پارامترهای مورفومتریکی از قبیل ثابت نگهداشت، تراکم زهکشی، عدد ناهمواری، ضریب نفوذ، شاخص توان آبراهه، فراوانی آبراهه، شیب، بافت زهکشی، نسبت ناهمواری، ضریب فرم، نسبت

مثبت Positive Ideal Solution (PIS) راه حل یا گزینه‌ای است که از لحاظ معیارهای سود بیشینه هزینه وضعیت کمینه را دارد و راه‌حل ایده‌آل منفی Negative Ideal Solution (NIS) راه‌حل است که از نظر معیارهای هزینه بیشینه و از لحاظ سود کمینه است (۱۳). در TOPSIS مقادیر قطعی Crisp Values برای بیان ارجحیت نسبی گزینه‌ها در برآورده کردن معیارهای تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۹) و گزینه برتر گزینه‌ای است که کمترین فاصله را از PIS و بیشترین فاصله را از NIS داشته باشد. برآیند این دو فاصله در قالب ضریب

جدول ۲. مقادیر پارامترهای مورفومتریکی برای هر یک از زیرحوضه‌ها در منطقه مورد مطالعه

Z	Y	X	W	V	H	G	F	E	D	C	B	A	زیرحوضه
۲/۲۲	۸۱/۲	۰/۷۳	۲۰۸	۰/۰۸	۰/۲۶	۰/۰۰	۲	۰/۴۵	۰/۱۶	۲	۰/۴	۲/۱	شادگان
۹/۵۴	۶۶/۱	۰/۲۲	۳۲۵	۰/۱۲	۰/۳۶	۰/۰۰	۱/۷	۰/۳۶	۰/۲	۱/۷	۰/۵	۱/۹	رامهرمز
۲۹	۳۷/۱	۰/۱۷	۵۱۰	۰/۰۷	۱/۰۷	۰/۰۴	۰/۷۲	۰/۲۲	۰/۱۶	۲/۳	۰/۴	۱/۶	دالون
۳۴/۶	۳۵/۶	۰/۱۰	۵۵۴	۰/۰۷	۱/۲۴	۰/۰۵	۰/۷۹	۰/۳	۰/۱۶	۲/۳	۰/۴	۵/۲	باغ‌ملک
۳۹/۴	۲۹/۳	۰/۰۵	۶۱۲	۰/۰۵	۱/۲۰	۰/۰۴	۰/۹	۰/۲۷	۰/۱۳	۲/۷	۰/۳	۱/۵	صیدون
۲۰/۲	۵۰/۷	۰/۱۹	۳۵۱	۰/۱۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۱/۸	۰/۵۶	۰/۱۸	۱/۸	۰/۵	۱/۶	جایزان
۱۸/۱	۵۰	۰/۷۰	۴۰۲	۰/۰۸	۰/۹۵	۰/۰۵	۱/۳	۰/۸۹	۰/۱۷	۲	۰/۴	۲/۱	بهبهان
۳۸/۲	۲۶/۱	۰/۲۴	۶۴۲	۰/۰۴	۱/۰۹	۰/۰۴	۱/۳	۰/۷۴	۰/۱۳	۲/۸	۰/۳	۱/۳	تخت‌دراز
۳/۱	۷۸/۴	۰/۶۶	۲۲۴	۰/۰۷	۰/۳۰	۰/۰۰	۱/۳	۰/۴۲	۰/۱۵	۲	۰/۴	۲	هندیجان
۱۱/۱	۵۹/۶	۰/۷۰	۲۷۵	۰/۰۸	۰/۲۹	۰/۰۱	۱/۲	۰/۳۵	۰/۱۸	۲/۱	۰/۴	۴/۳	زیدون
۱۹/۹	۴۸/۷	۰/۱۷	۳۸۶	۰/۱۱	۰/۹۶	۰/۰۳	۱	۰/۳۳	۰/۲۱	۱/۹	۰/۵	۵/۶	لیشتر
۳۴/۵	۳۴/۴	۰/۱۳	۵۷۰	۰/۰۶	۱/۰۶	۰/۱۰	۰/۵۲	۰/۴۲	۰/۱۵	۲/۴	۰/۴	۱/۱	دوگنبدان
۱۹/۴	۴۸/۳	۰/۴۳	۴۱۶	۰/۱۰	۰/۹۳	۰/۰۴	۰/۹۶	۰/۳۹	۰/۲	۱/۹	۰/۵	۲/۵	خیرآباد
۳۰/۵	۳۷/۱	۰/۲۱	۵۴۱	۰/۰۷	۱/۰۸	۰/۰۴	۰/۷۱	۰/۱۹	۰/۱۷	۲/۲	۰/۳	۱/۳	سرپری
۲۹/۷	۳۴	۰/۵۲	۵۹۹	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۹	۱/۱	۰/۸۷	۰/۱۷	۲/۷	۰/۴	۲	دهدشت
۴۷/۲	۲۱/۶	۰/۱۴	۷۱۴	۰/۰۵	۰/۸۶	۰/۰۶	۰/۹۱	۰/۶۸	۰/۱۵	۳	۰/۳	۱/۴	شاه‌بهرام
۲۸/۵	۴۱/۷	-۰/۰۸	۴۵۷	۰/۰۹	۱/۳۲	۰/۰۲	۱/۵	۰/۱۹	۰/۱۹	۲/۱	۰/۴	۲/۱	امام‌زاده جعفر
۳۷/۸	۲۸/۹	۰/۱۸	۷۶۱	۰/۰۴	۰/۸۲	۰/۰۶	۰/۷۹	۰/۶۷	۰/۱۳	۲/۷	۰/۳	۱/۴	دشت‌رستم
۳۳/۴	۳۱/۵	۰/۳۲	۶۹۷	۰/۰۶	۰/۹۳	۰/۰۷	۰/۶۸	۰/۴۴	۰/۱۶	۲/۴	۰/۴	۲/۸	باشت
۲۵/۹	۳۸/۲	۰/۴۱	۶۲۳	۰/۰۵	۰/۷۴	۰/۰۳	۰/۶۹	۰/۱۹	۰/۱۴	۲/۶	۰/۳	۲/۹	نورآباد ممسنی
۳۶/۹	۲۸/۷	۰/۲۵	۷۲۹	۰/۰۵	۰/۸۳	۰/۰۴	۰/۷۲	۰/۴۷	۰/۱۳	۲/۵	۰/۳	۱/۶	فهلپان
۳۰/۸	۳۵/۶	-۰/۰۱	۷۵۵	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۹	۰/۳۳	۰/۱۶	۲/۴	۰/۴	۱/۹	سرانجیلک
۱۹/۹	۴۱/۴	۰/۵۵	۵۸۵	۰/۰۶	۰/۵۹	۰/۰۳	۰/۵۹	۰/۳۶	۰/۱۴	۲/۳	۰/۴	۱/۹	کودیان
۲۵/۷	۳۴/۲	۰/۴۶	۶۴۸	۰/۰۵	۰/۹۸	۰/۰۳	۰/۶۶	۰/۲۸	۰/۱۳	۲/۲	۰/۴	۱/۸	اردکان

A: نسبت انشعاب، B: تراکم زهکشی، C: ثابت نگهداشت، D: فرآوانی آبراهه، E: ضریب فرم، F: بافت زهکشی، G: نسبت ناهمواری، H: عدد ناهمواری، V: ضریب نفوذ، W: میانگین بارندگی، X: شاخص رطوبت توپوگرافی، Y: شاخص توان آبراهه و Z: شیب.

استفاده شده است. بدین صورت که پس از تهیه انواع نقشه‌های عوامل مؤثر در سیلاب، این نقشه‌ها نسبت به هم مقایسه و نقشه‌های مربوط به این متغیرها همپوشانی شده و واحدهای همگن به دست آمد. کمی کردن عوامل با توجه به تعداد رخداد سیلاب در واحدهای همگن صورت گرفته است. بدین منظور نقشه واحدهای همگن و نقشه پراکنش سیلاب (شکل ۲) را همپوشانی کرده و تعداد سیلاب‌های موجود در هر واحد همگن محاسبه شد. پس از تعیین تعداد رخداد سیلاب در کلاس‌های مختلف هر یک از عوامل، به کلاسی که بیشترین تعداد رخداد سیلاب را داراست بر طبق روش رگرسیون چند متغیره امتیاز

انشعاب و شاخص رطوبت توپوگرافی به همراه مقادیر متوسط بارندگی برای هر یک از زیرحوضه‌ها محاسبه شد (جدول ۲). پس از اندازه‌گیری این عوامل و تشکیل ماتریس اولیه، به دلیل آنکه مقادیر کمی تعلق گرفته به معیارها و شاخص‌ها دارای واحد یکسان نیستند، بایستی آنها را استاندارد کرده و به ارقام بدون بعد تبدیل کرد. بدین منظور تمامی مقادیر تعلق گرفته به درآیه‌های ماتریس تصمیم‌گیری، بر اساس رابطه (۱) بی‌بعد شد. (جدول ۳).

در این پژوهش به منظور پرهیز از قضاوت کارشناسی از روش رگرسیون چندمتغیره خطی برای تعیین وزن معیارها

جدول ۳. ماتریس بی‌بعد پارامترهای مرتبط با هر یک از زیرحوضه‌ها در منطقه مورد مطالعه

Z	Y	X	W	V	H	G	F	E	D	C	B	A	زیرحوضه
۰/۰۱	۰/۳۶	۰/۳۸	۰/۰۷	۰/۲۲	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۳۶	۰/۱۹	۰/۲۰	۰/۱۷	۰/۲۲	۰/۱۶	شادگان
۰/۰۶	۰/۲۹	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۳۲	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۳۱	۰/۱۵	۰/۲۵	۰/۱۵	۰/۲۵	۰/۱۵	رامهرمز
۰/۲۰	۰/۱۶	۰/۰۸	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۲۴	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۰۹	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۱۹	۰/۱۳	دالون
۰/۲۴	۰/۱۶	۰/۰۵	۰/۲۰	۰/۱۹	۰/۲۸	۰/۲۳	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۱۹	۰/۲۰	۰/۱۹	۰/۴۱	باغ‌ملک
۰/۲۸	۰/۱۳	۰/۰۲	۰/۲۲	۰/۱۴	۰/۲۸	۰/۱۸	۰/۱۶	۰/۱۱	۰/۱۶	۰/۲۳	۰/۱۷	۰/۱۱	صیدون
۰/۱۴	۰/۲۲	۰/۱۰	۰/۱۳	۰/۲۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۳۳	۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۱۶	۰/۲۴	۰/۱۲	جایزان
۰/۱۳	۰/۲۲	۰/۳۶	۰/۱۴	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۱	۰/۲۴	۰/۳۷	۰/۲۰	۰/۱۷	۰/۲۲	۰/۱۷	بهبهان
۰/۲۷	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۲۳	۰/۱۱	۰/۲۵	۰/۱۸	۰/۲۴	۰/۳۱	۰/۱۶	۰/۲۴	۰/۱۶	۰/۱۱	تخت دراز
۰/۰۲	۰/۳۵	۰/۳۴	۰/۰۸	۰/۲۰	۰/۰۷	۰/۰۳	۰/۲۳	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۲۲	۰/۱۶	هنديجان
۰/۰۷	۰/۲۶	۰/۳۷	۰/۱۰	۰/۲۲	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۲۱	۰/۱۵	۰/۲۲	۰/۱۸	۰/۲۱	۰/۳۴	زیدون
۰/۱۴	۰/۲۲	۰/۰۸	۰/۱۴	۰/۳۱	۰/۲۲	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۲۶	۰/۱۶	۰/۲۴	۰/۴۴	لیشتر
۰/۲۴	۰/۱۵	۰/۰۷	۰/۲۱	۰/۱۶	۰/۲۴	۰/۴۲	۰/۰۹	۰/۱۷	۰/۱۹	۰/۲۰	۰/۱۹	۰/۰۹	دوگنبدان
۰/۱۳	۰/۲۱	۰/۲۲	۰/۱۵	۰/۲۸	۰/۲۱	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۲۵	۰/۱۶	۰/۲۳	۰/۲۰	خیرآباد
۰/۲۱	۰/۱۶	۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۱۹	۰/۲۵	۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۲۰	۰/۱۰	سرپری
۰/۲۱	۰/۱۵	۰/۲۷	۰/۲۲	۰/۱۶	۰/۲۴	۰/۳۸	۰/۲۱	۰/۳۷	۰/۲۱	۰/۲۴	۰/۱۶	۰/۱۶	دهدشت
۰/۳۳	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۲۶	۰/۱۴	۰/۲۰	۰/۲۷	۰/۱۶	۰/۲۹	۰/۱۹	۰/۲۵	۰/۱۵	۰/۱۱	شاه بهرام
۰/۲۰	۰/۱۸	-۰/۰۴	۰/۱۶	۰/۲۵	۰/۳۰	۰/۱۰	۰/۲۸	۰/۰۸	۰/۲۴	۰/۱۸	۰/۲۱	۰/۱۷	امامزاده جعفر
۰/۲۷	۰/۱۳	۰/۰۹	۰/۲۸	۰/۱۱	۰/۱۹	۰/۲۶	۰/۱۴	۰/۲۸	۰/۱۶	۰/۲۳	۰/۱۶	۰/۱۱	دشت رستم
۰/۲۳	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۲۵	۰/۱۶	۰/۲۱	۰/۳۱	۰/۱۲	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۱۸	۰/۲۲	باشت
۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۲۱	۰/۲۳	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۱۸	۰/۲۳	۰/۱۷	۰/۲۳	نورآباد ممسنی
۰/۲۶	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۲۷	۰/۱۴	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۲۰	۰/۱۶	۰/۲۱	۰/۱۸	۰/۱۳	فهلپان
۰/۲۲	۰/۱۶	-۰/۰۰	۰/۲۸	۰/۱۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۱۹	۰/۱۵	سرانجیلک
۰/۱۴	۰/۱۸	۰/۲۸	۰/۲۱	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۱۶	۰/۱۰	۰/۱۵	۰/۱۸	۰/۲۰	۰/۱۹	۰/۱۵	کودیان
۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۱۴	۰/۲۲	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۶	۰/۱۹	۰/۲۰	۰/۱۴	اردکان

A: نسبت انشعاب، B: تراکم زهکشی، C: ثابت نگهداشت، D: فرآوانی آبراهه، E: ضریب فرم، F: بافت زهکشی، G: نسبت ناهمواری، H: عدد ناهمواری، V: ضریب نفوذ، W: میانگین بارندگی، X: شاخص رطوبت توپوگرافی، Y: شاخص توان آبراهه و Z: شیب.

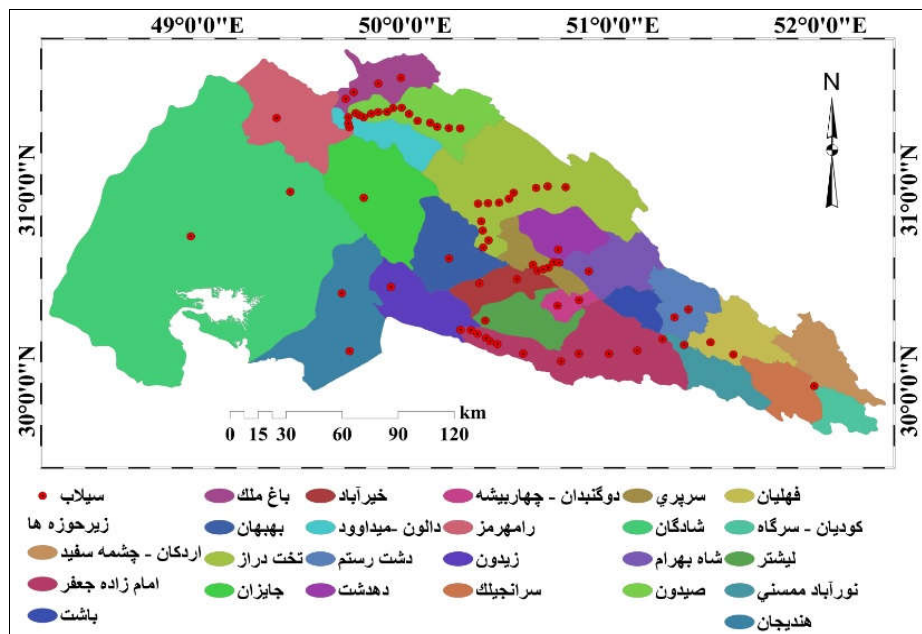
سیلاب در واحدهای همگن داشته‌اند (جدول ۴). رابطه (۱) نتیجه نهایی حاصل از تجزیه و تحلیل آماری به دست آمده با ضریب R معادل ۰/۹۶ را نشان می‌دهد.

$$Y = 0.07 - 0.0018X_c - 0.003X_{Dd} + 0.068X_s + 0.00056X_s + 0.00089X_{SPI} - 0.0031X_{Fs} + 0.024X_{Slope} - 0.0057X_{Rt} + 0.0023X_{Rh} + 0.00041X_{Ff} + 0.016X_{Rain} - 0.018X_{Rb} + 0.0019X_{TWI} \quad (1)$$

نتایج حاصل از وزن‌دهی معیارها با روش رگرسیون چندمتغیره خطی نشان داد که معیارهای عدد ناهمواری، شیب و بارندگی به ترتیب با کسب ۰/۰۶۸، ۰/۰۲۴ و ۰/۰۱۶ امتیاز بیشترین تأثیر را در رخداد سیلاب در منطقه مورد مطالعه داشته‌اند که با نتایج

۱۰ داده و بقیه کلاس‌ها به صورت نسبتی از این کلاس امتیاز داده می‌شوند. پس از دستیابی به نرخ‌های مربوط به طبقات هر یک از عوامل، این اطلاعات برای ۵۳۴۲۳۱ واحد همگن به صورت ۵۳۴۲۳۱ تکرار و ۱۳ پارامتر به محیط نرم‌افزار SPSS Version ۲۲ منتقل شد. از بین روش‌های رگرسیون چندمتغیره روش Enter با سطح اطمینان بیش از ۹۳ درصد برای هر یک از عوامل انتخاب شد (۴، ۶، ۹ و ۲۳). با توجه به نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل رگرسیون چند متغیره، برای تمامی عوامل ضریب معنی داری بالاتر از ۹۶ درصد به دست آمد که نشان‌دهنده آن است که از نظر آماری رابطه قوی با تعداد رخداد





شکل ۲. نقشه پراکنش وقوع سیل در حوضه آبخیز زهره - جراحی

جدول ۴. نتایج تجزیه تحلیل آماری رگرسیون چند متغیره

پارامترهای مورفومتریک (متغیر مستقل)	علامت در معادله رگرسیونی	وزن عامل	سطح معنی‌داری
-	مقدار ثابت	۰/۰۷۳	۰/۰۰۷
ثابت نگهداشت	$X_C$	-۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۱
تراکم زهکشی	$X_{Dd}$	-۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۱
عدد ناهمواری	$X_{Rn}$	۰/۰۶۸	۰/۰۰۱
ضریب نفوذ	$X_S$	۰/۰۰۰۵۶	۰/۰۰۰
توان آبراهه	$X_{SPI}$	۰/۰۰۰۸۹	۰/۰۰۱
فراوانی آبراهه	$X_{Fs}$	-۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۰۱
شیب	$X_{Slope}$	۰/۰۲۴	۰/۰۰۰
بافت زهکشی	$X_{Rt}$	-۰/۰۰۵۷	۰/۰۰۱
نسبت ناهمواری	$X_{Rh}$	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۱
ضریب فرم	$X_{Ff}$	۰/۰۰۴۱	۰/۰۰۰
بارندگی	$X_{Rain}$	۰/۰۱۶	۰/۰۰۰
نسبت انشعاب	$X_{Rb}$	-۰/۰۱۸	۰/۰۰۰
رطوبت توپوگرافی	$X_{TWI}$	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۰

رطوبت توپوگرافی، توان آبراهه، ضریب نفوذ، ثابت نگهداشت و نسبت انشعاب در رتبه‌های چهارم تا دهم قرار گرفته‌اند. پس از تعیین وزن معیارها، ماتریس بی‌بعد وزنی از طریق رابطه (۳) و ضرب این اوزان در ماتریس بی‌بعد محاسبه شد و از طریق ماتریس بی‌بعد وزن اقدام به تعیین ایده‌آل مثبت و منفی از طریق

خیری‌زاده (۶) و ثقفیان و همکاران (۲۵) مطابقت داشته و در مقابل معیارهای بافت زهکشی، تراکم زهکشی و فراوانی آبراهه به‌ترتیب با کسب  $-۰/۰۰۵۷$ ،  $-۰/۰۰۳۲$  و  $-۰/۰۰۳۱$  امتیاز کمترین تأثیر را در رخداد سیلاب داشته‌اند که با نتایج (۲۵) مطابقت داشته است. پارامترهای ضریب فرم، نسبت ناهمواری،

جدول ۵. مقادیر فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی به همراه وزن نهایی و رتبه‌بندی زیرحوضه‌ها

زیرحوضه	$Di^+$	$Di^-$	$CI_i^+$	رتبه	تعداد سیلاب
شادگان	۰/۰۰۵۹	۰/۰۰۸۰	۰/۵۷۶۶	بیست و دوم	۲
رامهرمز	۰/۰۰۵۴	۰/۰۰۸۱	۰/۵۹۹۶	نوزدهم	۱
دالون	۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۹۳	۰/۷۴۹۷	ششم	۳
باغ‌ملک	۰/۰۰۳۲	۰/۰۰۹۶	۰/۷۴۷۰	هفتم	۴
صیدون	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۹۷	۰/۷۷۴۵	اول	۱۴
جایزان	۰/۰۰۶۵	۰/۰۰۸۰	۰/۵۵۳۲	بیست و چهارم	۱
بهبهان	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۰۹	۰/۷۱۸۰	سیزدهم	۱
تخت دراز	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۹۵	۰/۷۶۲۵	سوم	۱۲
هندیجان	۰/۰۰۵۷	۰/۰۰۸۰	۰/۵۸۴۸	بیستم	۲
زیدون	۰/۰۰۵۷	۰/۰۰۷۹	۰/۵۸۰۱	بیست و یکم	۱
لیشتر	۰/۰۰۳۸	۰/۰۰۸۹	۰/۶۹۶۴	شانزدهم	۱
دوگنبدان	۰/۰۰۳۰	۰/۰۰۹۴	۰/۷۵۵۹	چهارم	۲
خیرآباد	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۸۹	۰/۷۱۴۵	پانزدهم	۲
سرپری	۰/۰۰۳۰	۰/۰۰۹۴	۰/۷۵۴۱	پنجم	۵
دهدشت	۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۹۲	۰/۷۴۵۷	هشتم	۱
شاه بهرام	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۹۱	۰/۷۲۸۱	یازدهم	۲
امامزاده جعفر	۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۹۸	۰/۷۶۹۰	دوم	۱۲
دشت رستم	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۸۹	۰/۷۱۶۶	چهاردهم	۲
باشت	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۹۰	۰/۷۲۹۵	دهم	۰
نورآباد ممسنی	۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۸۶	۰/۶۸۶۵	هفدهم	۱
فهلپان	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۸۹	۰/۷۱۸۸	دوازدهم	۲
سرانجیلک	۰/۰۰۶۳	۰/۰۰۸۱	۰/۵۶۳۳	بیست و سوم	۱
کودیان	۰/۰۰۴۴	۰/۰۰۸۴	۰/۶۵۵۴	هجدهم	۰
اردکان	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۹۱	۰/۷۳۴۳	نهم	۱

سیل‌خیزی در آنها نسبت به سایر زیرحوضه‌ها بیشتر است و در طرح‌های آبخیزداری باید بیشتر مورد توجه قرار گیرند. در مقابل زیرحوضه‌های جایزان، سرانجیلک و شادگان به ترتیب با کسب بیشترین فاصله از ایده‌آل مثبت (۰/۰۰۶۳، ۰/۰۰۶۵) و کمترین فاصله از ایده‌آل منفی (۰/۰۰۸۱، ۰/۰۰۸۰) و در نتیجه کسب پایین‌ترین امتیاز (۰/۵۵۳۲) و (۰/۰۰۸۰) و در نتیجه کسب پایین‌ترین امتیاز (۰/۵۵۳۲) و (۰/۵۶۳۳) در رتبه‌های آخر قرار گرفته‌اند (جدول ۵). زیرحوضه صیدون به دارا بودن مقادیر بالای پارامترهای مورفومتریکی که رابطه مستقیمی با سیل‌خیزی دارند، مانند بافت زهکشی (۲۴)، تراکم زهکشی (۲۷)، فراوانی آبراهه (۱۵)، عدد

رابطه‌های (۴ و ۵) شد. به‌منظور به‌دست آوردن میزان فاصله هر یک از گزینه‌ها (زیرحوضه‌ها) از ایده‌آل مثبت از رابطه (۶) و ایده‌آل منفی از رابطه (۷) استفاده شده است. و در نهایت با استفاده از رابطه (۸) به رتبه‌بندی زیرحوضه‌ها پرداخته شد. نتایج حاصل از رتبه‌بندی زیرحوضه‌ها نشان داد که زیرحوضه‌های صیدون، امامزاده جعفر و تخت دراز به ترتیب با کسب کمترین فاصله از ایده‌آل مثبت (۰/۰۰۲۸، ۰/۰۰۲۹) و (۰/۰۰۲۹) و بیشترین فاصله از ایده‌آل منفی (۰/۰۰۹۷، ۰/۰۰۹۸) و (۰/۰۰۹۵) و در نتیجه بیشترین امتیازات (۰/۷۷۴۵، ۰/۷۶۹۰) و (۰/۷۶۲۵) در رتبه‌های اول تا سوم قرار گرفته‌اند و شدت

ناهمواری (۲۰)، نسبت ناهمواری (۲۸)، ثابت نگهداشت آبراهه (۲۸)، ضریب فرم (۱۵)، نسبت انشعاب (۲۷)، شاخص رطوبت توپوگرافی (۲۲)، شاخص توان آبراهه (۲۲) و شیب (۲۷) به‌عنوان حساس‌ترین و بحرانی‌ترین زیرحوضه نسبت به سیلاب شناخته شده است.

### نتیجه‌گیری

تحلیل‌های مبتنی بر پارامترهای مورفومتریک زیرحوضه‌های آبخیز به‌دلیل ثابت بودن شرایط فیزیوگرافی و مورفومتریک حوضه آبخیز قابل دسترس و قابل اعتماد است که می‌توان بر اساس آن به اولویت‌بندی زیرحوضه‌های یک حوضه آبخیز پرداخت (۱۱). با توجه به تأثیر زیاد پارامترهای مورفومتری بر رفتار هیدرولوژیکی و سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها، در این پژوهش با استفاده از این پارامترها به اولویت‌بندی زیرحوضه‌های حوضه آبخیز زهره و جراحی پرداخته شد. در کنار پارامترهای مورفومتریکی در این پژوهش از یک روش ترکیبی نوین برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها استفاده شد. بدین ترتیب که به‌منظور تعیین وزن پارامترهای مورفومتریکی از روش رگرسیون چند متغیره خطی و به‌منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از روش TOPSIS استفاده شد. پارامترهای مورفومتریکی مورد استفاده در این پژوهش شامل ثابت نگهداشت، تراکم زهکشی، عدد ناهمواری، ضریب نفوذ، شاخص توان آبراهه، فراوانی آبراهه، شیب، بافت زهکشی، نسبت ناهمواری، ضریب فرم، بارندگی، نسبت انشعاب و شاخص رطوبت توپوگرافی بوده است. نتایج حاصل از اولویت‌بندی پارامترها با استفاده از مدل رگرسیون خطی چندمتغیره نشان داد که پارامترهای عدد ناهمواری، شیب و بارندگی بیشترین تأثیر را در وقوع رخداد سیلاب در منطقه مطالعاتی داشته‌اند که با نتایج خیری‌زاده (۶) و تقفیان و همکاران (۲۵) مطابقت دارد. همچنین نتایج تحقیق حاضر، نتایج تحقیقات اسماعیلی و همکاران (۱)، حبیبی و غریب‌رضا (۵)،

دارابی و همکاران (۷)، سامسون و همکاران (۲۶)، المصطفی و محمد (۱۴) و کوشک و داود (۱۸) در اهمیت به‌کارگیری عوامل مورفومتریک در رخداد سیل و پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌ها را تأیید می‌کند. در این تحقیق کارامدی مدل تصمیم‌گیری تاپسیس در وزن‌دهی پارامترهای مورفومتریک نیز همانند نتایج اسماعیلی و همکاران (۱) و حبیبی و غریب‌رضا (۵) تأیید می‌شود. طبق نتایج حاصل از اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها، از میان ۲۴ زیرحوضه مورد مطالعه، زیرحوضه‌های صیدون، امام‌زاده جعفر و تخت دراز بیشترین امتیازات را کسب کردند و برای اجرای طرح‌های مدیریتی در اولویت اول تا سوم قرار گرفتند. به‌منظور ارزیابی میزان دقت روش مورد استفاده از آمار سیلاب‌های رخ داده در زیرحوضه‌ها استفاده شد و نتایج حاصل از صحت‌سنجی نشان داد که مدل ترکیبی دارای دقت بالایی در شناسایی زیرحوضه‌های با حساسیت سیل‌خیزی بالا است، به‌طوری که زیرحوضه‌های صیدون، امام‌زاده جعفر و تخت دراز با بیشترین تعداد رخداد سیلاب، بیشترین امتیاز را در مدل ترکیبی کسب کرده‌اند و این بیانگر تأثیر بالای پارامترهای مورفومتریکی در سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها بود. با توجه به تأثیر زیاد پارامترهای مورفومتریکی در سیل‌خیزی و همچنین با توجه به دقت و کارایی بالای روش ترکیبی در شناسایی مناطق سیل‌خیز پیشنهاد می‌شود از پارامترهای مورفومتریکی و روش ترکیبی فوق در زیرحوضه‌هایی که اطلاعات کافی و دقیق وجود ندارد به‌منظور اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها استفاده شود. در صورت استفاده از پارامترهای مورفومتریکی می‌توان بدون صرف هزینه و وقت زیاد، زیرحوضه‌های یک حوضه آبخیز را به‌منظور اقدامات حفاظتی آبخیزداری اولویت‌بندی کرد که با مطالعات (۱۱ و ۱۶) مطابقت دارد.

## منابع مورد استفاده

۱. اسماعیلی، ر.، ع. جوکار سرهنگی و پ. روشن نکو. ۱۳۹۵. تعیین پتانسیل سیل‌خیزی با استفاده از روش تاپسیس، مطالعه موردی استان مازندران، حوضه آبریز گلندرود. فصلنامه جغرافیای طبیعی ۳۱: ۷۷-۸۷.
۲. اصغری‌پور. م. ۱۳۸۹. تصمیم‌گیری‌های چند معیاره. انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
۳. افشین، ی. ۱۳۷۳. رودخانه‌های ایران. وزارت نیرو- مهندسی مشاور جاماب، تهران.
۴. آمانی، م. و ا. نجفی‌نژاد. ۱۳۹۳. اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها با استفاده از آنالیز مورفومتری، فنون سنجش از دور و GIS، حوضه آبخیزلندر، استان گلستان. پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز ۵(۹): ۱-۱۵.
۵. حبیبی، ع. و م. غریب‌رضا. ۱۳۹۴. ارزیابی پتانسیل مخاطرات سیل سکونت‌گاه‌ها در حوضه رودخانه شورگناوه با استفاده از مدل TOPSIS-AHP، فصلنامه فضای جغرافیایی ۵۲: ۵۵-۷۳.
۶. خیری‌زاده، م.، ج. ملکی و ح. عمونیا. ۱۳۹۳. پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب در حوضه‌ی آبریز مردق‌چای با استفاده از مدل ANP. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی ۳: ۳۹-۵۶.
۷. دارابی، ح.، ک. سلیمانی، م. کاکا شاهی و م. میریعقوب‌زاده. ۱۳۹۱. اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز بر اساس پارامترهای مورفومتری با استفاده از تکنیک GIS. دو فصلنامه محیط زیست و توسعه ۵: ۱-۷.
۸. سازمان هواشناسی کشور. ۲۰۱۶. مرکز ملی پیش و هشدار خشکسالی. ایران.
۹. مقدسه فلاح، م.، م. محمدی و ع. کاویان. ۱۳۹۴. اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها با استفاده از آنالیز مورفومتری و تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبخیز تالار استان مازندران. اکوهیدرولوژی ۲(۳): ۲۶۱-۲۷۴.
10. Adinarayana, J., R. N. Krishna and K. Rao. 1995. An integrated approach for prioritization of watersheds. *Journal of Environmental Management* 44: 375-384.
11. Aher, P., J. Adinarayana and S. D. Gorantiwar. 2014. Quantification of morphometric characterization and prioritization for management planning in semi-arid tropics of India: A remote sensing and GIS approach. *Journal of Hydrology* 511: 850-860.
12. Biswas, S., S. Sudhakar and V. R. Desai. 1999. Prioritization of subwatersheds based on morphometric analysis of drainage basin – A remote sensing and GIS approach. *Journal of Indian Society of Remote Sensing* 27: 155-156.
13. Chu, T. C. and Y. C. Lin. 2009. An interval arithmetic based fuzzy TOPSIS model. *Expert Systems with Applications* 8(36): 10870-10876.
14. Elmoustafa, A. M. and M. M. Mohamed. 2013. Flash flood risk assessment using morphological parameters in sinai peninsula. *Open Journal of Modern Hydrology* 3: 122-129.
15. Horton, R. E. 1932. Drainage basin characteristics. *Transactions of the American Geophysical Union* 13: 350-361.
16. Javed, A., M. Y. Khanday and R. Ahmed. 2009. Prioritization of watersheds based on morphometric and landuse analysis using RS and GIS techniques. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 37: 261-274.
17. Kannan, G. 2009. A hybrid approach using ISM and fuzzy TOPSIS for the selection of reverse logistics provider. *Resources Conservation and Recycling* 1(54): 28-36.
18. Koshak, N. and G. Dawod. 2011. A GIS morphometric analysis of hydrological catchments within Makkah Metropolitan area, Saudi Arabia. *International Journal of Geomatics and Geosciences* 2(2): 544-554.
19. Liou, T. S. and M. J. J. Wang. 1992. Fuzzy weighted average: An improved algorithm. *Fuzzy Sets and Systems* 3(49): 307-315.
20. Moore, I. D., R. B. Grayson and A. R. Ladson. 1991. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications. *Hydrology Process* 5(1): 3-30.
21. Mosbahi, M., S. Benabdallah and M. R. Boussema. 2013. Assessment of soil erosion risk using SWAT model. *Arabic Journal of Geoscience* 6(10): 4011-4019.
22. Nautiyal, M. D. 1994. Morphometric analysis of drainage basin, district Dehradun, Uttar Pradesh. *Journal of Indian Society of Remote Sensing* 22(4): 252-262.
23. Ozdemir, H. and D. Bird. 2009. Evaluation of morphometric parameters of drainage networks derived from topographic maps and DEM in point of floods. *Environmental Geology* 56: 1405-1415.

24. Pike, R. J. 2000. Geomorphology - Diversity in quantitative surface analysis. *Physical Geography* 24: 1-20.
25. Saghafian, B., H. Farazjoo, B. Bozorgy and F. Yazdandoost. 2008. Flood intensification due to changes in land use. *Water Resources Management* 22: 1051-1067.
26. Samson, S. A., A. O. Eludoyin, J. Ogbale, A. T. Alaga, M. Oloko-Oba, U. H. Okeke and O. S. Popoola. 2016. Drainage basin morphometric analysis for flood potential mapping in owu using geospatial techniques. *Journal of Geography, Environment and Earth Science International* 4(3): 1-8.
27. Sharma, S., S. Tignath and S. Mishra. 2008. Morphometric analysis of drainage basin using GIS approach. *Jawaharlal Nehru Krishi Vishwa Vidyalaya (JNKVV) Resources Journal* 42(1): 88-92.
28. Srivastava, V. K. 2003. Role of GIS in natural resources management. PP. 479-484. In: Thakur, B. (Ed.), *Perspectives in Resource Management in Developing Countries*. Concept Publishing Company, New Delhi.
29. Strahler, A. N. 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. PP. 4-11. In: Chow, V.T. (Ed.), *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw Hill Book Company, New York.
30. Thakkar, A. and S. Dhiman. 2007. Morphometric analysis and prioritization of miniwatersheds in a Mohr watershed, Gujarat using remote sensing and GIS techniques. *Journal of the Indian society of Remote Sensing* 35(4): 313-321.
31. Trabucchi, M., F. A. Comin and P. J. O'Farrell. 2013. Hierarchical priority setting for restoration in a watershed in NE Spain, based on assessments of soil erosion and ecosystem services. *Regional Environment Change* 13:911-926. <http://dx.doi.org/10.1007/s10113-012-0392-4>.
32. Wang, C. L. and K. Yoon. 1981. *Multiple Attribute Decision Making-Methods and Applications*. Taylor and Francis Group, A Chapman and Hall Book, CRC Press, Berlin.
33. Yang, Y. C. E., P. A. Ray, C. M. Brown, A. F. Khalil and W. H. Yu. 2015. Estimation of flood damage functions for river basin planning: a case study in Bangladesh. *Natural Hazards* 75(3): 2773-2791.
34. Zavoince, I. 1985. *Morphometry of Drainage Basins (Developments in Water Science)*, Elsevier Science New York, USA.

## Prioritization of Catchments Prone to Flooding by Morphometric Analysis

K. Shirani\* and S. Chavoshi<sup>1</sup>

(Received: July 18-2017 ; Accepted: November 21-2017)

### Abstract

Catchment prioritization in terms of natural disaster intensity as well as prevention and control practices plays a main role in the natural resources and watershed management. In this study, a total of 24 sub-catchments in the Zohreh-Jarrahi basin were prioritized according to their morphometric parameters and using the mixed model of TOPSIS-Multivariate regression. A total of 12 morphometric parameters including constant component of channel maintenance, drainage density, ruggedness number, infiltration index, stream power index, stream frequency, slope, drainage texture rate, relief rate, form factor, bifurcation ratio and topography wetness index, in addition to rainfall, were studied and scored. Parameters were weighted by using multivariate regression and the spatial distribution of the observed flood events. TOPSIS model was used for the prioritization process. The results obtained from the weighting analysis showed that the ruggedness number, slope and rainfall had the highest effect on flooding in the study area with the score of 0.068, 0.024, and 0.016, respectively. According to the prioritization results, sub-catchments of Seidoon, Emamzadeh Jafar, and Takht Deraz, which had the minimum distance to the positive optimum (0.0028, 0.0029, and 0.0029, respectively) and the maximum distance to the negative optimum (0.0097, 0.0098 and 0.0095, respectively), showed the highest flooding intensity with the score of 0.7745, 0.7690 and 0.7625, respectively. In order to validate the results, prioritization results were compared to the observed flood events. Validation results also indicated the efficiency of the mixed model in delineation of catchments prone to flooding. Three sub-catchments of Seidoon, Emamzadeh Jafar and Takht Deraz were observed to have the highest number of observed flood events, thereby showing the high effectiveness of the model and also, the role of the morphometric parameters in flooding.

**Keywords:** Flooding, Morphometry, TOPSIS

---

1. Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources, Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: K.Shirani@areeo.ac.ir