

## تعیین مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر بروز سیل و اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های حوضه آبخیز کاکارضا با استفاده از آنتروپی شانون و روش TOPSIS

سمیرا قربانی‌نژاد\*، دانشجوی دکتری آبخیزداری-دانشگاه لرستان  
حسین زینی‌وند، دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری-دانشگاه لرستان

### چکیده

سیل یکی از بلایای طبیعی است که هر ساله در سراسر جهان موجب ایجاد خسارت‌های مالی و جانی متعددی می‌شود. هدف از انجام تحقیق حاضر، تعیین زیرحوضه‌های دارای پتانسیل بیش‌تر ایجاد سیل و تعیین اولویت آن‌ها جهت اقدامات کنترل سیل در حوضه‌ی آبخیز کاکارضا در استان لرستان و نیز تعیین مؤثرترین عوامل در ایجاد سیل با استفاده از دو تکنیک آنتروپی شانون و TOPSIS و نیز آنالیز مورفومتری حوضه‌ی آبخیز در قالب سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS) است. بدین منظور، در این تحقیق از ۱۵ پارامتر مؤثر شامل بارش، بارش حداکثر روزانه، شماره‌ی منحنی، تراکم زهکشی، شیب، فراوانی آبراهه، ثابت نگهداشت آبراهه، بافت زهکشی، عدد ناهمواری، ضریب گردی، ضریب فشردگی، نسبت ناهمواری، ضریب فرم، ضریب کشیدگی استفاده شد. برای تعیین وزن پارامترها از روش آنتروپی شانون استفاده شد. نتایج وزن‌دهی پارامترها نشان داد که عامل بارش میانگین سالانه، بارش حداکثر روزانه، شماره‌ی منحنی و ضریب فشردگی بالاترین اثرگذاری را بر سیل‌خیزی حوضه‌ی آبخیز کاکارضا داشتند؛ درحالی‌که کم‌ترین وزن‌ها مربوط به پارامترهای زمان تمرکز، ضریب فرم بافت زهکشی و نسبت ناهمواری است. همچنین به منظور اولویت‌بندی ۲۳ زیرحوضه‌ی حوضه‌ی آبخیز کاکارضا از روش تصمیم‌گیری TOPSIS استفاده شد. نتایج این روش نشان داد که زیرحوضه‌ی O در رتبه‌ی اول (0/91)، زیرحوضه‌ی M (0/89) رتبه‌ی دوم و زیرحوضه‌ی Q (0/85) نسبت به زیرحوضه‌های دیگر دارای بالاترین پتانسیل سیل‌خیزی می‌باشند و بالاترین اولویت را برای انجام عملیات حفاظتی دارند؛ درحالی‌که زیرحوضه‌های B و W دارای کم‌ترین پتانسیل سیل‌خیزی می‌باشند.

**کلمات کلیدی:** اولویت‌بندی، پارامترهای مورفومتری، سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی، سیل‌خیزی.

## ۱- مقدمه

سیل حجم عظیمی از آب است که بیش از دبی متعارف رودخانه باشد. در کشور ما وقوع سیل بیش از آنکه ناشی از بارش‌های تند باشد، در رابطه با برهم خوردن تعادل طبیعی و شرایط جغرافیایی و فیزیولوژیکی منطقه است (امیدوار و کیانفر، ۱۳۸۹: ۷۴). استفاده‌ی بی‌رویه از منابع طبیعی و تخریب آن، افزون بر اقلیم خشک و نیمه‌خشک حاکم بر کشور موجب گردیده تا سیلاب‌ها سال‌به‌سال چه از نظر فراوانی و چه از نظر شدت خسارات، افزایش چشم‌گیری داشته باشد. این امر کشور ایران را در رتبه‌ی هفتم سیل‌خیزی دنیا قرار داده است (خسروشاهی و قوامی، ۱۳۸۴: ۱۵۵).

وقوع سیل از متداول‌ترین خطرات طبیعی در سراسر جهان است و تنها مختص به کشورهای درحال توسعه نیست (Leskens, Brugnach, Hoekstra, & Schuurmans, 2014). شهرنشینی برنامه‌ریزی نشده یا ضعیف، تبدیل سریع در کاربری اراضی و مدیریت شکننده‌ی برخی از عوامل مؤثر بر اثرات جانبی سیل است که منجر به تشدید خطرات برای ساکنان می‌شود (نصیری و همکاران، ۲۰۱۶). متأسفانه از دهه‌های گذشته، حوضه‌های آبخیز به دلیل فعالیت‌های انسانی و تغییرات آب و هوایی ناشی از فعالیت‌های انسان دچار تخریب شده و یا احتمال آسیب در آن‌ها وجود دارد (Yadav et al, 2018). به‌طورقطع مجموعه عواملی در طبیعت هستند که باعث می‌شوند جریان رودخانه از آن حالت طبیعی و تعادل خود خارج شده و به یک عامل مخرب تبدیل شود. مساحت، شیب، شکل، زمان تمرکز، شرایط زمین‌شناسی، ویژگی‌های بارش، ویژگی‌های پوشش گیاهی و غیره از جمله این عوامل می‌باشند (علیزاده، ۱۳۷۰: ۳۵). یکی از مهم‌ترین اصول مدیریت آبخیزداری یکپارچه و کارآمد اولویت‌بندی، زیرحوضه‌های آبخیز است. این امر می‌تواند به کنترل فرسایش خاک، سیلاب‌ها و شناسایی رسوبات فرعی در معرض خطر برای دستیابی به توسعه‌ی پایدار کمک کند (Chowdary et al. 2013: 3559; Altaf et al, 2014: 8392; Fan and Shibata, 2014: 3620). یکی از راهکارهای کاهش خسارت سیلاب، پتانسیل‌یابی سیل‌خیزی حوضه‌های آبخیز است. به‌عبارت‌دیگر تفکیک نواحی سیل‌خیز و مشخص نمودن عوامل مؤثر در سیل می‌تواند در تدوین راه‌کارهای مناسب برای سیاست‌گذاری‌های میان‌مدت و بلندمدت در بهره‌برداری بهینه از اراضی نقش ویژه‌ای داشته باشد (حلیبیان و عسگری، ۱۳۹۶: ۱۵۵). روش‌های مختلفی برای تعیین میزان رواناب و پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی وجود دارد. اکثر این روش‌ها بر پایه‌ی روش‌های نموداری و استفاده از فرمول‌های تجربی، تحلیل آماری داده‌های سیلاب، تفکیک حوضه به تعدادی زیرحوضه، داده‌های دورسنجی و GIS است. یکی از روش‌های اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها، آنالیز مورفومتری حوضه‌ی آبخیز در قالب سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS) است. به‌کارگیری روش آنالیز مورفومتری در مناطق مواجه با کمبود اطلاعات و داده بسیار مفید است (Melton, 1958: 442). از خصوصیات مورفومتری یک حوضه می‌توان برای توصیف رفتار هیدرولوژیکی آن استفاده کرد (Angillieri, 2012: 75). تقسیم حوضه‌های بزرگ به زیرحوضه‌های متعدد و مطالعه و اولویت‌بندی این حوضه‌ها سبب کاهش هزینه‌ها و زمان اجرای عملیات آبخیزداری و نیز کارایی بیش‌تر طرح‌های آبخیزداری می‌شود (امانی و نجف‌نژاد، ۱۳۹۳: ۲). در دهه‌ی گذشته تجزیه‌وتحلیل مورفومتری یک شبکه‌های زهکشی در زمینه‌های مختلفی از جمله ارزیابی منابع طبیعی و خطرات زیست‌محیطی مانند سیل سریع (Arnous و همکاران، ۲۰۱۱) ارزیابی پتانسیل آب زیرزمینی، مطالعه‌ی رفتار هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیزداری (Angillieri, 2008 & Malik and Shukla, 2018) و اولویت‌بندی حوضه‌های آبخیزداری به منظور حفاظت از منابع آب و خاک (Singh et al, 2008; Yadav et al, 2014; Chowdary et al

تلاش‌های متعددی نیز برای تجزیه‌وتحلیل و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ی آبخیز در مقیاس‌های مختلف با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیار (MCDA) انجام شده است (Sinha et al, 2008: 1546; Meyer et al, 2009: 18; Fernández and Lutz; 2010: 59; Wang et al, 2011: 3466; Kang et al, 2013: 1530; Stefanidis and Stathis; 2013: 570; Zou et al, 2013: 526; Rahaman et al, 2015: 1323; Rahmati et al, 2016: 1132; Toosi and Samani, 2017: 2854; Vulevic and Dragovic, 2017: 51; Arabameri et al., 2018, 1130).

آهیوار<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۹) به اولویت‌بندی زیرحوضه‌های حوضه آبخیز رودخانه‌ی نارمدا برای حفاظت از خاک و آب از طریق آنالیز مورفومتریک با استفاده از سنجش‌ازدور و GIS پرداختند. مطالعات آن‌ها نشان داد که طبقه‌بندی و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها در حوضه آبخیز، نقش مهم و اساسی در حفاظت بافت خاک و پوشش اراضی ایفا می‌کند. مالک<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۹) به تجزیه و تحلیل مورفومتریک و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها در حوضه آبخیز کوهستانی ناولا با استفاده از رویکرد جمع وزنی پرداختند. در این مطالعه که به تجزیه و تحلیل مورفومتریک ۱۴ زیرحوضه‌ی مرتفع حوضه آبریز ناولا واقع در حوضه‌ی بالای رودخانه‌ی رامگانگا، ایالت اوتاراکنند، هند با استفاده از سنجش‌ازدور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) پرداخته است، پارامترهای مورفومتریک مورد استفاده برای اولویت‌بندی حوضه‌های زیرحوضه‌ی آبخیز حوضه شامل محیط، رده‌بندی آبراهه، میانگین طول جریان، طول حوضه، نسبت دگرگونی، تراکم زهکشی، فرکانس جریان، نسبت بافت، میانگین طول جریان زمینی، ضریب شکل، ضریب گردی، ضریب فشردگی و ضریب کشیدگی است. اولویت (بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار پایین) برای هر زیر آبخیز بر اساس مقدار فاکتور مرکب تعیین شد. ارزش عامل ترکیب برای هر حوضه آبخیز با استفاده از روش جمع وزنی (WSA) محاسبه شد. نتایج حاصل از این تجزیه و تحلیل نشان داد که ۲۰/۳۴ درصد زیرحوضه‌ها به اقدامات مناسب برای حفاظت از خاک و آب نیاز دارد. بیسواز<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۰۲) با استفاده از پارامترهایی مانند نسبت انشعاب، تراکم زهکشی، فراوانی آبراهه‌ها نسبت بافت، ضریب شکل، ضریب گردی، ضریب کشیدگی برای حوضه آبخیز میدناپور در غرب بندجال هند انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد با استفاده از عوامل مؤثر یادشده در تحقیق می‌توان زیرحوضه‌های بحرانی را با استفاده از GIS اولویت‌بندی کرد و همچنین انجام این کار در ارائه‌ی راهکارهای مناسب برای بهبود زیرحوضه‌ها و حفاظت از منابع طبیعی مفید است. آهار<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۴) به کمی‌سازی خصوصیات مورفومتریک و اولویت‌بندی به منظور برنامه‌ریزی در مدیریت مناطق خشک و نیمه‌خشک هند با استفاده از رویکرد ترکیبی سنجش‌ازدور و GIS پرداختند و به این نتیجه رسیدند که ۵۱/۶۶ درصد زیرحوضه‌ها در مناطق با حساسیت متوسط تا زیاد قرار گرفته‌اند که مبین نیاز این مناطق به برنامه‌ریزی حفاظتی است. ادھمی<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۶) به اولویت‌بندی زیرحوضه بر اساس عملکرد رسوب در حوضه‌های آبخیز گرگان‌رود و قره‌سو در استان گلستان پرداختند و بر اساس الگوریتم‌های Fallback bargaining و Borda Scoring زیرحوضه‌های منطقه‌ی مطالعه‌شده را اولویت‌بندی کرده و بر اساس وزن‌دهی، یک رتبه‌ی کلی برای هر متغیر انتخاب کردند. رحمتی و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقی با عنوان اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز استان گلستان بر اساس آنالیز مورفومتریک و همبستگی آماری نشان دادند که روش نوین اولویت‌بندی قادر به تعیین اولویت ترتیبی تمام زیرحوضه‌های آبخیز گلستان نیست. رضوی‌زاده و شاهدی (۱۳۹۵) با اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز طالقان با استفاده از تلفیق AHP و TOPSIS نشان دادند سه معیار درصد اراضی نفوذناپذیر، شماره‌ی منحنی و شیب آبراهه‌ی اصلی به ترتیب با وزن نسبی ۰/۲۸۳، ۰/۲۳۱ و ۰/۱۶۳ از بیش‌ترین اهمیت در پتانسیل سیل‌خیزی منطقه‌ی مطالعه‌شده برخوردارند و نیز اولویت‌بندی تلفیق دو روش یادشده بیان می‌کند که سه زیرحوضه‌ی حسنجون، تاریان و شهرک به ترتیب بیش‌ترین پتانسیل سیل‌خیزی را داشته‌اند. آن‌ها همچنین زیرحوضه‌های با بیش‌ترین اولویت؛ یعنی زیرحوضه‌های (۳)، (۱۶) و (۹) را اولویت‌دارترین زیرحوضه‌ها برای اجرای اقدامات آبخیزداری معرفی کردند. امیری و همکاران (۱۳۹۷) به اولویت‌بندی سیل‌خیزی ۵۳ زیرحوضه از زیرحوضه‌های آبخیز مهارلو در استان فارس با استفاده از پارامترهای مورفومتریک و مدل تصمیم‌گیری VIKOR

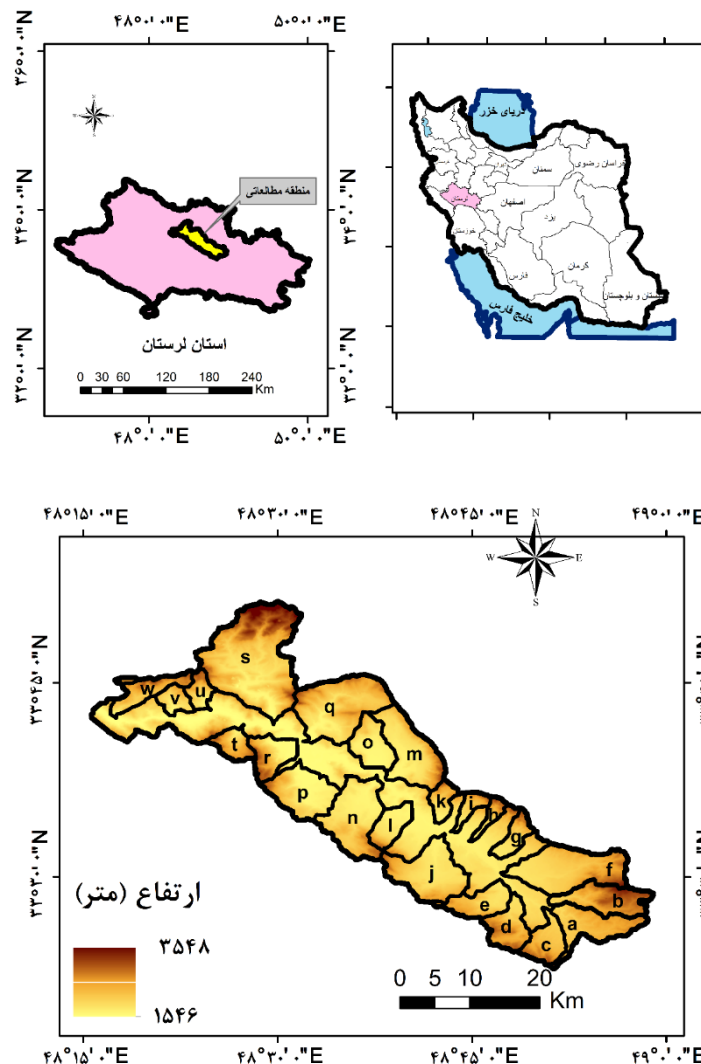
- 1- Ahirwar
- 2- Malik
- 3- Biswas
- 4- Ahar
- 5- Adhami

پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که زیرحوضه‌های شماره‌ی (۳۴)، (۳۱) و (۱۲) به ترتیب اولویت اول تا سوم سیل‌خیز بودن را دارا بودند.

هدف از انجام تحقیق حاضر، تعیین زیرحوضه‌های دارای شرایط بحرانی به منظور کنترل سیل‌های موجود در منطقه و نیز تعیین مؤثرترین عوامل در ایجاد سیل با استفاده از دو تکنیک آنتروپی شانون و TOPSIS و نیز آنالیز مورفومتری حوضه‌ی آبخیز در قالب سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS) است.

## ۲- منطقه‌ی مطالعاتی

حوضه‌ی آبخیز کاکارضا در استان لرستان قرار داشته و از زیرحوضه‌های کرخه است. حوضه‌ی آبخیز کاکارضا در عرض ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی و در طول ۳۳ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۵۱ دقیقه شمالی قرار گرفته است. متوسط بارش این حوضه ۵۳۰/۶ میلی‌متر است. حوضه‌ی کاکارضا دارای مساحتی بالغ بر ۱۱۳۳/۳ کیلومترمربع است. موقعیت حوضه‌ی آبخیز کاکارضا و زیرحوضه‌های موجود در آن در شکل (۱) ارائه گردیده است (قربانی‌نژاد، ۱۳۹۵: ۴۷).



شکل ۱: موقعیت منطقه‌ی مطالعاتی کاکارضا و زیرحوضه‌های آن

### ۳- مواد و روش

#### ۳-۱- روش تحقیق

به طور کلی برای تعیین خصوصیات مورفومتری مؤثر در سیل خیزی حوضه آبخیز، دو سری داده‌ی خطی و شکلی مورد نیاز است. داده‌های خطی و شکلی به کار برده شده در این تحقیق شامل شیب، تراکم زهکشی، بارندگی، فراوانی آبراهه، ثابت نگهداشت آبراهه، بافت زهکشی، عدد ناهمواری، ضریب گردی، ضریب فشردگی، نسبت ناهمواری، ضریب فرم، ضریب کشیدگی است که روش به دست آمدن هر کدام از پارامترها به اختصار در زیر ارائه شده است.

#### ۳-۲- نقشه‌ی شیب زمین

به منظور تهیه‌ی نقشه‌ی شیب از مدل رقومی ارتفاع (با قدرت تفکیک ۳۰ متر) و نرم‌افزار ArcGIS ۱۰٫۲ استفاده شد و لایه رستری شیب (نقشه‌ی شیب) استخراج گردید. در نهایت، متوسط شیب هر زیرحوضه در نقشه به دست آمد. نقشه‌ی شیب زمین منطقه‌ی مورد مطالعه در شکل (۳-الف) نشان داده شده است.

#### ۳-۳- بارندگی

برای برآورد بارش در یک مکان خاص در حوضه، درون‌یابی و برون‌یابی داده‌های موجود (بارش اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های باران‌سنجی) ضرورت دارد. توزیع مکانی بارش اغلب با استفاده از تکنیک‌های اولیه و تعدادی ایستگاه اندازه‌گیری بارش برآورد می‌شود؛ در حالی که با در نظر گرفتن میانگین بارش در طول یک دوره‌ی معین، از توزیع زمانی آن صرف نظر می‌شود. بدین منظور ابتدا داده‌های بارش روزانه‌ی ۵ ایستگاه درون و اطراف حوضه آبخیز شامل کاکارضا، بروجرد، دهنو، چم انجیر و دورود جمع‌آوری شد. پس از آن، میانگین بارش حداکثر روزانه و میانگین سالانه‌ی بارش پنج ایستگاه برای دوره‌ی آماری ده‌ساله از ۲۰۰۱-۲۰۱۱ به دست آمد. محیط با بررسی میانگین مربع خطای باقیمانده‌ی به دست آمده از روش‌های مختلف درون‌یابی در نرم‌افزار ArcGIS 10.2 و در نهایت، نقشه‌ی بارش از طریق درون‌یابی با روش IDW در نرم‌افزار ArcGIS 10.2 که دارای کم‌ترین میزان خطا بود و نیز نقشه‌ی توزیع مکانی بارش حداکثر روزانه و متوسط سالانه به دست آمد و نهایتاً میزان متوسط بارش در هر زیرحوضه نیز محاسبه گردید (شکل ۲-ب).

#### ۳-۴- زمان تمرکز

زمان پاسخ حوضه‌های آبخیز یکی از جمله پارامترهایی است که تخمین دقیق آن بر افزایش دقت تخمین سیلاب اثر مستقیم می‌گذارد. زمان تمرکز (Time of Concentration) حوضه یکی از زمان‌های پاسخ حوضه است که در بسیاری از مدل‌های پیش‌بینی سیلاب به کار می‌رود. حداکثر زمانی که طول می‌کشد تا یک قطره آب از دورترین نقطه‌ی حوضه‌ی مسیر هیدرولوژیکی خود را طی کرده و به نقطه‌ی خروجی برسد، زمان تمرکز نام دارد. برای تعیین زمان تمرکز در این مطالعه، از معادله‌ی کرپیچ استفاده شد. معادله‌ی کرپیچ، پرکاربردترین معادله برای تعیین زمان تمرکز حوضه‌های کوچک است. در معادله‌ی زیر  $L$ : طولانی‌ترین مسیر حرکت آب در داخل حوضه بر حسب کیلومتر یا طول مسیر آبراهه‌ی اصلی و  $H$ : اختلاف ارتفاع بین نقطه‌ی تمرکز و بلندترین قسمت حوضه بر حسب متر؛ یعنی اختلاف ارتفاع بلندترین و پایین‌ترین نقطه‌ی حوضه است. معادله‌ی کرپیچ به شرح زیر است:

$$T_c = 0.949 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

که در آن  $L$ : طول بزرگ‌ترین آبراهه و  $H$ : اختلاف ارتفاع است.

### ۳-۵- نقشه‌ی تراکم زهکشی

الگو و تراکم شبکه‌ی زهکشی توسط سنگ‌های بستر تعیین می‌گردد. تراکم زهکشی، رابطه‌ی معکوسی با میزان نفوذپذیری دارد. تراکم بالای شبکه‌ی زهکشی بیانگر تمرکز آب به صورت رواناب و کاهش نفوذ است. برای استخراج نقشه‌ی تراکم زهکشی منطقه، ابتدا نقشه‌های شبکه‌ی زهکشی و شبکه‌بندی منطقه روی هم‌اندازی گردید. ضریب تراکم زهکشی برای هر سلول شبکه‌بندی در محیط ArcGIS ۱۰٫۲ محاسبه گردید (شکل ۲- ج). مقدار ضریب زهکشی برای هر سلول مطابق با رابطه‌ی (۱) عبارت است از؛ نسبت مجموع طول جریان‌های موجود در هر سلول به سطح منطقه پوشش داده‌شده توسط آن سلول.

$$Dd = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{D_i}{A}$$

رابطه‌ی ۲

Dd: ضریب تراکم زهکشی (km/km<sup>2</sup>)

$\sum D_i$ : مجموع طول جریان‌های موجود در سلول iam (km)

Ai: مساحت منطقه پوشش داده‌شده در سلول iam (km<sup>2</sup>)

### ۳-۶- نقشه‌ی شماره‌ی منحنی

برای تهیه‌ی شماره‌ی منحنی (شکل ۳- ه) به نقشه‌ی کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک نیاز است. در این تحقیق به منظور تهیه‌ی نقشه‌ی کاربری اراضی با استفاده از نقشه‌ی کاربری اراضی کاکارضا بر اساس نقشه‌ی کاربری اراضی اداره کل منابع طبیعی استان لرستان در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شد (شکل ۳- و). این نقشه بیانگر وجود کاربری‌های مختلف نظیر جنگل مخروطی، زراعت دیم، زراعت آبی، مراتع مشجر، اراضی بایر با پوشش پراکنده و مناطق مسکونی طبقه‌بندی گردید. نفوذ آب در خاک به عواملی مانند بافت و ساختمان خاک، پوشش گیاهی و شیب زمین بستگی دارد. نفوذ آب به داخل خاک در زمین‌های رسی و سیلتی بسیار اندک است (علیزاده، ۱۳۹۱: ۴۲). بدین منظور از نقشه‌ی بافت خاک به‌دست‌آمده از گزارش‌ها و نقشه‌های خاک‌شناسی منطقه در بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان استفاده گردید (شکل ۳- د).

### ۳-۷- داده‌های فیزیوگرافیک

پارامترهای مساحت، محیط و طول آبراهه‌ی اصلی برای هر یک از زیرحوضه‌ی حوضه‌ها به تفکیک محاسبه شده و از طریق آن‌ها فراوانی آبراهه، ثابت نگهداشت آبراهه، بافت زهکشی، عدد ناهمواری، ضریب گردی، ضریب فشردگی، نسبت ناهمواری، ضریب فرم، ضریب کشیدگی آن‌ها محاسبه می‌گردد. نحوه‌ی محاسبه هر کدام از پارامترها در جدول (۱) ارائه گردیده است.

جدول ۱: فرمول‌های محاسبه‌ی خصوصیات مورفومتری در زیرحوضه‌های حوضه‌ی آبخیز کاکارضا

پارامتر	فرمول	توضیحات علامت
فراوانی آبراهه	$F_s = n/A$	N = تعداد آبراهه‌های موجود
ثابت نگهداشت آبراهه	$C = \frac{A}{\sum_{i=1}^{i=n} L_i}$	A = مساحت Km <sup>2</sup> Li مجموع طول آبراهه‌ها
بافت زهکشی	$Rt = Nu/p$	N = تعداد آبراهه‌های موجود P = محیط km
عدد ناهمواری	$R_n = \Delta H/Dd$	$\Delta H$ = اختلاف ارتفاع حوضه‌ی km

<p><math>\Delta H</math> = اختلاف ارتفاع حوضه ی km</p> <p><math>Lb</math> = طول حوضه ی km</p> <p><math>P</math> = محیط km</p> <p><math>A</math> = مساحت <math>Km^2</math></p> <p><math>P</math> = محیط km</p> <p><math>A</math> = مساحت <math>Km^2</math></p> <p><math>A</math> = مساحت <math>Km^2</math></p> <p><math>L</math> = طول حوضه ی km</p>	<p><math>R_n = \frac{\Delta H}{Lb}</math></p> <p><math>C_c = 0/282 \left( \frac{P}{\sqrt{A}} \right)</math></p> <p><math>C_c = 12/56 \left( \frac{A}{P^2} \right)</math></p> <p><math>R_e = \frac{2 \left( \sqrt{\frac{A}{\pi}} \right)}{L}</math></p>	<p>نسبت ناهمواری</p> <p>ضریب فشردگی</p> <p>ضریب فرم</p> <p>ضریب کشیدگی</p>
<p><math>A</math> = مساحت <math>Km^2</math></p> <p><math>L</math> = طول حوضه ی km</p> <p><math>L</math> = طول بزرگترین آبراه</p> <p><math>H</math> = اختلاف ارتفاع</p>	<p><math>F_f = A/Lb</math></p> <p><math>T_c = 0/949 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385}</math></p>	<p>ضریب گردی</p> <p>زمان تمرکز</p>

### ۳-۸- مدل TOPSIS

واژه ی TOPSIS به معنی روش های ترجیح بر اساس مشابهت به راه حل ایده آل است. این مدل توسط (Yoon & Hwang, 1981) پیشنهاد شد. در این روش،  $m$  گزینه به وسیله  $n$  شاخص ارزیابی می شود. منطق اصولی این مدل راه حل ایده آل (مثبت) و راه حل ایده آل منفی را تعریف می کند. راه حل ایده آل (مثبت) راه حلی است که معیار سود را افزایش و معیار هزینه را کاهش می دهد. گزینه ی بهینه، گزینه ای است که کمترین فاصله از راه حل ایده آل و در عین حال دورترین فاصله از راه حل ایده آل منفی دارد. به عبارتی، در رتبه بندی گزینه ها به روش TOPSIS گزینه هایی که بیشترین تشابه را با راه حل ایده آل داشته باشند، رتبه بالاتری کسب می کنند. فضای هدف بین دو معیار به عنوان نمونه در شکل (۲-۵) نشان داده شده است. در اینجا  $A+$  و  $A-$  به ترتیب، راه حل ایده آل و راه حل ایده آل منفی است. گزینه  $A_1$  به نسبت گزینه  $A_2$  فاصله ی کمتری تا راه حل ایده آل و فاصله ی بیشتری را تا راه حل ایده آل منفی دارد. پایه ی عملکرد تاپسیس بر این موضوع استوار است که گزینه ی انتخابی، کمترین فاصله را از ایده آل مثبت و بیشترین فاصله را از ایده آل منفی داشته باشد. گزینه های گوناگون  $A_1, A_2, \dots, A_j, \dots, A_n$  نشان داده می شود. برای مثال  $f_j$  مقدار  $i$  امین معیار برای گزینه ی  $A_j$  است.  $N$  تعداد معیارهاست (Chen, 2008: 1411).

انجام تاپسیس شامل مراحل زیر است:

۱- تشکیل ماتریس داده ها بر اساس  $m$  شاخص و  $n$  گزینه:

$$D = \begin{matrix} & \begin{matrix} X_1 & X_2 & \dots & X_j & \dots & X_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_i \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1j} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2j} & \dots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ X_{i1} & X_{i2} & \dots & X_{ij} & \dots & X_{in} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mj} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

که در آن A: گزینه نام و  $X_{ij}$ : مقدار عددی به‌دست‌آمده از گزینه‌ی نام با شاخص نام است.

۲- استاندارد کردن ماتریس تصمیم: در این گام مقیاس‌های موجود در ماتریس تصمیم، بدون مقیاس می‌شوند. مقدار

استاندارد هر شاخص  $R_{ij}$  از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m X_{ij}^2}} \quad \text{رابطه‌ی ۳}$$

۳- وزن‌دهی به ماتریس نرمال شده: ماتریس تصمیم درواقع پارامتری است و لازم است کمی شود، به این منظور

تصمیم‌گیرنده برای هر شاخص وزنی را معین می‌کند. مجموعه وزن‌ها (W) در ماتریس نرمالایز شده (R) ضرب

می‌شود. برای محاسبه‌ی اوزان هر شاخص از روش آنتروپی شانون استفاده می‌شود.

### ۹-۳- آنتروپی شانون

ایده‌ی اصلی این روش بر این پایه استوار است که هرچه پراکندگی در مقادیر یک شاخص بیشتر باشد، آن شاخص

از اهمیت بیشتری برخوردار است؛ بنابراین برای محاسبه‌ی اوزان شاخص‌ها به ترتیب زیر عمل می‌شود:

$$p_{ij} = \frac{a_i}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad \text{رابطه‌ی ۴}$$

$$k = \frac{1}{\ln(m)} \quad \text{رابطه‌ی ۵}$$

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m [p_{ij} \ln p_{ij}] \quad \text{رابطه‌ی ۶}$$

$$d_j = 1 - E_j \quad \text{رابطه‌ی ۷}$$

مقدار  $d_j$  عدم اطمینان یا درجه انحراف را برای شاخص نام بیان می‌کند و از آنجائی که روش آنتروپی شانون بیش-

ترین وزن را به شاخص با بیش‌ترین درجه انحراف می‌دهد، لذا:

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad \text{رابطه‌ی ۸}$$

۴- تشکیل ماتریس بی‌مقیاس موزون ( $V_{ij}$ ) از رابطه‌ی زیر:

$$V_{ij} = R_{ij} \cdot w_{n \times n} \quad \text{رابطه‌ی ۹}$$

۵- تعیین راه‌حل ایده‌آل مثبت و راه‌حل ایده‌آل منفی: برای این مرحله، دو گزینه‌ی مجازی  $A^*$  و  $A^-$  را به صورت‌های

زیر تعریف می‌شود:

$$A^* = \left[ (\max v_{ij} | j \in J) \text{ و } (\min v_{ij} | j \in J') \mid i = 1, 2, \dots, m \right] = \{v_1^*, v_2^*, v_3^*, \dots, v_n^*\} \quad \text{رابطه‌ی ۱۰}$$

$$A^- = \left[ (\min v_{ij} | j \in J) \text{ و } (\max v_{ij} | j \in J') \mid i = 1, 2, \dots, m \right] = \{v_1^*, v_2^*, v_3^*, \dots, v_n^*\} \quad \text{رابطه‌ی ۱۱}$$

۶- محاسبه‌ی اندازه‌ی فاصله‌ی گزینه‌ی  $i$  ام بر اساس نرم‌افزار اقلیدوسی از ایده‌آل مثبت و منفی:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2} : (i=1, \dots, m) \quad \text{رابطه‌ی ۱۲}$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2} : (i=1, 2, \dots, m) \quad \text{رابطه‌ی ۱۳}$$



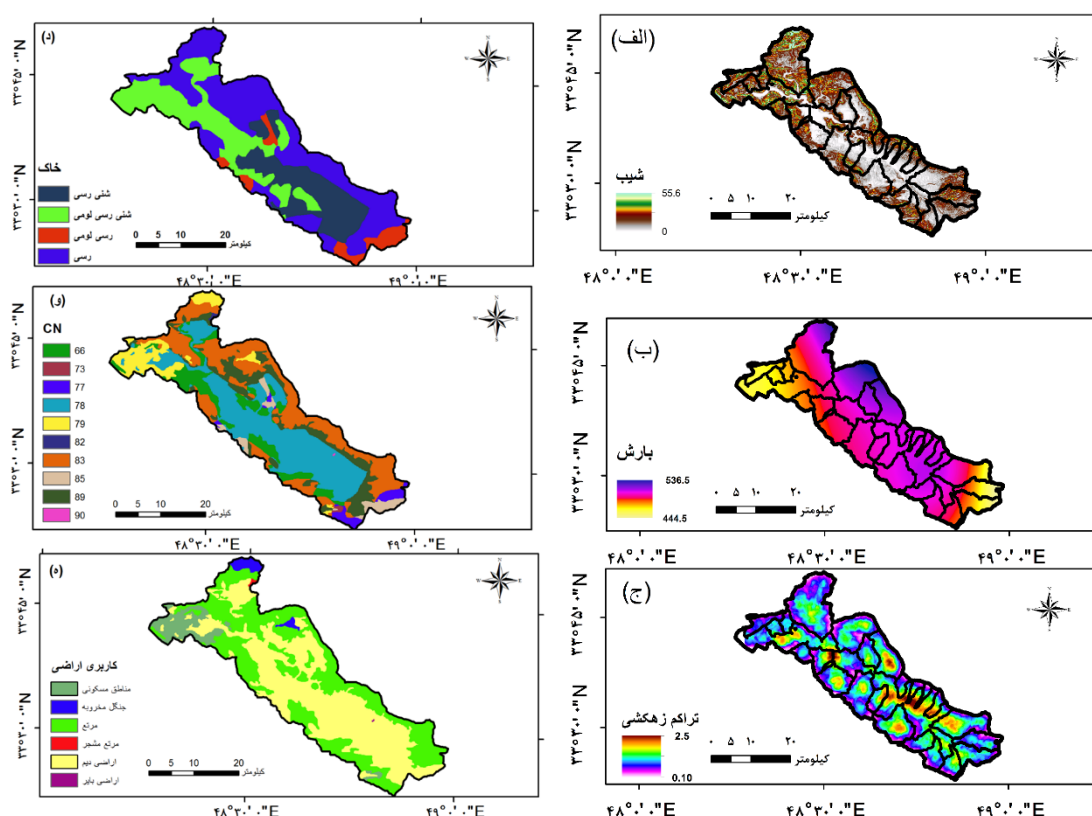
۷- تعیین ضریب نزدیکی نسبی گزینه‌ی  $C_i$  به راه‌حل ایده‌آل که در آن  $d_i^-$  آلترناتیو حداقل و  $d_i^+$  جایگزین ایده‌آل است.

$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} ; (i = 1, 2, \dots, n) \quad \text{رابطه‌ی ۱۴}$$

۸- رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس میزان  $C_i$  که دارای مقداری بین صفر و یک است.  $C_i=1$  نشان‌دهنده‌ی بالاترین رتبه و  $C_i=0$  کم‌ترین رتبه است.

#### ۴- بحث و نتایج

نقشه‌های به‌دست‌آمده بر پایه‌ی نقشه‌ی مدل ارتفاعی رقومی در شکل (۲) ارائه گردیده است:



شکل ۲: نقشه‌ی شیب (الف)، بارش (ب)، تراکم زهکشی (ج)، خاک (د)، CN (ه) و کاربری اراضی (و) حوضه‌ی آبخیز کاکارضا

پارامترهای فراوانی آبراهه، ثابت نگهداشت آبراهه، بافت زهکشی، عدد ناهمواری، ضریب گردی، ضریب فشردگی، نسبت ناهمواری، ضریب فرم، ضریب کشیدگی محاسبه‌شده در جدول (۲) ارائه گردیده است:

جدول ۲: پارامترهای مورفومتریک زیرحوضه‌های آبخیز کاکارضا

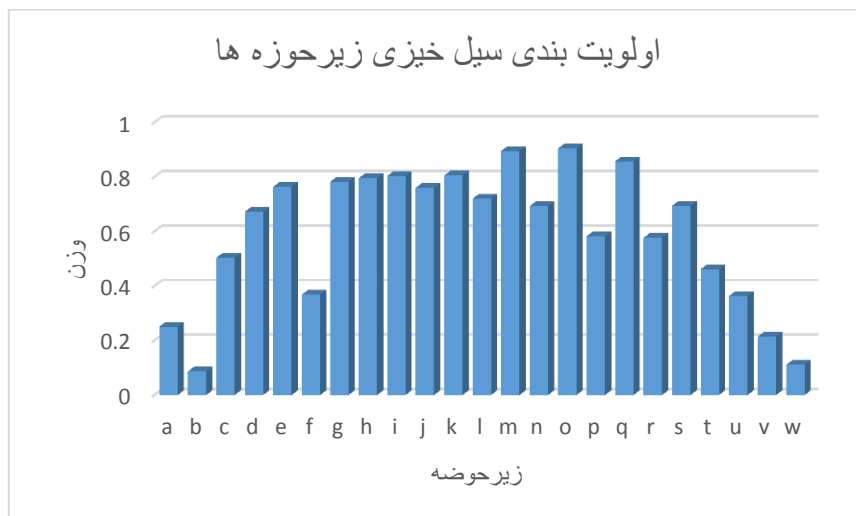
نام زیرحوضه	تراکم		عدد ناهمواری	نسبت ناهمواری	فشرده‌گی cc	ضریب فرم	ضریب گردی
	شیب (درجه)	زهکشی (km/km <sup>2</sup> )					
a	17/41	0/96	475/28	0/88	81/1	0/28	0/15
b	23/99	0/79	465/72	0/86	55/1	0/24	0/21

c	22/35	1/04	490/25	0/94	0/11	34/1	0/33	0/27
d	24/10	0/87	500/67	0/74	0/09	1/33	0/39	0/28
e	20/89	0/94	505/96	0/71	0/07	1/39	0/30	0/25
f	15/79	1/09	482/87	1/25	0/08	1/38	0/31	0/26
g	18/69	1/32	506/31	1/30	0/15	1/46	0/21	0/23
h	29/00	1/03	506/49	1/10	0/14	1/66	0/13	0/18
i	29/59	1/08	506/76	1/17	0/16	1/52	0/20	0/21
j	15/44	1/06	505/73	1/02	0/08	1/39	0/32	0/25
k	28/51	0/94	506/60	1/02	0/17	1/28	0/35	0/30
l	15/14	1/18	502/82	1/04	0/14	1/22	0/36	0/33
m	23/78	1/10	511/32	1/24	0/09	1/40	0/28	0/25
n	16/70	0/88	500/91	0/89	0/06	1/44	0/25	0/24
o	15/57	1/01	511/70	0/74	0/09	1/25	0/45	0/32
p	16/70	0/99	493/99	1/07	0/12	1/25	0/61	0/31
q	29/30	0/87	508/37	1/04	0/07	1/24	0/34	0/32
r	28/52	1/08	490/67	1/21	0/16	1/31	0/43	0/29
s	36/49	0/82	499/57	1/57	0/08	1/33	0/32	0/28
t	35/19	0/75	484/45	0/83	0/16	1/29	0/59	0/30
u	34/21	0/89	479/50	0/97	0/15	1/41	0/32	0/25
v	31/95	1/01	473/58	0/85	0/19	1/22	0/61	0/33
w	31/72	0/69	469/58	0/86	0/07	1/68	0/16	0/17

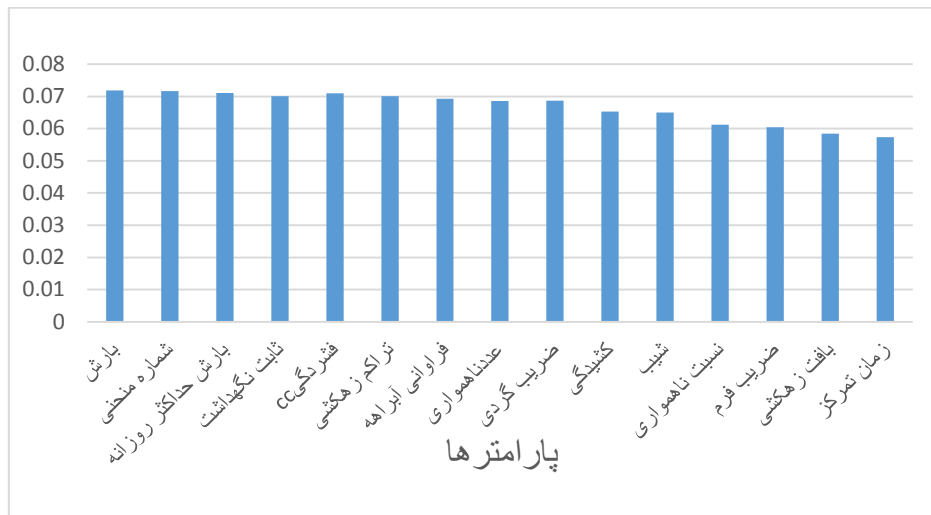
ادامه‌ی جدول ۲: پارامترهای مورفومتریکی زیرحوضه‌ی آبخیز کاکارضا

کشیدگی	فراوانی آبراهه	ثابت نگهداشت	شماره‌ی منحنی	بارش حداکثر روزانه	زمان تمرکز (دقیقه)	بافت زهکشی
0/01	0/50	04/1	85	79/03	4/2	49/0
0/01	0/55	27/1	83	78/45	3/9	62/0
0/01	0/75	96/0	83	78/07	2/7	77/0
0/01	0/66	15/1	78	77/04	3/2	73/0
0/01	0/59	06/1	78	76/57	3/4	62/0
0/01	0/60	92/0	83	76/88	4/9	02/1
0/01	0/52	76/0	83	79/31	2/1	39/0
0/01	0/72	98/0	83	76/91	1/7	35/0
0/01	0/59	93/0	83	77/85	1/6	35/0
0/01	0/76	94/0	78	77/83	4/2	15/1
0/01	1/02	06/1	83	79/96	1/5	80/0
0/01	69/0	85/0	78	82/41	2/3	72/0
0/01	80/0	91/0	83	82/72	3/5	18/1
0/00	54/0	14/1	78	84/41	4/5	81/0
0/01	74/0	00/1	83	85/32	2/8	88/0

0/01	80/0	01/1	78	88/68	2/7	20/1
0/01	63/0	15/1	83	86/32	4/4	24/1
0/01	68/0	93/0	78	101/80	2/3	72/0
0/00	60/0	22/1	83	82/33	5/4	46/1
0/01	74/0	33/1	66	106/34	1/2	65/0
0/01	55/0	12/1	83	90/14	1/4	39/0
0/01	79/0	99/0	79	78/42	1/3	64/0
0/00	56/0	45/1	79	64/35	3/2	45/0



شکل ۳: اولویت بندی زیرحوضه های حوضه ی آبخیز کاکارضا به دست آمده از روش تاپسیس



شکل ۴: اولویت بندی عوامل مؤثر بر سیل خیزی حوضه ی آبخیز کاکارضا

## ۵- بحث و نتیجه‌گیری

بررسی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبخیز به منظور مکان‌یابی پروژه‌های آبخیزداری از اهمیت قابل‌توجهی برخوردار است؛ به‌طوری‌که جهت شناسایی مکان‌هایی با پتانسیل سیل‌خیزی بالا از شاخص‌های متفاوتی استفاده می‌شود (سلیمانی ساردو، ۱۳۹۲: ۹۲). اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها به لحاظ سیل‌خیزی با هدف در اولویت قرار دادن زیرحوضه‌های پرخطر در طرح‌ها و اقدامات آبخیزداری ضروری به نظر می‌رسد (رضوی‌زاده و شاهدی، ۱۳۹۵: ۳۴). تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌عنوان ابزارهای قوی و انعطاف‌پذیر در تصمیم‌گیری در امور پیچیده که معیارهای متعددی در تصمیم‌گیری دخیل‌اند (نصیری قیداری و منتطری، ۱۳۸۹: ۲۸۵). در این پژوهش به منظور بررسی اولویت سیل‌خیزی در زیرحوضه‌های حوضه‌ی کاکارضا و نیز اولویت‌بندی پارامترهای مؤثر در سیلاب این پهنه‌ی جغرافیایی از روش‌های تاپسیس با وزن‌دهی آنتروپی شانون عوامل مورفومتری استفاده شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که ۸ عامل فیزیکی با مجموع وزن ۰/۸۵۷ تأثیر بیش‌تری از ۲ عامل اقلیمی با مجموع وزن ۰/۱۴۲ دارد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از اوزان وزن‌دهی آنتروپی شانون مشخص شد که از میان پارامترهای مورفومتری شامل تراکم زهکشی، شیب، فراوانی آبراهه، ثابت نگهداشت آبراهه، بافت زهکشی، عدد ناهمواری، ضریب گردی، ضریب فشردگی، نسبت ناهمواری، ضریب فرم، ضریب کشیدگی عامل شماره‌ی منحنی را می‌توان به‌عنوان مؤثرترین عامل بر سیل‌خیزی در حوضه‌ی آبخیز کاکارضا معرفی کرد که با نتایج رضوی‌زاده و شاهدی (۱۳۹۵)، کریمی‌زاده (۱۳۹۵) مطابقت دارد. ثابت نگهداشت، ضریب فشردگی و تراکم زهکشی پس از عامل اقلیمی بارش میانگین سالانه و بارش حداکثر روزانه بالاترین ضریب وزنی را نسبت به سایر شاخص‌ها به خود اختصاص دادند. پس‌از آن، عوامل فراوانی آبراهه، عدد ناهمواری، ضریب گردی، ضریب کشیدگی و شیب به ترتیب دارای بالاترین ضرایب بودند و از نظر اولویت‌بندی سیل‌خیزی این عوامل مورفومتری در اولویت‌های نخست قرار می‌گیرند. بر خلاف این عوامل، عوامل مورفومتری چون زمان تمرکز، بافت زهکشی و ضریب فرم دارای پایین‌ترین وزن‌های برای اولویت‌بندی سیل‌خیزی در طبقات پایینی یا اهمیت کم‌تر قرار گرفتند. از میان پارامترهای مؤثر بر سیل‌خیزی، پارامتر شیب در زیرحوضه‌های  $f$ ،  $g$ ،  $h$  و  $p$  پارامتر عدد ناهمواری در زیرحوضه‌ی  $d$ ، پارامتر نسبت ناهمواری در زیرحوضه‌های  $b$ ،  $c$ ،  $e$  و  $n$ ، پارامتر ضریب فرم در زیرحوضه‌های  $h$  و  $w$ ، پارامتر کشیدگی در زیرحوضه‌های  $m$  و  $s$ ، پارامتر بافت زهکشی در زیرحوضه‌های  $a$ ،  $g$  و  $i$  و پارامتر زمان تمرکز در زیرحوضه‌های  $c$ ،  $k$ ،  $t$ ،  $u$ ،  $v$  و  $t$  مؤثرترین و مهم‌ترین پارامتر بودند. از پارامترهای فوق، زمان تمرکز و ضریب فشردگی تأثیر منفی داشته است و با افزایش آن‌ها سیل‌خیزی کم‌تر و سایر پارامترها تأثیر مثبت دارند؛ یعنی با افزایش آن‌ها سیل‌خیزی و تولید رواناب هم افزایش می‌یابد. وزن هر معیار هم که با روش آنتروپی شانون محاسبه گردید. نتایج به‌دست‌آمده از اولویت‌بندی زیرحوضه‌های حوضه‌ی کاکارضا با استفاده روش تاپسیس در زیرحوضه‌های حوضه‌ی کاکارضا نشان داد که از میان ۲۳ زیرحوضه‌ی آبخیز کاکارضا، زیرحوضه‌ی O با ۳/۴ درصد از مساحت کل حوضه و وزن ۰/۰۸۹ دارای بالاترین میزان خطر سیل‌خیزی در حوضه‌ی آبخیز کاکارضا تعیین شد. زیرحوضه‌ی M با ۶/۶ درصد از مساحت کل و وزن ۰/۰۸۴ و زیرحوضه‌ی N با ۷ درصد از مساحت کل و ضریب ۰/۰۸۲ به ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم از نظر سیل‌خیزی قرار دارد. زیرحوضه‌ی B با ۴ درصد از مساحت کل و ضریب ۰/۰۷ در کلاس آخر سیل‌خیزی قرار دارد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که ۱۰ درصد از مساحت کل منطقه دارای خطر خیلی بالا، ۲۶ درصد دارای خطر بالا، ۴۰ درصد از منطقه دارای توان سیل‌خیزی متوسط و ۲۵ درصد دارای خطر کم است. روش به‌کاربرده شده در این تحقیق، ساده و کارآمد است: ۱- در نظر گرفتن اثر ترکیبی عوامل فیزیکی و اقلیمی روی سیل‌خیزی؛ ۲- تعیین سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها بر مبنای ارزش کمی به ترتیب اهمیت؛ ۳- تعیین مناطق دارای خطر سیل‌خیزی بالا بر مبنای ارزش کمی؛ بنابراین یکی از مزایای مهم روش حاضر، تعیین خطر سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها همراه شناسایی و تعیین مناطق مولد سیل در هر یک از زیرحوضه‌هاست؛ در نتیجه بر اساس پژوهش حاضر، به نظر می‌رسد روش تاپسیس روش مناسبی برای اولویت‌بندی سیل‌خیزی حوضه‌ی آبخیز است. باین‌حال، برای راستی‌آزمایی

قطعی نتایج این تحقیق و تحقیقات مشابه، پیشنهاد می‌گردد تحقیقات آینده در آبخیزی که دارای زیرحوضه‌های متعددی که دارای ایستگاه هیدرومتری می‌است، به کار برده شود.

## منابع

- ۱- امانی، محمد، نجفی‌نژاد، علی (۱۳۹۳). اولویت‌بندی حوضه‌های آبخیزهای زیرزمینی بر اساس تحلیل مورفومتریک، تکنیک‌های GIS و RS: حوضه‌ی آبخیز لوهاندار، استان گلستان، مجله‌ی تحقیق مدیریت آبخیزداری، ۹ (۵)، صص ۱۵-۱.
- ۲- امیدوار، کمال، کیانفر، آمنه (۱۳۸۹). پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌ی آبریز کنجانچم، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، شماره‌ی ۷۲، صص ۷۳-۹۰.
- ۳- امیری، مهدیس، پورقاسمی، حمیدرضا، عرب عامری، علی‌رضا (۱۳۹۷). اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز مهارلو در استان فارس با استفاده از پارامترهای مورفومتریک و مدل تصمیم‌گیری VIKOR، اکوهیدرولوژی، ۸۷۳- دوره‌ی ۵، شماره‌ی ۳، صص ۸۲۷-۸۱۳.
- ۴- حلیبیان، امیرحسین، عسگری، شمس‌الله (۱۳۹۶). پهنه‌بندی شدت سیل‌خیزی در حوضه‌ی آبریز میشخاص به کمک تحلیل عاملی-خوشه‌ای، هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۱۲، صص ۱۷۷-۱۵۳.
- ۵- خسروشاهی محمد و شهاب‌الدین قوامی (۱۳۸۴). هشدار (منابع طبیعی بستر حیات است، در حفظ آن بکوشیم)، چاپ چهارم، تهران: انتشارات سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور، ۱۵۵ صفحه.
- ۶- رحمتی، امید، ناصر طهماسبی‌پور، پورقاسمی، حمیدرضا (۱۳۹۴). اولویت‌بندی سیلاب‌های زیرزمینی با استفاده از تحلیل مورفومتریک و همبستگی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبریز گلستان)، مجله‌ی اکو هیدرولوژی، سال دوم، شماره‌ی دوم، صص ۱۶۱-۱۵۱.
- ۷- رضوی‌زاده، سمانه، شاهدهی، کاکا (۱۳۹۵). اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز طالقان با استفاده از تلفیق AHP و TOPSIS، فصلنامه‌ی اکوسیستم‌های طبیعی ایران، سال هفتم، شماره‌ی چهارم، صص ۴۶-۳۳.
- ۸- سلیمانی ساردو، فرشاد، سلطانی کوپایی، سعید، سلاجقه، علی (۱۳۹۲). انتخاب شاخص سیل‌خیزی مناسب با استفاده از مدل بارش-رواناب HEC-HMS و تکنیک‌های RS و GIS (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی سد جیرفت)، پژوهشنامه‌ی مدیریت حوضه‌ی آبخیز سال چهارم، شماره‌ی ۸، صص ۱۰۵-۹۰.
- ۹- علیزاده، امین (۱۳۷۹). اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ سوم، مشهد: انتشارات آستان قدس رضوی.
- ۱۰- کریمی‌زاده، کیوان (۱۳۸۸). ارزیابی فنی اثرات عملیات اجرایی آبخیزداری بر دبی رودخانه (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز سیرا-کلوان)، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، صص ۱۰۴-۱.
- ۱۱- نصیری قیداری، امید، منتظر، علی‌اصغر، مؤمنی، منصور (۱۳۸۹). کاربرد ترکیبی فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و تکنیک تاپسیس در تعیین ارزش وزنی معیارها و ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی (مطالعه‌ی موردی: نواحی سه‌گانه‌ی شبکه‌ی آبیاری سفیدرود)، دوره‌ی ۴، شماره‌ی ۲، صص ۲۹۶-۲۸۴.
- 12- Adhami, M., & Sadeghi, H.M. (2016). Sub-watershed prioritization based on sediment yield using game theory. *Journal of hydrology*, 541: 977-987.
- 13- Aher, P., Adinarayana, J., & Gorantiwar, SD. (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.
- 14- Altaf, S., Meraj, G., & Romshoo, S. (2014). Morphometry and land cover based multicriteria analysis for assessing the soil erosion susceptibility of the western Himalayan watershed. *Environmental Monitoring and Assessment*, 86(12), 8391-8412.
- 15- Angillieri, M. Y. E. (2012). Morphometric characterization of the Carrizal Basin applied to the evaluation of flash floods hazard, San Juan, Argentina. *Quaternary International*, 253, 74-79.
- 16- Arabameri, A., Pradhan, B., Pourghasemi, H.R., & Rezaei, K. (2018). Identification of erosion-prone areas using different multi-criteria decision-making techniques and GIS. *Geomatics, Natural Hazards and Risk* 9 (1), 1129-1155.

- 17- Fernándezab, D. S. & Lutz M.A. (2010). Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multi criteria decision analysis. *Engineering Geology* 111 (1-4), 90-98.
- 18- Arnous, M. O., Aboulela, H.A. & Green, D.R. (2011). Geo-environmental hazards assessment of the north western Gulf of Suez, Egypt. *Jour. Coas Conserv.*, v.15, pp.37–50.
- 19- Biswas, S., Sudhakar, S., & Desai, V.R. (2002). Remote sensing and geographic information system based approach for watershed conservation. *Survey Engineering*. 128: 108 - 124.
- 20- Chen, T. Y., & Tsao, C.Y. (2008). “The intervalvalued fuzzy TOPSIS method and experimental analysis”. *Fuzzy Sets and Systems*, 11(159), 1410-1428.
- 21- Chowdary, V. M., Chakraborty, D., Jeyaram, A., Krishna Murthy, Y. V. N., Sharma, J. R., & Dadhwal, V. K. (2013). Multi-criteria decision making approach for watershed prioritization using analytic hierarchy process technique and GIS. *Water Resource Management*, 27, 3555\_3571.
- 22- Angillieri, M. (2008) Morphometric analysis of Colanguil River Basin and flash flood hazard, San Juan. Argentina. *Environ. Geol.*, v.55, pp.107– 111.
- 23- Fan, M., & Shibata, H., (2014). Spatial and temporal analysis of hydrological provision ecosystem services for watershed conservation planning of water resources *Water Resources Management* 28 (11), 3619-3636.
- 24- Hwang, C.L., & Yoon, K. (1981): *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer-Verlag, Berlin. 58-191.
- 25- Kang, B., Lee, J.H., Chung, E.S., Kim, D., & Do Kim, Y. (2013). A sensitivity analysis approach of multi-attribute decision making technique to rank flood mitigation projects. *KSCE Journal of Civil Engineering* 17 (6), 1529-1539.
- 26- Leskens, J. G., Brugnach, M., Hoekstra, A. Y., & Schuurmans, W. (2014). Why are decision flood disaster management so poorly supported by information from flood models. *Environmental Modeling & Software*, 53, 53\_61.
- 27- Malik, M. S. & Shukla, J. P. (2018) A GIS-based morphometric analysis of Kandaihimmat watershed, Hoshangabad district, M.P. India, *Indian Jour. Geo Marine Sci.*, v.47(10), pp.1980-1985.
- 28- Melton, M. A. (1985). Correlations structure of morphometric properties of drainage systems and their controlling agents. *Journal of Geology*. 1958; 66: 442-460.
- 29- Meyer, V., Scheuer, S., & Haase, D. (2009). A multicriteria approach for flood risk mapping exemplified at the Mulde River, Germany. *Natural Hazards* 48 (1), 17-39.
- 30- Rahaman, S. A., Ajeez, S. A., Aruchamy, S., & Jegankumar, R. (2015). Prioritization of sub watershed based on morphometric characteristics using fuzzy analytical hierarchy process and geographical information system A study of kallar watershed, Tamil Nadu. *Aquatic Procedia* 4, 1322-1330.
- 31- Rahmati, O., Haghizadeh, A., & Stefanidis, S. (2016). Assessing the accuracy of GIS-based analytical hierarchy process for watershed prioritization; Gorganrood River Basin, Iran. *Water Resources Management* 30 (3), 1131-1150.
- 32- Rahmati, O., Kornejady, A., Samadi, M., Nobre, A. D., Melesse, A. M. (2018). Development of an automated GIS tool for reproducing the HAND terrain model. *Environmental Modelling & Software* 102, 1-12.
- 33- Singh, O., Sarangi, A., & Sharma, M .C. (2008). Hypsometric Integral Estimation Methods and Its Relevance on Erosion Status of North-Western Lesser Himalayan Watersheds. *Water Resources Management*, v.22, pp.1545-1560.
- 34- Sinha, R., Bapalu, G. V., Singh, L. K., & Rath, B. (2008). Flood risk analysis in the Kosi river basin, north Bihar using multi-parametric approach of analytical hierarchy process (AHP). *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 36 (4), 335-349.
- 35- 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.

- 36- Toosi, S. R., & Samani, J. M. V. (2017). Prioritizing watersheds using a novel hybrid decision model based on fuzzy DEMATEL, fuzzy ANP and fuzzy VIKOR. *Water Resources Management* 31 (9), 2853-2867.
- 37- Vulevic, T., & Dragovic, N. (2017). Multi-criteria decision analysis for sub-watersheds ranking via the PROMETHEE method. *International Soil and Water Conservation Research* 5 (1), 50-55.
- 38- Wang, Y., Li, Z., Tang, Z., & Zeng, G. (2011). A GIS-based spatial multi-criteria approach for flood risk assessment in the Dongting Lake Region, Hunan, Central China. *Water Resources Management* 25 (13), 3465-3484.
- 39- Yadav, S. K., Singh, S. K., Gupta, M. & Srivastava, P.K. (2014) Morphometric analysis of Upper Tons basin from Northern Foreland of Peninsular India using CARTOSAT satellite and GIS. *Geocarto Internat.*, v.29 (8), pp.895-914.
- 40- Zou, Q., Zhou, J., Zhou, C., Song, L., & Guo, J. (2013). Comprehensive flood risk assessment based on set pair analysis-variable fuzzy sets model and fuzzy AHP. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 27 (2), 525-546.