دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

تهیه‌ی نقشه پتانسیل سیل‌گیری با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس و مدل آماری وزن واقعه (مطالعه موردی: شهرستان جهرم، استان فارس)

سید وحید رضوی ترمه[۱]، حمیدرضا پورقاسمی[۲] و فاطمه علی دادگان فرد[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد GIS، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۲- استادیار بخش مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز (نویسنده مسوول: hr.pourghasemi@shirazu.ac.ir)
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم محیطی، دانشگاه آبان هراز، آمل
تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۶/۳/۸

چکیده

سیلاب یکی از رایج‌ترین بلایای طبیعی است که هرساله باعث خسارت‌های مالی و جانی فراوانی می‌گردد. لذا وجود نقشه‌های حساسیت و آسیب‌پذیری به‌منظور مدیریت جامع سیلاب جهت کاهش اثرات مخرب آن امری ضروری است. بنابراین هدف از تحقیق حاضر، تهیه‌ی نقشه پتانسیل سیل‌گیری در شهرستان جهرم، استان فارس با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند- معیاره تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و تاپسیس و مدل آماری وزن واقعه (WOE) و مقایسه‌ی دقت آن‌ها می‌باشد. درمجموع ۵۳ محل وقوع سیل در منطقه مورد مطالعه مشخص، که ۳۵ محل وقوع سیل به‌طور تصادفی جهت مدل‌سازی و ۱۶ محل باقیمانده به‌منظور ارزیابی مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. درمجموع ۹ عامل که بر روی وقوع سیل‌گیری اثر می‌گذارند، در نظر گرفته شد و نقشه‌های آن در محیط ArcGIS آماده گردید. این عوامل شامل درجه شیب، شکل شیب، ارتفاع، شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI)، شاخص توان آبراهه (SPI)، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، بارندگی و سنگ‌شناسی می‌باشد. پس از تهیه‌ی نقشه‌های پتانسیل سیل با استفاده از روش‌های مذکور، جهت ارزیابی نتایج از منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC) استفاده گردید. سطح زیر منحنی (AUC) به‌دست‌آمده از منحنی تشخیص عملکرد نسبی، نشان‌دهنده‌ی دقت ۶۸، ۷۰ و ۸۶ درصد به‌ترتیب برای مدل‌های AHP، تاپسیس و مدل آماری وزن واقعه می‌باشد. نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده‌ی دقت بالای مدل‌های آماری در مقایسه با مدل‌های تصمیم‌گیری و مبتنی بر کارشناسی می‌باشد. نتایج این مطالعه می‌تواند برای مدیران، محققان و طراحان به‌منظور مدیریت مناطق آسیب‌پذیر سیل و کاهش خسارات آن مفید باشد.

واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری سیلاب، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، روش تاپسیس، مدل وزن واقعه (WOE)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)

مقدمه

در میان انواع مختلف بلایای طبیعی، سیلاب به‌عنوان یکی از مخرب‌ترین این فاجعه‌ها با خسارات زیاد در نظر گرفته می‌شود (۵۲). این پدیده هرساله باعث خسارات مالی و جانی بسیاری در سرتاسر دنیا می‌گردد. کشور ایران با توجه به وسعت آن، تنوع آب و هوایی و تغییرات زمانی و مکانی بارندگی در اغلب حوضه‌ها، سیلاب‌های عظیمی سالانه مشاهده می‌شود. در طول دهه گذشته، خسارت اقتصادی حاصل از فاجعه سیلاب به ۱۷۰۵ هزار دلار افزایش‌یافته است (۳۲). اگرچه جلوگیری از وقوع سیلاب امری غیرممکن است، اما می‌توان با استفاده از روش‌ها و آنالیزهای مناسب، این فاجعه را پیش‌بینی و تا حدی کنترل کرد (۱۰). علاوه بر این اقداماتی جهت پیشگیری از سیلاب و کاهش اثرات سوء آن امری ضروری به‌نظر می‌رسد (۲،۳،۱۲،۱۹) و یکی از این اقدامات تهیه نقشه پتانسیل سیل‌گیری می‌باشد (۶). مطابق با تحقیقات Nourozi و Taslimi (۳۲)، در ایران سیلاب و خسارات ناشی از آن روز به روز در حال افزایش است، به‌طوری‌که در دهه گذشته خسارات ناشی از سیلاب ۲۵۰ درصد افزایش داشته است. بر این اساس انتظار می‌رود وقوع فاجعه سیلاب با توجه به توسعه و رشد بی‌برنامه شهرنشینی، افزایش جنگل‌زدایی و ادامه بارش به‌عنوان یک تغییر آب و هوایی در مناطق مستعد افزایش یابد. با در نظر گرفتن اثرات منفی سیلاب، تشخیص مناطق مستعد سیلاب ضروری است (۵۱). امروزه پیش‌بینی سیلاب جهت مدیریت منابع آب، کنترل فرسایش، طراحی سازه‌های هیدرولیکی و کاهش خسارات ناشی از سیل از اهمیت خاصی برخوردار است (۴۴). تهیه نقشه پتانسیل سیلاب به‌عنوان یک نیاز شناخته‌شده، اولین گام در جلوگیری و مدیریت آینده سیلاب می‌باشد (۵۴). به‌طورکلی تعیین مناطق مستعد خطر سیلاب با توجه به معیارهای تأثیرگذار بر سیلاب را پتانسیل سیل‌گیری می‌گویند. تحقیقات متنوعی در ارتباط با تهیه نقشه پتانسیل سیلاب در کشورهای مختلف انجام پذیرفته است (۱۳،۲۵،۳۹). دسترسی سریع به داده‌های ماهواره‌ای سنجش‌ازدور و بهبود روش‌های تجاری، استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)[۱] را در تهیه نقشه پتانسیل سیل‌گیری افزایش داده است. علاوه بر این، GIS یک ابزار مفید جهت بررسی رویدادهای چندبعدی مانند سیلاب است، که در آن جنبه‌های مختلف مکانی و زمانی جهت مدل‌سازی باید در نظر گرفته شود. طیف گسترده‌ای از تکنیک‌های مدل‌سازی جهت ارزیابی خطر سیلاب به‌کار گرفته شده است و هم‌چنین تحقیقات زیادی به‌منظور تهیه نقشه پتانسیل سیلاب با استفاده از GIS انجام‌شده است. Chau و همکاران (۷) و Mukerji و همکاران (۳۰) اطلاعات مفیدی در مورد برخی از روش‌های موجود ارائه کرده‌اند. هم‌چنین بعضی از این روش‌ها عبارت‌اند از نسبت فراوانی (۱۱،۲۴،۴۰،۵۰)، شبکه عصبی مصنوعی (۲۳)، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (۲۳)، رگرسیون لجستیک

1- Geographic Information System

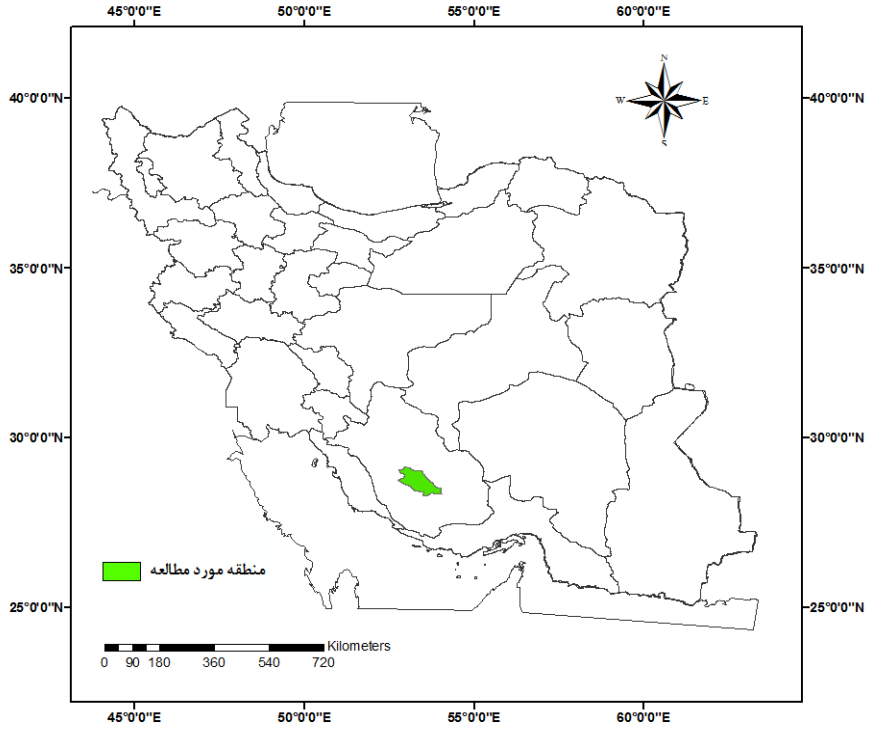
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.22.4]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.67]

(۳۱)، منطق فازی (۵۹)، ماشین بردار پشتیبان (۵۱) و درخت تصمیم‌گیری (۵۰) می‌باشد. Zou و همکاران (۵۹) روش AHP[1] را پیشنهاد دادند که در این روش وزن‌دهی معیارها بر اساس نظرات کارشناسان خبره انجام می‌پذیرد. آنالیزهای تصمیم‌گیری چندمعیاره یک ابزار مفید جهت حل مسائل تصمیم‌گیری پیچیده است که اغلب نیاز به معیارها و داده‌های غیرقابل مقایسه دارند (۱۸،۲۶). ترکیب GIS با تصمیم‌گیری چندمعیاره تاکنون در مدل‌سازی‌های مکانی و آنالیزهای مربوط به بلایای طبیعی به‌ویژه سیلاب مورد استفاده قرارگرفته است (۲۱،۳۳،۴۰،۴۵،۴۷). عملکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره و GIS در تحقیقی توسط Fernandez و Lutz (۱۵) برای تهیه نقشه پتانسیل سیلاب در آرژانتین مورد ارزیابی قرار گرفت. این تحقیقات نشان داد که تکنیک AHP در GIS یک ابزار قدرتمند برای تهیه‌ی نقشه‌های بلایای طبیعی با دقت مناسب می‌باشد. هدف از تحقیق حاضر تهیه‌ی نقشه پتانسیل سیل‌گیری شهرستان جهرم در استان فارس با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP و تاپسیس[2] و مقایسه آن با مدل آماری وزن واقعه می‌باشد. تحقیقات انجام‌شده نشان داده که مقایسه تکنیک‌های مختلف تصمیم‌گیری نظیر AHP و تاپسیس و مقایسه آن با مدل آماری بیزین (WOE) در پهنه‌بندی سیلاب برای اولین بار است که در حال اجرا می‌باشد و از نوآوری‌های تحقیق مذکور می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شهرستان جهرم واقع در استان فارس می‌باشد که مساحت آن ۵۷۳۷ کیلومترمربع می‌باشد. این منطقه بین عرض‌های ۲۸ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۸ دقیقه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۴ دقیقه شرقی استقراریافته است. ارتفاع بیشینه و کمینه منطقه مورد مطالعه به‌ترتیب ۳۱۷۰ و ۷۵۹ متر می‌باشد. منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه
Figure 1. The study area location

نقشه پراکنش سیلاب

به‌منظور پیش‌بینی وقوع سیلاب در یک منطقه، می‌توان از آنالیزهای مربوط به سیلاب‌هایی که درگذشته ثبت گردیده‌اند، استفاده کرد (۳۸). علاوه بر این نقشه پراکنش سیلاب به‌عنوان یک عامل مؤثر در پیش‌بینی وقوع سیل در نظر گرفته می‌شود. درمجموع ۵۱ محل وقوع سیل در شهرستان جهرم توسط سازمان آب منطقه‌ای استان فارس از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۲ ثبت گردیده است که ۳۵ محل وقوع سیل (۷۰ درصد) جهت تهیه‌ی نقشه پتانسیل سیل‌گیری و ۱۶ محل وقوع سیل (۳۰ درصد) برای اعتبارسنجی مدل‌های مذکور مورد استفاده قرار گرفت (۳۸).

معیارهای تأثیرگذار بر سیلاب

تعیین عوامل اثرگذار بر سیلاب یکی از موارد ضروری در تهیه نقشه پتانسیل سیل‌گیری می‌باشد (۲۳). در این تحقیق،

1- Analytic hierarchy process
2- TOPSIS

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.22.4]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.67]

۹ عامل اثرگذار بر سیلاب شامل درجه شیب، ارتفاع، شکل شیب، بارندگی، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، سنگ‌شناسی، شاخص توان آبراهه و شاخص رطوبت توپوگرافی مورد استفاده قرار گرفت (۲۲). به‌منظور تهیه لایه‌های اطلاعاتی از نرم‌افزارهای ArcGIS و QGIS 2.16.1 استفاده گردید. در ابتدا مدل ارتفاعی رقومی با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر از ماهواره ASTER تهیه گردید و لایه‌های درجه شیب، ارتفاع و شکل شیب به‌طور مستقیم از آن در نرم‌افزار ArcGIS استخراج شد. فاصله از رودخانه نیز یکی دیگر از عوامل اصلی به‌شمار می‌رود که تأثیر قابل‌توجهی بر گستره و اندازه سیلاب دارد (۴۰). فاکتورهای وابسته به آب مانند SPI و TWI نیز به‌طور مستقیم از مدل ارتفاعی رقومی در نرم‌افزار QGIS مطابق رابطه‌ی ۱ و ۲ محاسبه گردید (۲۰،۲۹،۳۱).

$$TWI = \ln(\frac{A_s}{\beta}) \quad (۱)$$

$$SPI = A_s * \tan\beta \quad (۲)$$

که در آن: A_s و β به‌ترتیب نشان‌دهنده‌ی مساحت یک حوضه مشخص (m^2/m) و زاویه شیب (برحسب درجه) می‌باشد. عامل TWI نشان‌دهنده‌ی مقدار جریان تجمعی مربوط به یک نقطه از حوزه آبخیز است که تحت تأثیر نیروی گرانش تمایل به رفتن آب در نواحی با شیب کمتر دارد (۲۹). هم‌چنین شاخص SPI نشان‌دهند ه‌ی قدرت فرسایشی رواناب سطحی است. به‌منظور تهیه لایه‌ی بارندگی از داده‌های ۱۰ سال گذشته ایستگاه‌های باران‌سنجی استان فارس شده و برای میان‌یابی بارندگی از روش معکوس فاصله (IDW)[1] (۲۰،۲۹) در محیط ArcGIS استفاده گردید. نوع کاربری اراضی نقش مهمی در فرآیند سیلاب بازی می‌کند که به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم بر روی برخی فرآیندهای هیدرولوژیکی مانند نفوذپذیری، تبخیر و تعرق و تولید رواناب تأثیر دارد (۳۵). نقشه کاربری اراضی از اداره کل منابع طبیعی استان فارس و در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه گردید. اغلب کاربری‌های موجود در منطقه مرتع، کشاورزی و مناطق جنگلی با پوشش کم‌تراک م بوده است. مناطق مسکونی که عمدتاً توسط سطوح غیرقابل نفوذ ساخته‌شده است، افزایش رواناب و طغیان رود را به‌همراه دارد (۴۰). از سوی دیگر مناطق با پوشش گیاهی کمتر، مستعد جاری شدن سیلاب با توجه به رابطه مثبت بین توانایی نفوذ و تراکم پوشش هستند. به‌طورکلی زمین‌شناسی منطقه، نقش اساسی در تهیه‌ی نقشه‌ی پتانسیل سیلاب دارد، به خاطر این‌که بسیاری از واحدهای سنگ‌شناسی نسبت به فرآیندهای هیدرولوژیکی فعال هستند (۲۷). مناطق با صخره‌های مقاوم و یا مواد زیرین نفوذپذیر، تراکم زهکشی کمتری داشته، بنابراین خطر وقوع به سیل‌گیری کم‌تری دارند (۴۸). لایه زمین‌شناسی با استفاده از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ استان فارس تهیه گردید. بیش‌ترین واحد سنگ‌شناسی در منطقه مطالعاتی متعلق به دوران سنوزوئیک می‌باشد. انواع سازنده‌ها مربوط به دوره‌های مختلف زمین‌شناسی در جدول ۱ نشان داده شده است. لایه‌های اطلاعاتی تأثیرگذار بر وقوع سیلاب در شکل ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- ویژگی زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

Table 1. Geological features of study area

نام دوره	سنوزوئیک	پالئوزوئیک	مزوزوئیک
نوع سازند	Qft2 Eoas-ja Plbk Muplaj OMr OMas Mmn	Pc-Ch	Kbgp KEpd-gu

مدل‌های مورد استفاده

تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

AHP به‌عنوان یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره از مقایسه دوبه‌دوی معیارها استفاده می‌کند تا به درجه‌بندی و اولویت‌های مربوط به گزینه‌های مختلف برسد. در مدل AHP، معیارها و گزینه‌ها در یک نظام سلسله مراتبی قرارگرفته و با اختصاص وزنی در مقیاس ۱ تا ۹ به‌صورت زوجی مقایسه می‌شوند. سپس ارزش نهایی آن‌ها از طریق استانداردسازی و یکی از روش‌های حداقل مربعات، حداقل مربعات لگاریتمی، روش‌های تقریبی و بردار ویژه تعیین می‌شود (۴۲،۴۳،۴۶،۵۶).

تاپسیس

روش تاپسیس در سال ۱۹۸۱ توسط Hwang و Yoon ارائه گردید. مراحل انجام مدل تاپسیس به‌صورت زیر است (۹):

در گام اول، ماتریس ارزیابی که شامل m گزینه و n شاخص است ساخته می‌شود. در این ماتریس x_{ij} مقدار عددی به‌دست‌آمده از تقاطع گزینه‌ها و شاخص‌هاست. ساختار این ماتریس به‌صورت رابطه ۳ ارائه شده است:

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (۳)$$

در گام دوم، ماتریس تصمیم با استفاده از روش‌های نرمال‌سازی، بی‌مقیاس می‌گردد. به‌این‌ترتیب هرکدام از مقادیر بر اندازه بردار مربوط به‌همان شاخص تقسیم می‌شود. نحوه بی‌مقیاس سازی ماتریس تصمیم بر اساس رابطه ۴ انجام می‌گردد:

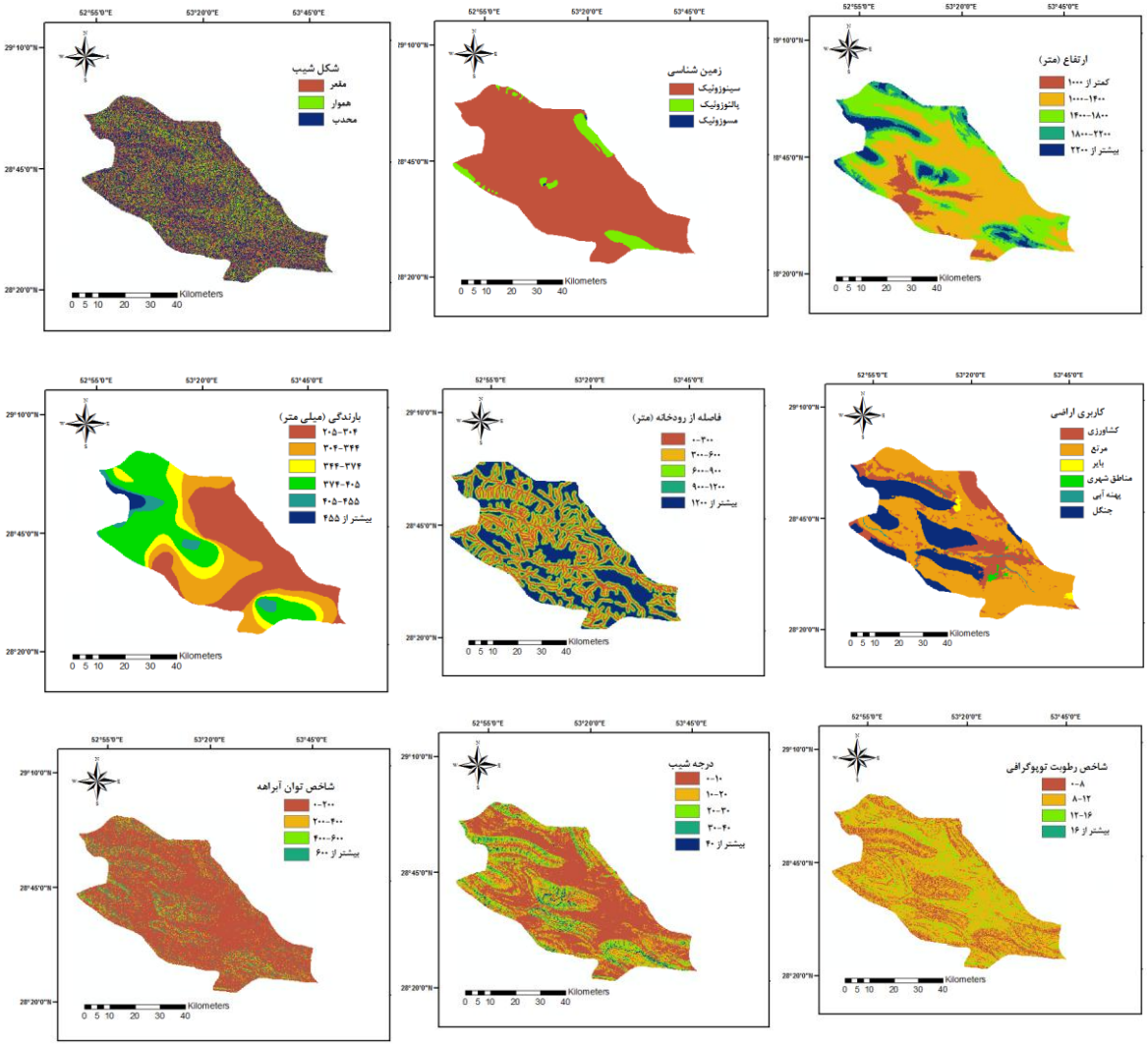
$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}}, i = 1,2,\dots,m, j = 1,2,\dots,n \quad (۴)$$

در گام سوم، یک بردار وزن به مقادیر ماتریس تصمیم بی مقیاس شده اختصاص می‌یابد که در رابطه ۵ نشان داده شده است:

$$v_{ij} = w_i r_{ij}, i = 1,2,\dots,m, j = 1,2,\dots.n \quad (۵)$$

1- Inverse distance weighted

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.22.4]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.67]



شکل ۲- لایه‌های اطلاعاتی تأثیرگذار بر رخداد سیلاب در منطقه مورد مطالعه
Figure 2. Effective thematic layers on flood occurrence in the study area

در گام چهارم، راه‌حل ایده‌آل مثبت (A^*) و راه‌حل ایده‌آل منفی (A^-) به‌ترتیب طبق رابطه‌های ۶ و ۷ محاسبه می‌گردد:

$$A^* = \{v_1^*, \dots, v_n^*\}, v^* = \{\max(v_{ij}), j \in J; \min(v_{ij}), j \in J'\} \quad (۶)$$

$$A^- = \{v_1', \dots, v_n'\}, v' = \{\min(v_{ij}), j \in J; \max(v_{ij}), j \in J'\} \quad (۷)$$

در گام پنجم، فاصله بین هر گزینه n بعدی را می‌توان به روش اقلیدسی سنجید. فاصله از راه‌حل مثبت و راه‌حل منفی به‌ترتیب در رابطه‌های ۸ و ۹ نشان داده شده است:

$$s_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(v_{ij} - v_j^*)^2} \quad , i = 1, \dots, m \quad (۸)$$

$$s_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(v_{ij} - v_j')^2} \quad , i = 1, \dots, m \quad (۹)$$

در گام ششم، نزدیکی نسبی به راه‌حل‌های ایده‌آل محاسبه می‌گردد که بر اساس رابطه ۱۰ ارائه می‌شود:

$$c_i^* = \frac{s_i^-}{(s_i^* + s_i^-)} \quad , 0 < c_i^* < 1 \quad (۱۰)$$

در نهایت بین وزن‌های به‌دست‌آمده رتبه‌بندی انجام می‌دهیم. مقادیر بزرگ‌تر نشان‌دهنده‌ی عملکرد بهتر و اولویت بالاتر می‌باشند (۱۴).

مدل آماری وزن واقعه (WOE)[1]

مدل وزن واقعه یک روش آماری دومتغیره بر اساس تئوری بیزین است که اولین بار در سال ۱۹۸۸ درزمینه‌ی استخراج مواد معدنی به‌کار گرفته شد، اما در سال‌های اخیر جهت تهیه‌ی نقشه‌های آسیب‌پذیری بلایای طبیعی به‌وفور مورد استفاده قرارگرفته است (۲۸،۵۳). در مدل وزن واقعه، وزن هر کلاس از معیارهای تأثیرگذار بر اساس رابطه‌های زیر محاسبه می‌گردد (۵،۴۱):

$$W^+ = \ln \frac{P\{B|A\}}{P\{B|\bar{A}\}} \quad (۱۱)$$

1- Weights-of-evidence model

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.22.4]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.67]

$$W^- = \ln \frac{P\{\overline{B}|A\}}{P\{\overline{B}|\overline{A}\}} \quad (۱۲)$$

$$C=W^+ - W^- \quad (۱۳)$$

که در آن: متغیرهای B و $\overline{B}$ به‌ترتیب نشان‌دهنده‌ی وقوع و عدم وقوع تأثیر عوامل بر رخداد سیلاب می‌باشند. هم‌چنین متغیرهای A و $\overline{A}$ به‌ترتیب نشان‌دهنده‌ی وقوع و عدم وقوع سیلاب است (۵۵). پارامتر C نیز اختلاف بین وزن مثبت و منفی بوده و بزرگی ارتباط مکانی عامل علتی و معلول (سیلاب) را نشان می‌دهد (۳۵). جهت به‌دست آوردن وزن نهایی (W)، انحراف معیار به‌صورت رابطه ۱۴ ارائه می‌شود.

$$S(C) = \sqrt{S^2W^+ + S^2W^-} \quad (۱۴)$$

همان‌طور که در معادله ۱۴ نشان داده شده، S^2W^+ واریانس وزن‌های مثبت و S^2W^- واریانس وزن‌های منفی می‌باشد. واریانس وزن‌ها به‌صورت رابطه‌های ۱۵ و ۱۶ نشان داده شده است.

$$S^2W^+ = \frac{1}{N\{B\cap A\}} + \frac{1}{B\cap\overline{A}} \quad (۱۵)$$

$$S^2W^- = \frac{1}{\{\overline{B}\cap A\}} + \frac{1}{\overline{B}\cap\overline{A}} \quad (۱۶)$$

که در آن: معادله N تعداد کل پیکسل‌هاست و سرانجام وزن نهایی از نسبت مقدار C به انحراف معیار مطابق رابطه‌ی ۱۷ به دست می‌آید (۴).

$$W_{final} = \left(\frac{C}{S(C)}\right) \quad (۱۷)$$

ارزیابی و مقایسه مدل‌ها و انتخاب بهترین مدل منطقه‌ای

به‌منظور ارزیابی مدل‌های تهیه‌شده، از منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC)[1] استفاده شده است (۳۵،۳۸). منحنی ROC یک نمایش گرافیکی از موازنه‌ی بین نرخ خطای منفی و مثبت برای هر مقدار احتمالی از برش‌هاست (۳۶،۵۵). شاخص عملکرد نسبی، منحنی است که مؤلفه قائم و افقی آن به‌ترتیب از رابطه‌های ۱۸ و ۱۹ محاسبه می‌شوند که از ماتریس مقایسه با تعریف حد آستانه بین صفر و یک به‌دست می‌آیند. مقادیر مربوط به درصد واقعیت صحیح[2] درصد واقعیت کذب[3] نمودار بر طبق روابط زیر محاسبه می‌گردد (۱).

$$X = 1 - \left[\frac{TN}{TN+FP}\right] \quad (۱۸)$$

$$Y = \left[\frac{TP}{TP+FN}\right] \quad (۱۹)$$

سطح زیر منحنی ROC که AUC نامیده می‌شود، بیانگر مقدار پیش‌بینی سیستم از طریق توصیف توانایی آن در تخمین درست وقایع رخداد (وقوع سیل) و عدم وقوع رخداد (عدم وقوع سیل) آن است.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از روش AHP

با استفاده از نقطه نظرات کارشناسانی، مقایسات زوجی بین معیارهای اصلی و زیرمعیارها انجام گردید. بدین منظور از نظرات ۱۰ کارشناس جهت مقایسات زوجی استفاده گردید، که حدود ۷۰ درصد از نظرات قابل‌قبول و در فرآیند مقایسات زوجی به‌کار گرفته شد. ماتریس مقایسات زوجی عوامل اصلی مؤثر بر تهیه‌ی نقشه پتانسیل سیلاب در جدول ۲ ارائه شده است. خروجی نهایی نرم‌افزار Expert Choice نیز در شکل ۳ ارائه‌شده است. نتایج نشان داد که از بین ۹ عامل اصلی، عوامل درجه شیب و شکل شیب مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار بر وقوع سیل‌گیری در منطقه مورد مطالعه بودند و در مقابل شاخص توان آبراهه از اهمیت کمی برخوردار است.

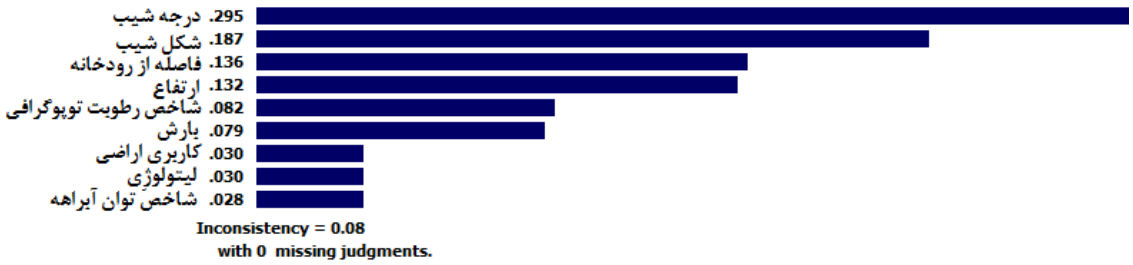
جدول ۲- ماتریس مقایسات زوجی بین معیارهای اصلی

Table 2. Pair-wise comparision matrix among original criteria

معیار	(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)	(۷)	(۸)	(۹)
درجه شیب (۱)	۱	۴	۳	۵	۴	۴	۲	۹	۹
فاصله از رودخانه (۲)	–	۱	۱	۳	۲	۲	۰/۵	۸	۹
ارتفاع (۳)	–	–	۱	۴	۲	۲	۰/۵	۷	۷
شاخص توان آبراهه (۴)	–	–	–	۱	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۵
شاخص رطوبت توپوگرافی (۵)	–	–	–	–	۱	۱	۰/۳۳	۴	۶
بارش (۶)	–	–	–	–	–	۱	۰/۳۳	۳	۵
شکل شیب (۷)	–	–	–	–	–	–	۱	۶	۷
کاربری اراضی (۸)	–	–	–	–	–	–	–	۱	۰/۳۳
سنگ‌شناسی (۹)	–	–	–	–	–	–	–	–	۱

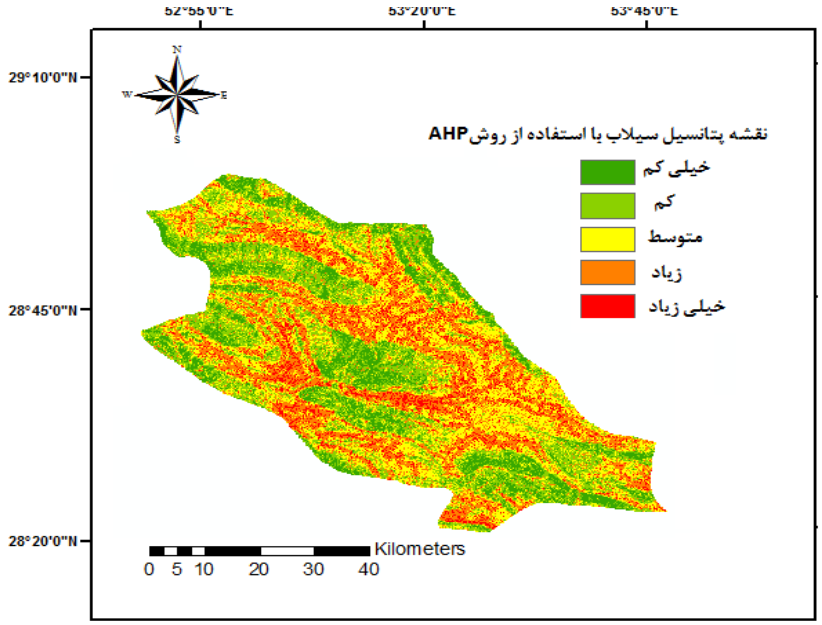
1- Relative Operating Characteristic 2- True Positive 3- False Positive

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.22.4]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.67]



شکل ۳- مقادیر وزن نهایی معیارهای اصلی و تعیین اولویت آن‌ها
Figure 3. The final weight values of original criteria and their preferences

ماتریس مقایسات زوجی مربوط به کلاس‌های هر عامل و نتایج آنالیز وزن‌های آن در نرم‌افزار Expert Choice نیز در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد که در معیار شیب، بیش‌ترین وزن مربوط به کلاس ۱۰-۰ درجه می‌باشد که دلیل این امر تجمع آب حاصل از بارش و سیلاب در این مناطق می‌باشد، هم‌چنین بیش‌ترین مقدار شکل شیب و فاصله از رودخانه به‌ترتیب مربوط به طبقه‌های Flat یا هموار (۰/۵۹۴) و فاصله ۱۰۰-۰ متر با مقدار ۰/۴۵۲ می‌باشد که در فواصل نزدیک به رودخانه، حجم و پخش سیلاب زیاد می‌باشد. با توجه به جدول ۳ برای معیارهای ارتفاع و بارندگی، بیش‌ترین وزن به‌ترتیب مربوط به طبقه‌های ارتفاع کمتر از ۱۰۰۰ متر (۰/۴۴۲) و بارندگی بیش‌تر از ۴۴۵ میلی‌متر (۰/۳۷۱) می‌باشد. در فواصل ارتفاعی کم‌تر تجمع سیلاب بیش‌تر بوده و هم‌چنین مناطق با بارندگی بیش‌تر، جاری شدن سیلاب را افزایش می‌دهد. بیش‌ترین وزن‌های به‌دست‌آمده مربوط به معیارهای TWI و SPI مربوط به طبقه‌ها ی بزرگ‌تر از ۱۶ (۰/۴۳۲) و کمتر از ۲۰۰ (۰/۳۹۰) می‌باشد. شاخص رطوبت توپوگرافی یک خصوصیت توپوگرافی ثانویه است که توزیع مکانی از شرایط رطوبت را نشان می‌دهد که زیاد بودن این عامل، باعث حجم زیاد سیلاب می‌شود. در معیار کاربری اراضی، زمین‌های بایر دارای بیش‌ترین وزن (۰/۳۵۴) بوده که دلیل این امر مستعد بودن سیلاب در مناطق با پوشش گیاهی کم‌تر می‌باشد. هم‌چنین دوره سنوزوئیک در معیار زمین‌شناسی دارای بیش‌ترین تأثیر بر وقوع سیلاب منطقه مورد مطالعه بوده است. در معیار زمین‌شناسی سازنده‌های Qft2، Kbgp، Plbk و OMas به‌ترتیب بیش‌ترین تأثیر بر وقوع سیلاب را داشته و بقیه سازنده‌ها تأثیری بر وقوع سیلاب ندارند که دلیل آن مناطق با صخره‌های مقاوم و یا مواد زیرخاک نفوذپذیر، تراکم زهکشی کم‌تری دارند و هم‌چنین به علت این‌که بیش از ۶۰ درصد از سازنده‌های منطقه مورد مطالعه از دوره سنوزوئیک می‌باشد، این عامل وزن بیش‌تری به‌خود اختصاص داده است. درنهایت پس از تعیین وزن هر عامل و کلاس‌های مربوط به آن و انتقال وزن‌ها به نقشه‌های مذکور، نقشه پتانسیل سیلاب در محیط نرم‌افزار ArcGIS و بر اساس طبقه‌بندی شکستگی‌های طبیعی (Natural Breaks) به پنج طبقه پتانسیل خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم گردید (۱،۳۴) (شکل ۴).



شکل ۴- نقشه پتانسیل سیلاب منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش AHP
Figure 4. Flood susceptibility mapping using AHP method in the study area

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.22.4]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.67]

جدول ۳- مقایسات زوجی زیرمعیارها و وزن آن‌ها

Table 3. Pair-wise comparison of sub-criteria and their weight

معیار	طبقه	(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)	وزن	نرخ ناسازگاری
درجه شیب	۰-۱۰ (۱)	۱	۲	۳	۳	۴	–	۰/۳۹	۰/۰۴
	۱۰-۲۰ (۲)	–	۱	۲	۳	۴	–	۰/۲۶۸	
	۲۰-۳۰ (۳)	–	–	۱	۲	۳	–	۰/۱۶۴	
	۳۰-۴۰ (۴)	–	–	–	۱	۳	–	۰/۱۱۷	
	بیش‌تر از ۴۰ (۵)	–	–	–	–	۱	–	۰/۰۶۲	
شکل شیب	مقعر (۱)	۱	۰/۳۳	۰/۵	–	–	–	۰/۱۵۷	۰/۰۵
	هموار (۲)	–	۱	۳	–	–	–	۰/۵۹۴	
	محدب (۳)	–	–	۱	–	–	–	۰/۲۴۹	
فاصله از رودخانه (متر)	کم‌تر از ۳۰۰ (۱)	۱	۲	۴	۵	۷	–	۰/۴۵۲	۰/۰۴
	۳۰۰-۶۰۰ (۲)	–	۱	۲	۴	۵	–	۰/۲۶۲	
	۶۰۰-۹۰۰ (۳)	–	–	۱	۳	۴	–	۰/۱۶۰	
	۹۰۰-۱۲۰۰ (۴)	–	–	–	۱	۳	–	۰/۰۸۲	
	بیش‌تر از ۱۲۰۰ (۵)	–	–	–	–	۱	–	۰/۰۴۴	
شاخص رطوبت توپوگرافی	کمتر از ۸ (۱)	۱	۰/۵	۰/۳۳	۰/۳۳	–	–	۰/۰۶۵	۰/۰۳
	۸-۱۲ (۲)	–	۱	۰/۵	۰/۳۳	–	–	۰/۰۹۵	
	۱۲-۱۶ (۳)	–	–	۱	۰/۵	–	–	۰/۱۴۰	
	بیش‌تر از ۱۶ (۴)	–	–	–	۱	–	–	۰/۲۶۸	
شاخص توان آبراهه	کم‌تر از ۲۰۰ (۱)	۱	۲	۳	۳	–	–	۰/۳۹۰	۰/۰۱
	۲۰۰-۴۰۰ (۲)	–	۱	۲	۳	–	–	۰/۲۶۸	
	۴۰۰-۶۰۰ (۳)	–	–	۱	۲	–	–	۰/۱۶۴	
	بیش‌تر از ۶۰۰ (۴)	–	–	–	۱	–	–	۰/۱۱۷	
بارش (میلی‌متر)	کم‌تر از ۳۰۴ (۱)	۱	۰/۵	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲	۰/۰۴۸	۰/۰۴
	۳۰۴-۳۴۴ (۲)	–	۱	۰/۵	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۰۷۲	
	۳۴۴-۳۷۴ (۳)	–	–	۱	۰/۵	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۱۰۵	
	۳۷۴-۴۰۵ (۴)	–	–	–	۱	۰/۵	۰/۳۳	۰/۱۶۶	
	۴۰۵-۴۴۵ (۵)	–	–	–	–	۱	۰/۵	۰/۲۳۹	
	بیش‌تر از ۴۴۵ (۶)	–	–	–	–	–	۱	۰/۳۷۱	
کاربری اراضی	بایر (۱)	۱	۲	۳	۳	۴	۵	۰/۳۵۴	۰/۰۱
	مرتع (۲)	–	۱	۲	۳	۴	۵	۰/۲۴۹	
	مناطق شهری (۳)	–	–	۱	۲	۴	۵	۰/۱۸۱	
	آب (۴)	–	–	–	۱	۲	۳	۰/۱۰۷	
	کشاورزی (۵)	–	–	–	–	۱	۲	۰/۰۶۵	
	جنگل (۶)	–	–	–	–	–	۱	۰/۰۴۵	
ارتفاع (متر)	کم‌تر از ۱۰۰۰ (۱)	۱	۲	۴	۵	۶	–	۰/۴۴۲	۰/۰۴
	۱۰۰۰-۱۴۰۰ (۲)	–	۱	۳	۴	۵	–	۰/۲۹۱	
	۱۴۰۰-۱۸۰۰ (۳)	–	–	۱	۲	۳	–	۰/۱۲۸	
	۱۸۰۰-۲۲۰۰ (۴)	–	–	–	۱	۳	–	۰/۰۹	
	بیش‌تر از ۲۲۰۰ (۵)	–	–	–	–	۱	–	۰/۰۴۹	
زمین‌شناسی	سنوزوئیک (۱)	۱	۲	۳	–	–	–	/۵۴۰	۰/۰۴
	پالئوزوئیک (۲)	–	۱	۲	–	–	–	۰/۲۹۷	
	مزوزوئیک (۳)	–	–	۱	–	–	–	۰/۱۶۳	

نتایج حاصل از روش تاپسیس

در این تحقیق از وزن‌های به‌دست‌آمده از ۹ معیار اصلی در روش AHP جهت حل تاپسیس و رتبه‌بندی گزینه‌ها استفاده گردید. پردازش داده‌ها در محیط ArcGIS انجام گردید و برای اجرای مدل تاپسیس از نرم‌افزار Matlab استفاده گردید. در ابتدا مقادیر هر یک از نه معیار را به‌دست آمد. به‌دلیل اینکه خروجی این مدل دارای ۴۰۵۷۸ سطر می‌باشد، جهت نشان دادن مقادیر مربوط به این معیارها و دیگر پارامترهای محاسبه‌شده با این روش، ۱۰ نقطه به‌طور تصادفی انتخاب می‌گردد. مقادیر اولیه این ۱۰ نقطه در جدول ۴ نشان داده شده است. در گام بعد بی‌مقیاس‌سازی بین مقادیر معیارها و ضرب این مقادیر در وزن‌های به‌دست‌آمده از روش AHP انجام گردید. مرحله بی‌مقیاس‌سازی با استفاده از روابط ۶ و ۷ انجام و نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۵ نشان داده شده است. در گام بعد با توجه به روابط ۸ و ۹، راه‌حل ایده‌آل مثبت (A^*) و راه‌حل ایده‌آل منفی (A^-) محاسبه گردید (جدول ۵). سپس با استفاده از روابط ۱۰ و ۱۱، مقادیر فاصله از راه‌حل مثبت (s_i^*) و فاصله از راه‌حل منفی (s_i^-) محاسبه شد (جدول ۶). نهایتاً با استفاده از رابطه ۱۲، نزدیکی نسبی به راه‌حل ایده‌آل (c_i^*) محاسبه و رتبه‌بندی بین گزینه‌ها انجام گردید (جدول ۶). وزن‌های به‌دست‌آمده از این روش به جدول توصیفی از لایه ترکیبی الحاق می‌گردد و نقشه پتانسیل سیلاب در محیط GIS ترسیم گردید (شکل ۵).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.22.4]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.67]

جدول ۴- مقادیر اولیه عوامل موثر بر وقوع سیل

Table 4. The primary values of effective factors on flood occurrence

شماره	فاصله از رودخانه	بارش	شاخص توان آبراهه	درجه شیب	کاربری اراضی	ارتفاع	لیتولوژی	شکل شیب	شاخص رطوبت توپوگرافی
۱	۴	۱۶	۴۴	۳۹	۲۴	۹	۵۴	۲۴	۹
۲	۴	۱۶	۴۴	۳۹	۲۴	۹	۵۴	۵۹	۹
۳	۴	۱۶	۴۴	۳۹	۲۴	۹	۵۴	۲۴	۱۴
۴	۴	۱۶	۴۴	۳۹	۲۴	۹	۵۴	۱۵	۱۴
۵	۴	۱۶	۴۴	۳۹	۲۴	۹	۵۴	۲۴	۲۶
۶	۴	۱۶	۴۴	۳۹	۲۴	۹	۵۴	۱۵	۲۶
۷	۴	۱۶	۴۴	۳۹	۲۴	۹	۵۴	۲۴	۴۳
۸	۴	۱۶	۴۴	۳۹	۲۴	۹	۵۴	۵۹	۴۳
۹	۴	۱۶	۴۴	۳۹	۲۴	۹	۵۴	۱۵	۴۳
۱۰	۴	۱۶	۴۴	۲۶	۲۴	۹	۵۴	۲۴	۹

جدول ۵– مقادیر بی‌مقیاس شده معیارها و راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی (۱۰ نقطه از ۴۰۵۷۸ نقطه)

Table 5. Values of normalization of criteria and solution of negative and positive ideal

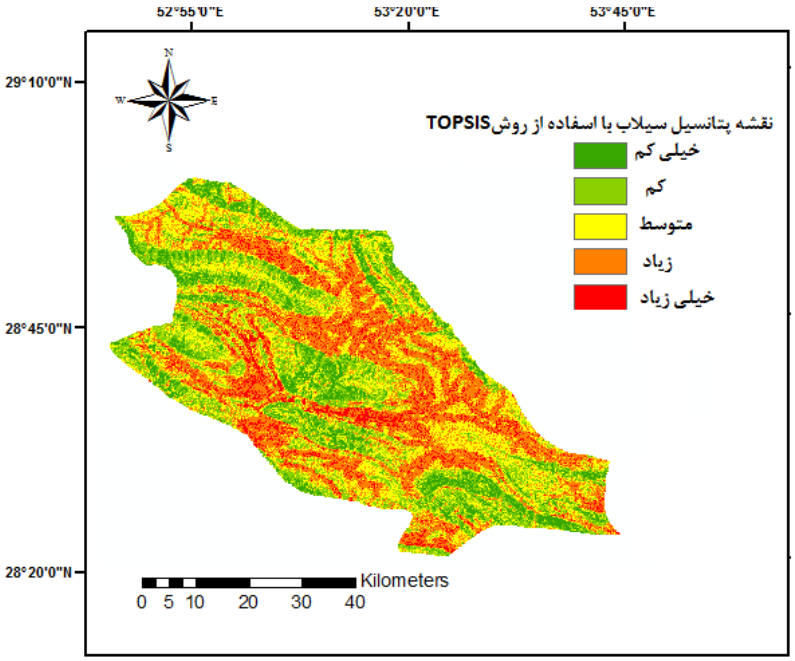
شماره	فاصله از رودخانه	بارش	شاخص توان آبراهه	درجه شیب	کاربری اراضی	ارتفاع	لیتولوژی	شکل شیب	شاخص رطوبت توپوگرافی
۱	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۴۳	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۲۱۷	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۲۸	۰/۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۶۴	۰/۰۰۰۱۹
۲	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۴۳	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۲۱۷	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۲۸	۰/۰۰۰۱۶	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۰۱۹
۳	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۴۳	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۲۱۷	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۲۸	۰/۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۶۴	۰/۰۰۰۳
۴	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۴۳	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۲۱۷	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۲۸	۰/۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۳
۵	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۴۳	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۲۱۷	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۲۸	۰/۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۶۴	۰/۰۰۰۵
۶	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۴۳	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۲۱۷	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۲۸	۰/۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۵
۷	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۴۳	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۲۱۷	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۲۸	۰/۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۶۴	۰/۰۰۰۹۴
۸	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۴۳	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۲۱۷	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۲۸	۰/۰۰۰۱۶	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۰۹۴
۹	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۴۳	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۲۱۷	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۲۸	۰/۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۹۴
۱۰	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۴۳	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۱۴۵	۰/۰۰۰۲۳	۰/۰۰۰۲۸	۰/۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۶۴	۰/۰۰۰۱۹
A^*	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۰۷۳	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۰۳۳	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۰۱۶	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۰۹۴
A^-	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۳۳	۰/۰۰۰۰۳۸	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۴۷	۰/۰۰۰۴	۰

جدول ۶- مقادیر مربوط به s_i^*، s_i^- و c_i^* (۱۰ نقطه از ۴۰۵۷۸ نقطه)

Table 6. Related values of s_i^* ،s_i^- and c_i^*

شماره	s_i^*	s_i^-	c_i^*
۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱۹۲	۰/۴۸۷
۲	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۲۲۴	۰/۵۵۶
۳	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۱۹۳	۰/۴۹۴
۴	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۱۹۲	۰/۴۷۷
۵	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۱۹۹	۰/۵۱۰
۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱۹۷	۰/۴۹۲
۷	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۲۱۳	۰/۵۳۱
۸	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۲۴	۰/۵۹۸
۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲۱	۰/۵۱۳
۱۰	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۱۲	۰/۳۶۷

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.22.4]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.67]

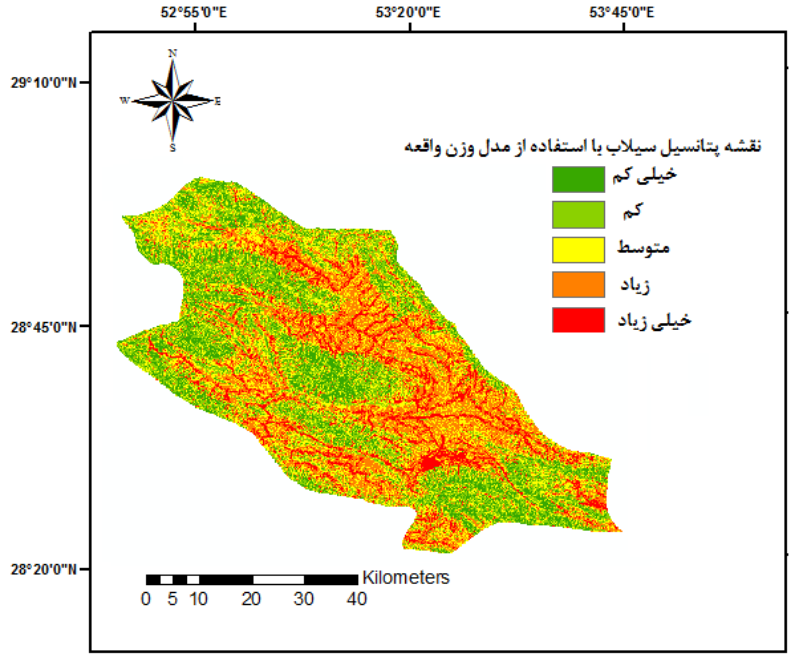


شکل ۵- نقشه پتانسیل سیلاب منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش تاپسیس
Figure 5. Flood susceptibility mapping using TOPSIS method in the study area

نتایج حاصل از روش وزن واقعه

اساس روش وزن واقعه، برآورد مقادیر w^+ و w^- می‌باشد که مقدار وزن C توسط این دو پارامتر تعیین می‌شود. همبستگی مثبت بین کلاس‌های هر فاکتور و سیلاب با مقادیر مثبت C و همبستگی منفی با مقادیر منفی نشان داده شده می‌شود. بر اساس مقادیر وزن نهایی (W_{final}) و جدول ۷ برای عامل درجه شیب، بیش‌ترین مقدار مربوط به طبقه‌های شیب ۱۰-۰ درجه (مقدار۳/۱۲۳) و ۴۰-۳۰ درجه با مقدار ۰/۱۱۵ است که این دو طبقه دارای تأثیر مثبتی بر وقوع سیلاب می‌باشند و بقیه طبقه‌ها دارای مقادیر منفی و تأثیر منفی بر رخداد سیلاب هستند. برای معیار یا فاصله از رودخانه، بیش‌ترین مقدار مربوط به طبقه ۳۰۰-۰ متر (مقدار ۳/۵۳۲) بوده و بقیه‌ی طبقات فاصله از رودخانه دارای تأثیری منفی بر رخداد سیلاب هستند. نتایج مربوط به عامل بارش نشان داده که طبقه ۳۴۴-۳۰۴ میلی‌متر با مقدار ۱/۴، بیش‌ترین مقدار را به‌خود اختصاص داده است و پس از آن طبقه ۳۷۴-۳۴۴ میلی‌متر با مقدار ۰/۷۶۷ قرار دارد. نتایج معیار کاربری اراضی نشان داده که بیش‌ترین وزن مربوط به کاربری شهری و پس از آن پهنه‌های آبی با مقادیر ۷/۹۱ و ۵/۵۰۸ می‌باشد. بقیه طبقه‌های مربوط به کاربری اراضی تأثیر منفی بر وقوع سیلاب داشتند. در مورد عامل ارتفاع طبقه‌های، ۱۴۰۰-۱۰۰۰ و ۱۰۰۰-۰ متر به‌ترتیب با مقادیر ۲/۳۷۶ و ۰/۹۹۱ دارای بیش‌ترین تأثیر بر سیلاب و بقیه طبقه‌ها دارای مقادیر منفی و تأثیر منفی هستند. در عامل سنگ‌شناسی، طبقه سنوزوئیک با مقدار ۳/۰۸۱ دارای بیش‌ترین تأثیر بر وقوع سیلاب می‌باشد. در عامل شکل شیب نیز بیش‌ترین وزن مدل مربوط به طبقه مقعر با مقدار ۱/۶۸۶ و پس از آن طبقه هموار با مقدار ۰/۶۳۴ می‌باشد و طبقه محدب دارای مقدار منفی می‌باشد. با توجه به معیار شاخص توان آبراهه، طبقه بیشتر از ۶۰۰ دارای بیش‌ترین مقدار (۹/۱۰۴) و پس از آن کلاس ۶۰۰-۴۰۰ با مقدار ۶/۱۱۶ می‌باشد. در معیار شاخص رطوبت توپوگرافی، بیش‌ترین مقدار مربوط به طبقه ۱۶-۱۲ با مقدار ۲/۴۵۲ می‌باشد. نهایتاً نقشه پتانسیل سیلاب حاصل از روش وزن واقعه در شکل ۶ ارائه شده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.22.4]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.67]



شکل ۶- نقشه پتانسیل سیلاب منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش وزن واقعه
Figure 6. Flood susceptibility mapping using WOE method in the study area

جدول ۷- رابطه مکانی بین معیارهای تأثیرگذار و محل وقوع سیلاب
Table 7. Spatial relationship between effective factors and flood occurrence

معیار	طبقه	تعداد پیکسل	تعداد سیل	W^+	W^-	C	S^2W^+	S^2W^-	S(C)	W_{final}
درجه شیب	۰–۱۰	۳۶۳۵۱۶	۳۰	۰/۴۰۷۵۲	−۱/۱۰۱۳	۱/۵۰۸	۰/۰۳۳۳	۰/۲	۰/۴۸۳	۳/۱۲۳
	۱۰–۲۰	۱۵۰۵۳۵	۳	−۱/۰۱۳۴	۰/۱۷۹	−۱/۱۹۳	۰/۳۳۳	۰/۰۳۱	۰/۶۰۳	−۱/۹۷۶
	۲۰–۳۰	۷۷۸۷۳۹	۰	–	۰/۱۳	–	–	۰/۰۲۸	–	–
	۳۰–۴۰	۳۳۶۳۲۵	۲	۰/۰۷۹۸	−۰/۰۰۴۶	۰/۰۸۴۴	۰/۵	۰/۰۳	۰/۷۲۸	۰/۱۱۵
	بیشتر از ۴۰	۱۱۹۰۳۰	۰	–	۰/۰۱۸۸	–	–	۰/۰۲۸۵	–	–
شکل شیب	مقعر	۲۷۳۰۷۳	۲۰	۰/۲۸۸	−۰/۲۸۸	۰/۵۷۶	۰/۰۵	۰/۰۶۶	۰/۳۴۱	۱/۶۸۶
	هموار	۱۰۲۳۱۶	۷	۰/۲۱۹	−۰/۰۴۸	۰/۲۶۸	۰/۱۴۲	۰/۰۳۵	۰/۴۲۲	۰/۶۳۴
	محدب	۲۶۲۰۷۱	۸	−۰/۵۸۷	۰/۲۷	−۰/۸۵۷	۰/۱۲۵	۰/۰۳۷	۰/۴۰۲	−۲/۱۲۹
فاصله از رودخانه (متر)	کمتر از ۳۰۰	۱۵۵۰۹۱	۱۸	۰/۷۵	۰/۴۴۴	۱/۱۹۴	۰/۰۵۵۵	۰/۰۵۸	۰/۳۳	۳/۵۳۲
	۳۰۰–۶۰۰	۱۲۹۳۸۸	۵	−۰/۳۴۸	۰/۰۷۲۱	−۰/۴۲۱	۰/۲	۰/۰۳۳	۰/۴۸۳	−۰/۸۷۱
	۶۰۰–۹۰۰	۱۰۱۷۸۶	۵	−۰/۱۰۹	۰/۰۱۹۳	−۰/۱۲۸	۰/۲	۰/۰۳۳	۰/۴۸۳	−۰/۲۶۵
	۹۰۰–۱۲۰۰	۷۵۳۲۲۶	۱	−۱/۴۱۷	۰/۰۹۶۴	−۱/۵۱۳	۱/۰۰۰۱	۰/۰۲۹	۱/۰۱۴۶	−۱/۴۹۲
	بیش‌تر از ۱۲۰۰	۱۷۷۳۱۸	۶	−۰/۴۸۱	۰/۱۳۷	−۰/۶۱۸	۰/۱۶۶	۰/۰۳۴	۰/۴۴۸	−۱/۳۷۹
ارتفاع (متر)	کمتر از ۱۰۰۰	۴۵۱۳۶۸	۴	۰/۴۷۸	−۰/۰۴۷۹	۰/۵۲۶	۰/۲۵	۰/۰۳۲۲	۰/۵۳۱	۰/۹۹۱
	۱۰۰۰–۱۴۰۰	۳۰۵۱۹۷	۲۴	۰/۳۵۹	−۰/۵	۰/۸۶۵	۰/۰۴۱	۰/۰۹۰۹	۰/۳۶۴	۲/۳۷۶
	۱۴۰۰–۱۸۰۰	۱۷۰۸۰۱	۶	−۰/۴۴۶	۰/۱۲۳	−۰/۵۷۰	۰/۱۶۶	۰/۰۳۴۴	۰/۴۴۸	−۱/۲۷۱
	۱۸۰۰–۲۲۰۰	۷۶۰۹۸۶	۰	–	۰/۱۲۷	–	–	۰/۰۲۸۵	–	–
	بیش‌تر از ۲۲۰۰	۴۰۲۲۶۰	۱	−۰/۷۹۲	۰/۰۳۶۱	−۰/۸۲۸	۱/۰۰۲	۰/۰۲۹۴	۱/۰۱۴	−۰/۸۱۶
شاخص رطوبت توپوگرافی	کمتر از ۸	۱۵۰۲۱۹	۱	−۲/۱۰۹	۰/۲۳۹	−۲/۳۴۹	۱/۰۰۰۱	۰/۰۲۹۴	۱/۰۱۴۶	۲/۳۱۵
	۸–۱۲	۳۹۸۷۷۷	۲۴	۰/۰۹۱۷	−۰/۱۷۵	۰/۲۶۶	۰/۰۴۱۶	۰/۰۹۰۹	۰/۳۶۴	۰/۷۳۳
	۱۲–۱۶	۸۷۸۳۱۲	۱۰	۰/۷۲۹	−۰/۱۸۸	۰/۹۱۷	۰/۱	۰/۰۴	۰/۳۷۴	۲/۴۵۲
	بیش‌تر از ۱۶	۶۳۳۳	۰	–	۰/۰۰۰۹	–	–	۰/۰۲۸۵	–	–
بارش (میلی‌متر)	کمتر از ۳۰۴	۲۱۸۶۰۴	۱۴	۰/۱۵۶	−۰/۰۹۲	۰/۲۴۸	۰/۰۷۱۴	۰/۰۴۷۶	۰/۳۴۵	۰/۷۱۹
	۳۰۴–۳۴۴	۱۳۷۵۸۸	۱۱	۰/۳۷۸	−۰/۱۳۴	۰/۵۱۲	۰/۰۹	۰/۰۴۱۶	۰/۳۶۴	۱/۴
	۳۴۴–۳۷۴	۶۵۹۰۲۸	۵	۰/۳۲۵	−۰/۰۴۵	۰/۳۷	۰/۲	۰/۰۳۳۳	۰/۴۸۳	۰/۷۶۷
	۳۷۴–۴۰۵	۱۸۲۹۹۲	۵	−۰/۶۹۵	۰/۱۸۳	−۰/۸۷۸	۰/۲	۰/۰۳۳۳	۰/۴۸۳	−۱/۸۱
	۴۰۵–۴۴۵	۲۴۲۲۴۸	۰	–	۰/۰۳۸۶	–	–	۰/۰۲۸۵	–	–
	بیش‌تر از ۴۴۵	۹۵۸۹۰	۰	–	۰/۰۱۵۱	–	–	۰/۰۲۸۵	–	–

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.22.4]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.67]

ادامه جدول۷- رابطه مکانی بین معیارهای تأثیرگذار و محل وقوع سیلاب

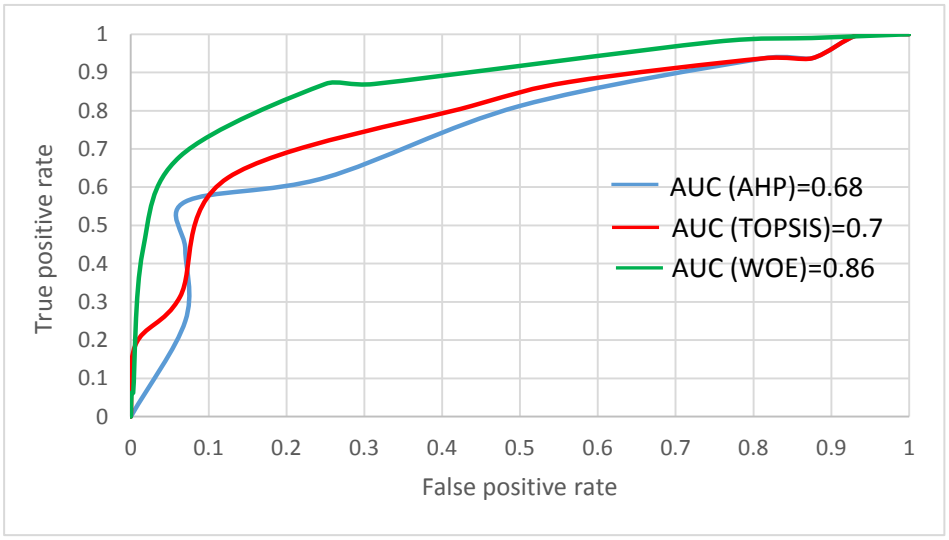
Table 7 (Continued). Spatial relationship between effective factors and flood occurrence

معیار	طبقه	تعداد پیکسل	تعداد سیل	W^+	W^-	C	S^2W^+	S^2W^-	S(C)	W_{final}
کاربری اراضی	بایر	۴۰۴۳۶	۰	–	۰/۰۰۶۳	–	–	۰./۰۲۸۵	–	–
	مرتع	۳۶۷۳۲۱	۱۷	-۰/۱۷	۰/۱۹۳	-۰/۳۶۴	۰/۰۵۸۸	۰/۰۵۵۵	۰/۳۳۸	-۱/۰۷۸
	مناطق شهری	۳۷۷۳۷	۶	۳/۳۶۵	-۰/۱۸۲	۳/۵۴۸	۰/۱۶۶	۰/۰۳۴۴	۰/۴۴۸	۷/۹۱
	آب	۴۳۷۶۸	۵	۲/۸۱۲	-۰/۱۱۴	۲/۹۲۶	۰/۲۵	۰/۰۳۲	۰/۵۳۱	۵/۵۰۸
	کشاورزی	۱۱۸۴۲۰	۴	-۰/۲۶۲	۰/۰۵۱۳	-۰/۳۱۴	۰/۲	۰/۰۳۳	۰/۴۸۳	-۰/۶۵
	جنگل	۱۳۹۴۸۱	۳	-۰/۹۳۷	۰/۱۵۷	-۱/۰۹۴	۰/۳۳۳	۰/۰۳۱۲	۰/۶۰۳	-۱/۸۱۲
لیتولوژی	سنوزوئیک	۵۹۷۱۳۰	۳۴	۰/۴۸۶	-۲/۶۴	۳/۱۲۶	۰/۰۲۹۴	۱/۰۰۰۰۰۲	۱/۰۱۴	۳/۰۸۱
	مزوزوئیک	۳۹۷۷۴۶	۱	-۲/۶۳	۰/۴۷۸	-۳/۱۰۸	۱/۰۰۰۰۰۲	۰/۰۲۹۴	۱/۰۱۴۵	-۳/۰۶۳۵
	پالئوزوئیک	۵۱۲۷	۰	–	۰/۰۰۰۵۱	–	–	۰/۰۲۸۵	–	–
شاخص توان آبراهه	کمتر از ۲۰۰	۵۲۹۰۷۹	۲۳	-۰/۲۳۳	۱/۵۸۵	-۱/۸۱۸	۰/۰۴۳۴	۰/۰۸۳۳	۰/۳۵۶	-۵/۱۰۷
	۲۰۰-۴۰۰	۴۵۲۱۶۴	۲	-۰/۲۱۶	-۲/۵۷۲	۲/۳۵۶	۰/۵	۰/۰۳۰۳	۰/۷۲۸	۳/۲۳۵
	۴۰۰-۶۰۰	۱۶۲۲۴۷	۲	۰/۸۰۸	-۳/۶۴۵	۴/۴۵۳	۰/۵	۰/۰۳۰۳	۰/۷۲۸	۶/۱۱۶
	بیش‌تر از ۶۰۰	۴۶۹۴۰۸	۸	۱/۱۳۲	-۲/۵۳۲	۳/۶۶۴	۰/۱۲۵	۰/۰۳۷	۰/۴۰۲	۹/۱۰۴

ارزیابی نتایج

پس از تهیه‌ی نقشه‌ی نهایی پتانسیل سیلاب با استفاده از روش‌های ارائه‌شده، نقشه نهایی به پنج کلاس پتانسیل خیلی‌کم تا خیلی‌زیاد تقسیم گردید. جهت ارزیابی نقشه‌های تهیه‌شده و دقت آن‌ها نمی‌توان از نقشه پراکنش سیل در منطقه مورد مطالعه استفاده کرد (۳۵). جهت رفع این مشکل، تعدادی از محل وقوع سیلاب‌ها در منطقه مورد مطالعه جهت مدل‌سازی و بخشی از آن نیز برای ارزیابی مدل مذکور (به‌ترتیب ۷۰ درصد و ۳۰ درصد) مورد استفاده قرار گرفت (۳۷). آنگاه با استفاده از منحنی تشخیص عملکرد نسبی صحت نقشه‌های تهیه‌شده مورد تأیید قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق نشان‌دهنده‌ی دقت ۶۸ درصد برای مدل AHP، دقت ۷۰ درصد برای مدل تاپسیس و ۸۶ درصد برای مدل وزن واقعه است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و نتایج حاصل از تحقیقات (۲۲)، مدل‌های آماری در تهیه نقشه پتانسیل بلایای طبیعی، دقت بیش‌تری را نسبت به روش‌های تصمیم‌گیری به‌خود اختصاص داده‌اند. دقت کمتر روش‌های تصمیم‌گیری نسبت به روش‌های آماری را می‌توان ناشی از عدم دقت کارشناسان در وزن‌دهی معیارهای تأثیرگذار یا عدم شناخت کافی از منطقه مورد مطالعه دانست. مدل تاپسیس به دلیل اینکه در رتبه‌بندی مقادیر، از وزن‌های روش AHP استفاده می‌کند، دقت این مدل را بهبود داده است. نمودار ROC مربوط به مدل AHP، تاپسیس و مدل وزن واقعه در شکل ۷ نشان داده شده است. نتایج بررسی عامل درجه شیب نشان می‌دهد که بیش‌ترین وقوع سیلاب در طبقه ۱۰-۰ اتفاق افتاده است و این طبقه بیشترین وزن را به‌خود اختصاص می‌دهد که با نظرات رحمتی و همکاران (۴۰) و خسروی و همکاران (۲۲) مطابقت دارد. بررسی فاصله از رودخانه نشان می‌دهد که بیش‌ترین وقوع سیلاب در فواصل کمتر از ۳۰۰ متر بوده که دلیل آن تأثیر فواصل نزدیک به رودخانه بر گستره و اندازه سیلاب است. بررسی عامل ارتفاع نشان می‌دهد که بیش‌ترین وقوع سیلاب در طبقه ۱۴۰۰-۱۰۰۰ متر بوده که دلیل آن جاری شدن سیلاب در مناطق با ارتفاع کمتر می‌باشد. بررسی عامل شاخص رطوبت توپوگرافی نشان می‌دهد که بیش‌ترین تأثیر بر سیلاب طبقه ۱۶-۱۲ دارد. بررسی عامل کاربری اراضی نشان می‌دهد که بیش‌ترین تأثیر بر سیلاب مربوط به مناطق شهری بوده که دلیل آن ساخته‌شدن ساختمان‌ها یا سطوح تأثیرناپذیر در برابر سیلاب در این مناطق می‌باشد. بررسی عامل لیتولوژِی نشان می‌دهد که طبقه سنوزوئیک بیش‌ترین تأثیر بر وقوع سیلاب در منطقه مورد مطالعه دارد که دلیل این امر نوع سازنده‌های مربوط به منطقه مورد مطالعه است که بیش‌ترین سازنده‌ها مربوط به این دوره می‌باشد. بررسی عامل شاخص توان آبراهه نشان می‌دهد که بیشترین تأثیر سیلاب مربوط به طبقه بیشتر از ۶۰۰ بوده که دلیل آن افزایش سرعت سطحی جریان در مقادیر بیش‌تر این شاخص می‌باشد. بررسی عامل‌های شکل شیب و بارش نشان می‌دهد که بیش‌ترین تأثیر بر سیلاب مربوط به طبقات مقعر و ۳۴۴-۳۰۴ میلی‌متر می‌باشد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.22.4]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.67]



شکل ۷- نمودار ROC روش‌های AHP، تاپسیس و وزن واقعه
Figure 7. ROC curve of AHP, TOPSIS, and WOE methods

سیلاب یکی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی در سرتاسر دنیا است. بنابراین تهیه نقشه پتانسیل سیلاب برای مدیریت یکپارچه حوزه‌های آبخیز به‌منظور توسعه پایدار امری ضروری است. نیاز به داشتن یک روش دقیق برای شناسایی مناطق مستعد سیلاب، باعث شده است که در این تحقیق چند مدل استفاده و نتایج آن‌ها به‌منظور انتخاب بهترین مدل منطقه‌ای مقایسه گردد. در این تحقیق تهیه نقشه پتانسیل سیلاب با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری AHP و تاپسیس و هم‌چنین مدل آماری وزن واقعه انجام گردید. در ابتدا نقشه پراکنش سیلاب شامل ۵۳ محل وقوع سیلاب در شهرستان جهرم، استان فارس آماده گردید. سپس ۹ معیار تأثیرگذار بر سیلاب‌ها شامل درجه شیب، شکل شیب، ارتفاع، شاخص توان آبراهه، شاخص رطوبت توپوگرافی، فاصله از رودخانه، کاربری اراضی، لیتولوژی و بارندگی مشخص و در محیط GIS آماده گردید. در ادامه با استفاده از نظرات کارشناسان، وزن‌دهی روش‌های تصمیم‌گیری AHP و تاپسیس انجام گردید و نقشه نهایی این دو روش در محیط ArcGIS ترسیم شد. هم‌چنین با استفاده از محل وقوع سیلاب‌ها و معیارهای تأثیرگذار بر سیلاب، وزن‌های نهایی مدل وزنی شاهد به‌دست‌آمده و نقشه آن در نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید. جهت انجام ارزیابی مدل‌های ذکرشده از منحنی تشخیص عملکرد نسبی و سطح زیر منحنی استفاده شد. بدین منظور از ۵۱ محل وقوع سیلاب، ۳۵ محل (۷۰درصد) به‌عنوان داده‌های آموزشی جهت مدل‌سازی و ۱۶ محل (۳۰درصد) جهت ارزیابی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده از روش AHP و تاپسیس نشان‌دهنده‌ی دقت ۶۸ و ۷۰ درصد به‌ترتیب برای این دو مدل می‌باشد. نتایج حاصل از این دو روش نشان‌دهنده‌ی دقت تقریباً یکسان این دو روش جهت تهیه نقشه پتانسیل سیلاب می‌باشد. هم‌چنین روش تاپسیس به دلیل اینکه از وزن‌های به‌دست‌آمده از روش AHP استفاده می‌کند، نتایج حاصل از این روش را بهبود داده و دقت کمی بیش‌تر را به‌خود اختصاص داد. از طرف دیگر نتایج حاصل از روش WOE نشان‌دهنده‌ی دقت ۸۶ درصدی برای مدل مذکور می‌باشد. نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق حاضر می‌تواند کمک شایان‌توجهی به دولت، برنامه‌ریزان و مهندسین در پیشگیری و کاهش وقوع سیلاب نماید. هم‌چنین می‌توان از روش‌های تصمیم‌گیری دیگر و ترکیب آن‌ها با مدل‌های آماری جهت انتخاب بهترین روش و افزایش دقت فرآیند مدل‌سازی برای تهیه نقشه پتانسیل سیلاب استفاده کرد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.22.4]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.67]

منابع

1. Akgün, A. and F. Bulut. 2007. GIS-based landslide susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) region. Environmental Geology, 51(8): 1377-1387.
2. Alvarado-Aguilar, D., J.A. Jime´nez and R.J. Nicholls. 2012. Flood hazard and damage assessment in the Ebro Delta (NW Mediterranean) to relative sea level rise. Nat Hazards 62: 1301-1321.
3. Billa, L., M. Shattri, A.R. Mahmud and A.H.Ghazali. 2006. Comprehensive planning and the role of SDSS in flood disaster management in Malaysia. Disaster Prevent Managment 15: 233-240.
4. Bonham-Carter, G. 1991. Integration of geoscientific data using GIS. Geographic information systems: principle and applications. Longdom, London, 171-184.
5. Bonham-Carter, G.F. 1994. Geographic Information Systems for geoscientists-modeling with GIS. Computer methods in the geoscientists, 13, 398.
6. Bubeck, P., W.J. Botzen and J.C. Aerts. 2012. A review of risk perceptions and other factors that influence flood mitigation behavior. Risk Analysis, 32(9): 1481-1495.
7. Chau, K., Wu, C., and Li, Y. 2005. Comparison of several flood forecasting models in Yangtze River. Journal of Hydrologic Engineering, 10(6): 485-491.
8. Chen, Y.R., C.H. Yeh and B. Yu. 2011. Integrated application of the analytic hierarchy process and the geographic information system for flood risk assessment and flood plain management in Taiwan. Natural Hazards, 59(3): 1261-1276.
9. Cheng, S., C.W. Chan and G.H. Huang. 2002. Using multiple criteria decision analysis for supporting decisions of Solid Waste Management Journal of Environmental Science and Health, Part A, 37(6): 975-990.
10. Cloke, H. and F. Pappenberger. 2009. Ensemble flood forecasting: a review. Journal of Hydrology, 375(3): 613-626.
11. Darabi, H., K. Shahedi and M. Mardian. 2016. Mapping possibility hazard and sensivity flood using frequency ratio in the watershed poul doab shazand. Journal of Watershed Engineering and Management, 8(1): 68-79 (In Persian).
12. Dang, N.M., M.S. Babel and H.T. Luong. 2011. Evaluation of food risk parameters in the day river flood diversion area, Red River delta, Vietnam. Natural Hazards, 56(1): 169-194.
13. Dawson, C.W., R.J. Abrahart, A.Y. Shamseldin and R.L. Wilby. 2006. Flood estimation at ungauged sites using artificial neural networks Journal of Hydrology, 319(1): 391-409.
14. Dong, S. 2016. Comparisons between different multi-criteria decision analysis techniques for disease susceptibility mapping. Student Thesis Series INES.
15. Fernandez, D. and M. Lutz. 2010. Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. Engineering Geology, 111(1): 90-98.
16. Hu, Z. and C. Lo. 2007. Modeling urban growth in Atlanta using logistic regression. Computers, Environment and Urban Systems, 31(6): 667-688.
17. Huang, X., H. Tan, J. Zhou, T. Yang, A. Benjamin, S.W. Wen and S. Fen. 2008. Flood hazard in Hunan province of China: an economic loss analysis. Natural Hazards, 47(1): 65-73.
18. Hwang, C. and K. Yoon. 1981. Multiple attribute decision making, in lecture notes in economics and mathematical systems 186: Springer-Verlag, Berlin.
19. Hwang, C.L. and M.J. Lin. 2012. Group decision making under multiple criteria: methods and applications (Vol. 281): Springer Science and Business Media.
20. Jaafari, A., A. Najafi, H. Pourghasemi, J. Rezaeian and A. Sattarian. 2014. GIS-based frequency ratio and index of entropy models for landslide susceptibility assessment in the Caspian forest, northern Iran. International Journal of Environmental Science and Technology, 11(4): 909-926.
21. Kazakis, N., I. Kougias and T. Patsialis. 2015. Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and Analytical Hierarchy Process: Application in Rhodope–Evros region, Greece. Science of the Total Environment, 538: 555-563.
22. Khosravi, K., E. Nohani, E. Maroufinia and H.R. Pourghasemi. 2016. A GIS-based flood susceptibility assessment and its mapping in Iran: a comparison between frequency ratio and weights-of-evidence bivariate statistical models with multi-criteria decision-making technique. Natural Hazards, 1-41.
23. Kia, M.B., S. Pirasteh, B. Pradhan, A.R. Mahmud, W.N.A. Sulaiman and A. Moradi. 2012. An artificial neural network model for flood simulation using GIS: Johor River Basin, Malaysia. Environmental earth sciences, 67(1): 251-264.
24. Lee, M.J., J.E. Kang and S. Jeon. 2012. Application of frequency ratio model and validation for predictive flooded area susceptibility mapping using GIS. Paper presented at the 2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium.
25. Liu, J., J. Li, J. Liu and R. Cao. 2008. Integrated GIS/AHP-based flood risk assessment: a case study of Huaihe River Basin in China. J Nat Disasters, 17(6): 110-114.
26. Malczewski, J. 2006. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. International Journal of Geographical Information Science, 20(7): 703-726.
27. Miller, J. R. 1990. Morphometric assessment of lithologic controls on drainage basin evolution in the crawford upland, south-central indiana jerry r. miller, dale f. ritter,* and r. craig kochel American Journal of Science, 290, 569-599.
28. Mohammady, M., H.R. Pourghasemi and B. Pradhan. 2012. Landslide susceptibility mapping at Golestan Province, Iran: a comparison between frequency ratio, Dempster–Shafer and weights-of-evidence models. Journal of Asian Earth Sciences, 6: 221-236.
29. Moore, I.D., R. Grayson and A. Ladson. 1991. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications. Hydrological processes 5(1): 3-30.
30. Mukerji, A., C. Chatterjee and N.S. Raghuwanshi. 2009. Flood forecasting using ANN, neuro-fuzzy, and neuro-GA models Journal of Hydrologic Engineering, 14(6): 647-652.
31. Nampak, H., B. Pradhan and M.A. Manap. 2014. Application of GIS based data driven evidential belief function model to predict groundwater potential zonation. Journal of Hydrology, 513: 283-300.
32. Norouzi, G. and M. Taslimi. 2012. The impact of flood damages on production of Iran's Agricultural Sector. Middle East Journal of Scientific Research, 12: 921-926.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.22.4]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.67]

33. Paquette, J. and J. Lowry. 2013. Flood hazard modelling and risk assessment in the Nadi River Basin, Fiji, using GIS and MCDA. The South Pacific Journal of Natural and Applied Sciences, 30(1): 33-43.
34. Poli, S., and Sterlacchini, S. 2007. Landslide representation strategies in susceptibility studies using weights-of-evidence modeling technique. Natural Resources Research, 16(2): 121-134.
35. Pourghasemi, H.R., B. Pradhan and C. Gokceoglu. 2012. Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran Natural Hazards, 63(2): 965-996.
36. Pourghasemi, H., H. Moradi and S.F. Aghda. 2013. Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances Natural Hazards, 69(1): 749-779.
37. Pourghasemi, H., H. Moradi and S.F. Aghda. 2013. Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances, Natural Hazards, 69(1): 749-779.
38. Pourtaghi, Z.S. and H.R. Pourghasemi. 2014. GIS-based groundwater spring potential assessment and mapping in the Birjand Township, southern Khorasan Province, Iran. Hydrogeology Journal, 22(3): 643-662.
39. Pradhan, B. and A. Youssef. 2011. A 100-year maximum flood susceptibility mapping using integrated hydrological and hydrodynamic models: Kelantan River Corridor, Malaysia. Journal of Flood Risk Management, 4(3): 189-202.
40. Rahmati, O., H.R. Pourghasemi and H. Zeinivand. 2016. Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golastan Province, Iran. Geocarto International, 31(1): 42-70.
41. Regmi, A.D., K.C. Devkota, K.Yoshida, B. Pradhan, H.R. Pourghasemi, T. Kumamotoand A. Akgun. 2014. Application of frequency ratio, statistical index, and weights-of-evidence models and their comparison in landslide susceptibility mapping in Central Nepal Himalaya. Arabian Journal of Geosciences, 7(2): 725-742.
42. Saaty, T.L. 1980. The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation: McGraw-Hill, New York London.
43. Saaty, T.L. 1990. How to make a decision: the analytic hierarchy process. European journal of operational research, 48(1): 9-26.
44. Sattari, M.H., M. Pouraza and R. Mirabassi NajafAbadi, 2016. Forecasting floods hourly river aharchai using of machine learning techniques Journal of Watershed Engineering and Management, 8(1): 115-127 (In Persian).
45. Scheuer, S., D. Haase and V. Meyer. 2011. Exploring multicriteria flood vulnerability by integrating economic, social and ecological dimensions of flood risk and coping capacity: from a starting point view towards an end point view of vulnerability. Natural Hazards, 58(2): 731-751.
46. Şener, Ş., E. Sener and R. Karagüzel. 2011. Solid waste disposal site selection with GIS and AHP methodology: a case study in Senirkent–Uluborlu (Isparta) Basin, Turkey. Environmental monitoring and assessment, 173(1-4): 533-554.
47. Solín, Ľ. 2012. Spatial variability in the flood vulnerability of urban areas in the headwater basins of Slovakia. Journal of Flood Risk Management, 5(4): 303-320.
48. Srivastava, O. S., D. Denis, S.K. Srivastava, M. Kumar and N. Kumar. 2014. Morphometric analysis of a Semi Urban Watershed, trans Yamuna, draining at Allahabad using Cartosat (DEM) data and GIS International Journal of Engineering Science, 3: 71-79.
49. Tehrany, M.S., M.J., Lee, B. Pradhan, M. N. Jebur and S. Lee. 2014. Flood susceptibility mapping using integrated bivariate and multivariate statistical models. Environmental earth sciences, 72(10): 4001-4015.
50. Tehrany, M.S., B. Pradhan and M.N. Jebur. 2013. Spatial prediction of flood susceptible areas using rule based decision tree (DT) and a novel ensemble bivariate and multivariate statistical models in GIS, Journal of Hydrology, 504: 69-79.
51. Tehrany, M.S., B. Pradhan and M.N. Jebur. 2015. Flood susceptibility analysis and its verification using a novel ensemble support vector machine and frequency ratio method. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 29(4): 1149-1165.
52. Tierney, K.J., M.K. Lindell and R.W. Perry. 2001. Facing the unexpected: Disaster preparedness and response in the United States: Joseph Henry Press.
53. Van Westen, C., N. Rengers and R. Soeters. 2003. Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment Natural Hazards, 30(3): 399-419.
54. Wu, S.J., H.C. Lien and C.H. Chang. 2010. Modeling risk analysis for forecasting peak discharge during flooding prevention and warning operation. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 24(8): 1175-1191.
55. Xu, C., X. Xu, F. Dai, J. Xiao, X. Tan and R.Yuan. 2012. Landslide hazard mapping using GIS and weight of evidence model in Qingshui river watershed of 2008 Wenchuan earthquake struck region. Journal of Earth Science, 23: 97-120.
56. Ying, X., G.M. Zeng, G.Q. Chen, L. Tang, K.L. Wang and D.Y. Huang. 2007. Combining AHP with GIS in synthetic evaluation of eco-environment quality—a case study of Hunan Province, China. Ecological modelling, 209(2): 97-109.
57. Youssef, A.M., B. Pradhan, H.R. Pourghasemi and S. Abdullahi. 2015. Landslide susceptibility assessment at Wadi Jawrah Basin, Jizan region, Saudi Arabia using two bivariate models in GIS Geosciences Journal, 19(3): 449-469.
58. Zhu, C. and X. Wang. 2009. Landslide susceptibility mapping: a comparison of information and weights-of-evidence methods in Three Gorges Area. Paper presented at the Environmental Science and Information Application Technology, 2009. ESIAT 2009. International Conference on.
59. Zou, Q., J. Zhou, C. Zhou, L. Song and J. Guo. 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.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.22.4]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.67]

Flood Inundation Susceptibility Mapping using Analytical Hierarchy Process (AHP) and TOPSIS Decision Making Methods and Weight of Evidence Statistical Model (Case Study: Jahrom Township, Fars Province)

Seyed Vahid Razavi Termeh[1], Hamid Reza Pourghasemi[2] and Fatemeh Alidadganfard[3]

1- M.Sc. Student of GIS, Faculty of Geodesy and Geomatics Eng, K.N.Toosi University of Technology, Tehran
2- Assistant Professor of Natural Resources and Environmental Engineering, Collage of Agriculture, Shiraz University, (Corresponding author: hr.pourghasemi@shirazu.ac.ir)
3- M.Sc. Student of GIS and RS, Faculty of Environment Sciences, University of Aban Haraz, Amol
Received: January 17, 2017 Accepted: May 29, 2017

Abstract

Floods are one of the most common natural disasters which causing financial and life losses, yearly. Therefore, to reduce the harmful effects of flood occurrence, it is necessary to prepare vulnerability maps for flood management. The aim of the present study is flood inundation mapping of Jahrom Township, Fars Province using multi-criteria decision making techniques such as AHP and TOPSIS and a statistical model namely weights-of-evidence (WOE) and comparison of their performance. A total of 53 flooding locations were identified in the study area, 35 locations were randomly assigned for modelling process and the remaining 16 locations were used for validation aims. Nine factors that affect the occurrence of flooding were considered and their maps were prepared in ArcGIS software. These factors are slope degree, plan curvature, elevation, topographic wetness index (TWI), stream power index (SPI), distance from river, land use, rainfall, and lithology. After the flood susceptibility mapping using the mentioned methods, results were evaluated using recivier operating characteristic (ROC) curve. The area under the curve (AUC) of applied models shows the accuracy of 68, 70, and 86 percent for AHP, TOPSIS, and weight of evidence statistical models, respectively. Also, results showed that statistical models have a better accuracy in comparision with MCDM models and expert approaches. The results of present study could be useful to managers, researchers, and designers for better managing the flood affected areas and to reduce its damage.

Keywords: Flood vulnerability, Analytical hierarchy process (AHP), TOPSIS methods, Weights-of-evidence model (WOE), Geographic information system (GIS)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.22.4]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.67]