



تئیه‌ی نقشه پتانسیل سیل‌گیری با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری تحلیل سلسه 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 زمین‌سازی و زمین‌آلاتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۲- استادیار بخش مهندسی منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز (نویسنده مسؤول: hr.pourghasemi@shirazu.ac.ir)
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم محیطی، دانشگاه آبان هزار، آمل
تاریخ دریافت: ۹۵/۰۱/۲۸
تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۲/۰۸

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 چهت کاهش اثرات مخرب آن امری ضروری است. بنابراین هدف از تحقیق حاضر، تئیه‌ی نقشه پتانسیل سیل‌گیری در شهرستان جهرم، استان فارس با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند-معیاره تحلیل سلسه مراتبی (AHP) و تاپسیس و مدل آماری وزن واقعه (WOE) و مقایسه‌ی دقت آن‌ها می‌باشد. درمجموع ۳۵ محل وقوع سیل در منطقه مورد مطالعه مشخص، که ۳۵ محل به طور تصادفی چهت 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 سنگ‌شناستی می‌باشد. پس از تئیه‌ی نقشه‌های پتانسیل سیل با استفاده از روش‌های مذکور، چهت ارزیابی نتایج از منحنی تشخیص عملکرد نسبی (ROC) استفاده گردید. سطح زیر منحنی (AUC) به دست آمده از منحنی تشخیص عملکرد نسبی، نشان‌دهنده دقت ۶۸٪ و ۷۰٪ درصد به ترتیب برای مدل‌های AHP، تاپسیس و مدل آماری وزن واقعه می‌باشد. نتایج به دست آمده نشان‌دهنده دقت بالای مدل‌های آماری در مقایسه با مدل‌های تصمیم‌گیری و مبنی 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 سلسه مراتبی (AHP)، روش تاپسیس، مدل وزن واقعه (WOE)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)

(۵۱). امروزه پیش‌بینی سیلاب چهت مدیریت منابع آب، کنترل فرسایش، طراحی سازه‌های هیدرولیکی و کاهش خسارات ناشی از سیل از اهمیت خاصی برخوردار است (۴۴). تئیه‌ی نقشه پتانسیل سیلاب به عنوان یک نیاز شناخته شده، اولین گام در جلوگیری و مدیریت آینده سیلاب می‌باشد (۵۴). به طور کلی تعیین مناطق مستعد خطر سیلاب با توجه به معیارهای تأثیرگذار بر سیلاب را پتانسیل سیل‌گیری می‌گویند. تحقیقات متعددی در ارتباط با تئیه‌ی نقشه پتانسیل سیلاب در کشورهای مختلف انجام پذیرفته است (۳۲، ۳۵، ۳۹). دسترسی سریع به داده‌های ماهواره‌ای سنجش از دور و بهبود روش‌های تجاری، استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)^۱ را در تئیه‌ی نقشه پتانسیل سیل‌گیری افزایش داده است. علاوه بر این، GIS یک ابزار مفید چهت بررسی رویدادهای چندبعدی مانند سیلاب است، که در آن جنبه‌های مختلف مکانی و زمانی چهت مدل‌سازی باید در نظر گرفته شود. طیف گسترده‌ای از تکنیک‌های مدل‌سازی جهت ارزیابی خطر سیلاب به کار گرفته شده است و همچنین تحقیقات زیادی بهمنظور تئیه نقشه پتانسیل سیلاب با استفاده از GIS انجام شده 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 (۵۰، ۴۰، ۲۴، ۱۱)، شبکه عصبی مصنوعی (۲۳)، فرآیند تحلیل سلسه مراتبی (۲۳)، رگرسیون لجستیک

مقدمه

در میان انواع مختلف بلایای طبیعی، سیلاب به عنوان 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 افزایش یافته 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 به نظر می‌رسد (۲، ۳، ۱۲، ۱۹) و یکی از این اقدامات تئیه نقشه پتانسیل سیل‌گیری می‌باشد (۶). مطابق با تحقیقات Taslimi و Nourozi (۳۲)، در ایران سیلاب و خسارات ناشی از آن روز به روز در حال افزایش است، به طوری که 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 بی‌ برنامه شهرنشینی، افزایش جنگل‌زدایی و ادامه بارش به عنوان یک تغییر آب و هوایی در مناطق مستعد افزایش یابد. با در نظر گرفتن اثرات منفی سیلاب، تشخیص مناطق مستعد سیلاب ضروری است

تاپسیس^۲ و مقایسه آن با مدل آماری وزن واقعه می‌باشد. تحقیقات انجام شده نشان داده که مقایسه تکنیک‌های مختلف تصمیم‌گیری نظری AHP و تاپسیس و مقایسه آن با مدل آماری بیزین (WOE) در پنهان‌بندی سیلاب برای اولین بار است که در حال اجرا می‌باشد و از نوآوری‌های تحقیق مذکور می‌باشد.

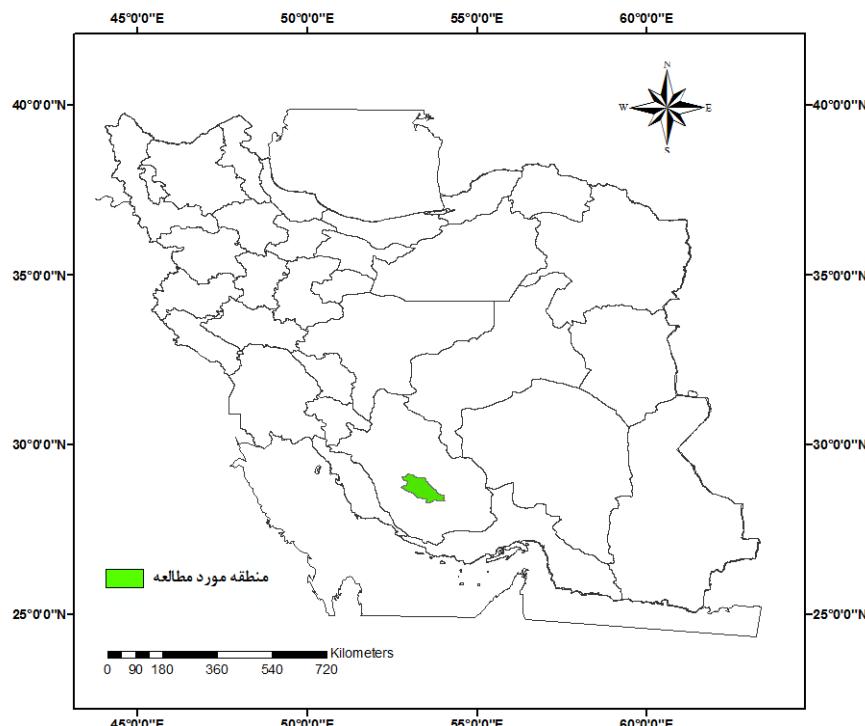
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شهرستان جهرم واقع در استان فارس می‌باشد که مساحت آن ۵۷۳۷ کیلومتر مربع 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 استقرار یافته است. ارتفاع بیشینه و کمینه منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۳۱۷۰ و ۷۵۹ متر می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

(۳۱)، منطق فازی (۵۹)، ماشین بردار پشتیبان (۵۱) و درخت تصمیم‌گیری (۵۰) می‌باشد. Zou و همکاران (۵۹) روش AHP^۱ را بیشنهاد دادند که در این روش وزن دهی 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 بهوژه سیلاب مورد استفاده قرار گرفته است (۲۱،۳۳،۴۰،۴۵،۴۷). عملکرد تصمیم‌گیری Lutz و Fernandez (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 تهیه نقشه‌های بلایای طبیعی با دقت مناسب می‌باشد. هدف از تحقیق حاضر تهیه نقشه پتانسیل سیل‌گیری شهرستان جهرم در استان فارس با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP و



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

سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۲ ثبت گردیده است که ۳۵ محل وقوع سیل (۷۰ درصد) جهت تهیه 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،

نقشه پراکنش سیلاب

به‌منظور پیش‌بینی وقوع سیلاب در یک منطقه، می‌توان از آنالیزهای مربوط به سیلاب‌هایی که در گذشته ثبت گردیده‌اند، استفاده کرد (۳۸). علاوه بر این نقشه پراکنش سیلاب به عنوان یک عامل مؤثر در پیش‌بینی وقوع سیل در نظر گرفته می‌شود. در مجموع ۵۱ محل وقوع سیل در شهرستان جهرم توسط سازمان آب منطقه‌ای استان فارس از

1- Analytic hierarchy process

2- TOPSIS

سیل‌گیری کمتری دارند (۴۸). لایه زمین‌شناسی با استفاده از نقشه ۱:۱۰۰۰۰ 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 موقعیت سیلاب در شکل ۲ نشان داده شده است.

مدل‌های مورد استفاده تحلیل سلسه مراتبی (AHP)

AHP به عنوان یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره از مقایسه دوبعدی معیارها استفاده می‌کند تا به درجه‌بندی و اولویت‌های مربوط به گزینه‌های مختلف برسد. در مدل AHP، معیارها و گزینه‌ها در یک نظام سلسه مراتبی قرارگرفته و با اختصاص وزنی در مقیاس ۱ تا ۹ به صورت 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).

تاسبیس

روش تاسبیس در سال ۱۹۸۱ توسط Hwang و Yoon ارائه گردید. مراحل انجام مدل تاسبیس به صورت 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 به دست آمده از تقاطع گزینه‌ها و شاخص‌هاست. ساختار این ماتریس به صورت رابطه ۳ ارائه شده است:

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

در گام دوم، ماتریس تصمیم با استفاده از روش‌های نرمال‌سازی، بی‌مقیاس می‌گردد. به این ترتیب هر کدام از مقادیر بر اندازه بردار مربوط به همان شاخص تقسیم می‌شود. نحوه بی‌مقیاس سازی ماتریس تصمیم بر اساس رابطه ۴ انجام می‌گردد:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}}, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

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

$$v_{ij} = w_i r_{ij}, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

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). به منظور تهیه لایه‌های اطلاعاتی از نرم‌افزارهای QGIS و ArcGIS ۲.16.1 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 به طور مستقیم از آن در نرم‌افزار ArcGIS استخراج شد. فاصله از رودخانه نیز یکی دیگر از عوامل اصلی به شمار می‌رود که تأثیر قابل توجهی بر گستره و اندازه سیلاب دارد (۴۰). فاکتورهای وابسته به آب مانند SPI و TWI نیز به طور مستقیم از مدل ارتفاعی رقومی در نرم‌افزار QGIS مطابق رابطه ۱ و ۲ محاسبه گردید (۲۰، ۲۹، ۳۱).

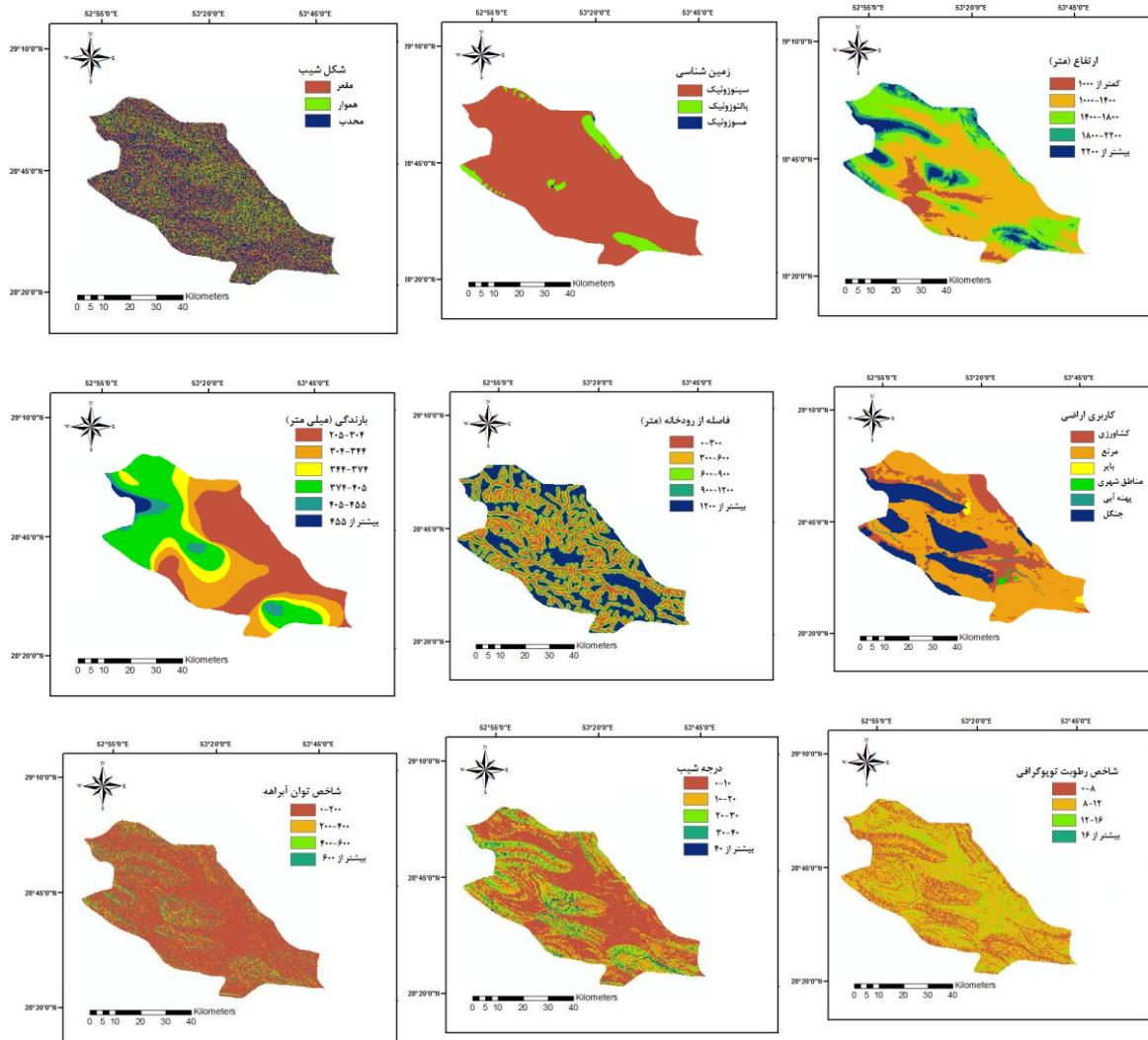
$$TWI = \ln\left(\frac{A_s}{\beta}\right) \quad (1)$$

$$SPI = A_s * \tan \beta \quad (2)$$

که در آن: A_s و β به ترتیب نشان‌دهنده مساحت یک حوضه مشخص (m^2/m) و زاویه شیب (برحسب درجه) می‌باشد. عامل TWI نشان‌دهنده مقدار جریان تجمیعی مربوط به یک نقطه از حوزه آبخیز است که تحت تأثیر نیروی گرانش تمايل به رفتن آب در نواحی با شیب کمتر دارد (۲۹). هم‌چنین شاخص SPI نشان‌دهنده می‌قرت فرسایشی رواناب سطحی است. به منظور تهیه لایه‌ی بارندگی از داده‌های ۱۰ سال گذشته ایستگاه‌های باران‌سنجی استان فارس شده و برای میان‌یابی بارندگی از روش معکوس فاصله (IDW) (۲۰، ۲۹) در محیط ArcGIS استفاده گردید. نوع کاربری اراضی نقش مهمی در فرآیند سیلاب بازی می‌کند که به طور 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 کمتر اک م بوده است. مناطق مسکونی که عمدها توسط سطوح غیرقابل نفوذ ساخته شده است، افزایش رواناب و طغیان رود را به همراه 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. به طور کلی زمین‌شناسی منطقه، نقش اساسی در تهیه‌ی نقشه‌ی پتانسیل سیلاب دارد، به خاطر این که بسیاری از واحدهای سنگ‌شناسی نسبت به فرآیندهای هیدرولوژیکی فعل هستند (۷۷). مناطق با صخره‌های مقاوم و یا مواد زیرین نفوذپذیر، تراکم زهکشی کمتر داشته، بنابراین خطر وقوع به

جدول ۱- ویژگی زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

Table 1. Geological features of study area		نام دوره
سنوزوئیک	پالوزوئیک	
Kbgp KEpd-gu	Pc-Ch	سنوزوئیک Qf2 Eoas-ja Plbk Muplaj OMr OMas Mmn نوع سازند



شکل ۲- لایه‌های اطلاعاتی تأثیرگذار بر خداد سیلاب در منطقه مورد مطالعه

Figure 2. Effective thematic layers on flood occurrence in the study area

$$c_i^* = \frac{s_i^-}{(s_i^* + s_i^-)}, \quad 0 < c_i^* < 1 \quad (10)$$

در نهایت بین وزن‌های به دست آمده رتبه‌بندی انجام می‌دهیم. مقادیر بزرگ‌تر نشان‌دهنده عملکرد بهتر و اولویت بالاتر می‌باشد (۱۴).

مدل آماری وزن واقعه (WOE)

مدل وزن واقعه یک روش آماری دومتغیره بر اساس تئوری بیزین است که اولین بار در سال ۱۹۸۸ در ذزمیه‌ی استخراج مواد معدنی به کار گرفته شد، اما در سال‌های اخیر جهت تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری بلایای طبیعی به‌وفور مورد استفاده قرار گرفته است (۲۸.۵۳). در مدل وزن واقعه، وزن هر کلاس از معیارهای تأثیرگذار بر اساس رابطه‌های زیر محاسبه می‌گردد (۵،۴۱):

$$W^+ = \ln \frac{P\{B|A\}}{P\{B|\bar{A}\}} \quad (11)$$

در گام چهارم، راه حل ایده‌آل مثبت (A^*) و راه حل ایده‌آل منفی (A^-) به ترتیب طبق رابطه‌های ۶ و ۷ محاسبه می‌گردد:

$$A^* = \{v_{1j}^*, \dots, v_{nj}^*\}, \quad v^* = \{\max(v_{ij}), j \in J; \min(v_{ij}), j \in J'\} \quad (6)$$

$$A^- = \{v'_1, \dots, v'_n\}, \quad v' = \{\min(v_{ij}), j \in J; \max(v_{ij}), j \in J'\} \quad (7)$$

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

$$s_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2}, \quad i = 1, \dots, m \quad (8)$$

$$s_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j')^2}, \quad i = 1, \dots, m \quad (9)$$

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

عملکرد نسبی (ROC)^۱ استفاده شده است (۳۵,۳۸). منحنی ROC یک نمایش گرافیکی از موازنی بین نرخ خطای منفی و مثبت برای هر مقدار احتمالی از برش هاست (۳۶,۵۵). شاخص عملکرد نسبی، منحنی است که مؤلفه قائم و افقی آن بهترین از رابطه های ۱۸ و ۱۹ محاسبه می شوند که از ماتریس مقایسه با تعریف حد آستانه بین صفر و یک به دست می آیند. مقادیر مربوط به درصد واقیت صحیح^۲ درصد واقعیت کذب^۳ نمودار بر طبق روابط زیر محاسبه می گردد (۱).

$$X = 1 - \left[\frac{TN}{TN+FP} \right] \quad (18)$$

$$Y = \left[\frac{TP}{TP+FN} \right] \quad (19)$$

سطح زیر منحنی ROC که AUC نامیده می شود، 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 روجی بین معیارهای اصلی و زیرمعیارها انجام گردید. بدین منظور از نظرات ۱۰ کارشناس جهت مقایسات زوجی استفاده گردید، که حدود ۷۰ درصد از نظرات قابل قبول و در فرآیند مقایسات زوجی به کار 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 ارائه شده است. نتایج نشان داد که از بین ۹ عوامل اصلی، عوامل درجه شیب و شکل شبیه مهم‌ترین فاکتورهای تأثیرگذار بر وقوع سیل گیری در منطقه مورد مطالعه بودند و در مقابل شاخص توان آبراهه از اهمیت کمی برخوردار است.

$$W^- = \ln \frac{P\{\bar{B}|A\}}{P\{\bar{B}|\bar{A}\}} \quad (12)$$

$$C = W^+ - W^- \quad (13)$$

که در آن: متغیرهای B و \bar{B} بهترین نشان‌دهنده وقوع و عدم وقوع تأثیر عوامل بر رخداد سیلاب می‌باشند. همچنین متغیرهای A و \bar{A} بهترین نشان‌دهنده 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 به دست آوردن وزن نهایی (W)، انحراف معیار به صورت رابطه ۱۴ ارائه می‌شود.

$$S(C) = \sqrt{S^2 W^+ + S^2 W^-} \quad (14)$$

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

$$S^2 W^+ = \frac{1}{N\{B \cap A\}} + \frac{1}{B \cap A} \quad (15)$$

$$S^2 W^- = \frac{1}{\{B \cap \bar{A}\}} + \frac{1}{\bar{B} \cap \bar{A}} \quad (16)$$

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

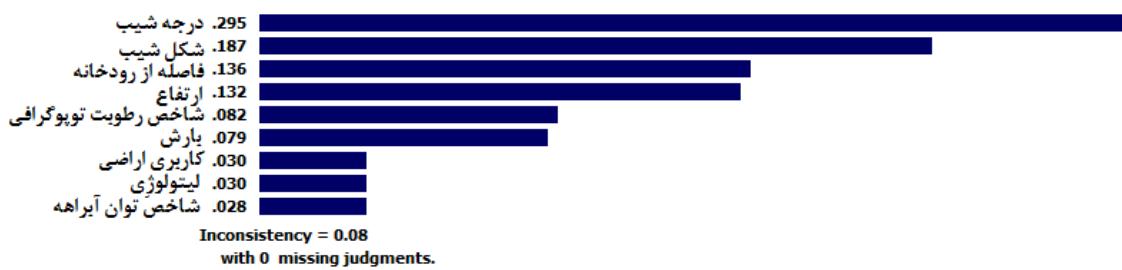
$$W_{final} = \left(\frac{C}{S(C)} \right) \quad (17)$$

ارزیابی و مقایسه مدل‌ها و انتخاب بهترین مدل منطقه‌ای بهمنظور ارزیابی مدل‌های تهیه شده، از منحنی تشخیص

جدول ۲- ماتریس مقایسات زوجی بین معیارهای اصلی

Table 2. Pair-wise comparison matrix among original criteria

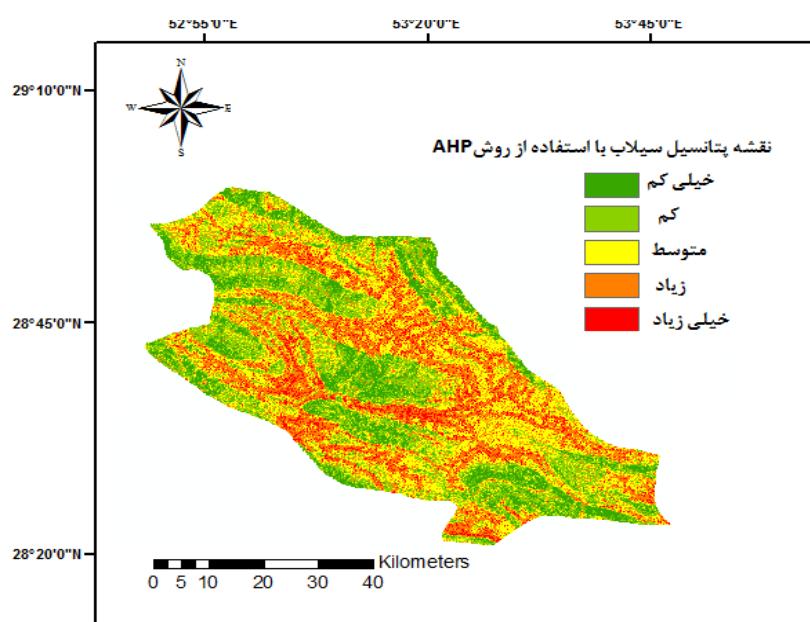
(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)	(۷)	(۸)	(۹)	میار
۹	۹	۲	۴	۴	۵	۳	۴	۱	درجه شیب (۱)
۹	۸	.۰/۵	۲	۲	۳	۱	۱	-	فاصله از رودخانه (۲)
۷	۷	.۰/۵	۲	۲	۴	۱	-	-	ارتفاع (۳)
.۰/۵	.۰/۲۵	.۰/۲۵	.۰/۲۵	.۰/۳۳	۱	-	-	-	شاخص توان آبراهه (۴)
۶	۴	.۰/۳۳	۱	۱	-	-	-	-	شاخص رطوبت توبوگرافی (۵)
۵	۳	.۰/۳۳	۱	-	-	-	-	-	بارش (۶)
۷	۶	۱	-	-	-	-	-	-	شکل شبیه (۷)
.۰/۳۳	۱	-	-	-	-	-	-	-	کاربری اراضی (۸)
۱	-	-	-	-	-	-	-	-	ستگ‌شناسی (۹)



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

زياد بودن اين عامل، باعث حجم زياد سیلاب می‌شود. در معیار کاربری اراضی، زمین‌های باری دارای بيشترین وزن (۰/۳۵۴) بوده که دليل اين امر مستعد بودن سیلاب در مناطق با پوشش گیاهی كمتر می‌باشد. همچنین دوره سنوزئیک در معیار زمین‌شناسی دارای بيشترین تأثير بر وقوع سیلاب منطقه مورد مطالعه بوده است. در معیار زمین‌شناسی سازنده‌های Plbk، Kbcp، Qft2 و OMas به ترتیب بيشترین تأثير بر وقوع سیلاب را داشته و بقیه سازنده‌ها تأثیری بر وقوع سیلاب ندارند که دليل آن مناطق با صخره‌های مقاوم و یا مواد زیرخاک نفوذپذیر، تراکم زهکشی كمتری دارند و همچنین به علت اين که بيش از ۶۰ درصد از سازنده‌های منطقه مورد مطالعه از دوره سنوزئیک می‌باشد، اين عامل وزن بيشتری به خود 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، زياد و خيلی زياد تقسیم گردید (شکل ۴).

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، بيشترین وزن مربوط به کلاس ۰-۰ درجه می‌باشد که دليل این امر تجمع آب حاصل از بارش و سیلاب در این مناطق می‌باشد، همچنین بيشترین مقدار شکل شیب و فاصله از رودخانه به ترتیب مربوط به طبقه‌های Flat یا هموار (۰/۴۵۲) و فاصله ۰-۱۰۰ متر با مقدار (۰/۵۹۴) و فاصله نزدیک به رودخانه، حجم و پخش سیلاب زياد می‌باشد. با توجه به جدول ۳ برای معیارهای ارتفاع و بارندگی، بيشترین وزن به ترتیب مربوط به طبقه‌های ارتفاع کمتر از ۱۰۰۰ متر (۰/۴۴۲) و بارندگی بيشتر از ۴۴۵ میلی‌متر (۰/۳۷۱) می‌باشد. در فواصل ارتفاعی کمتر تجمع سیلاب بيشتر بوده و همچنین مناطق با بارندگی بيشتر، جاري شدن سیلاب را افزایش می‌دهد. بيشترین وزن‌های به دست آمده مربوط به معیارهای TWI و SPI مربوط به طبقه‌هاي بزرگ‌تر از ۱۶ (۰/۴۳۲) و کمتر از ۲۰۰ (۰/۳۹۰) می‌باشد. شاخص رطوبت توپوگرافی يك خصوصيت توپوگرافی ثانویه است که توزيع مکاني از شرایط رطوبت را نشان می‌دهد که



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

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	نخ ناسازگاری
۰/۰۴	درجه شیب		۱						.۱۳۹	-
				(۱) ۰-۱۰					.۰۲۶۸	-
					(۲) ۱۰-۲۰				.۰۱۶۴	-
						(۳) ۲۰-۳۰			.۰۱۱۷	-
							(۴) ۳۰-۴۰		.۰۱۶۹	-
۰/۰۵	شکل شیب	بیشتر از (۴)							.۰۱۵۷	-
		مقرر (۱)	۱						.۰۰۵۷	-
		هموار (۲)							.۰۰۵۹	-
		محضب (۳)							.۰۲۴۹	-
۰/۰۴	فاصله از رودخانه (متر)	کمتر از (۱)	۱						.۰۱۴۵	-
		۳۰۰-۶۰۰							.۰۲۶۲	-
		۶۰۰-۹۰۰							.۰۱۶۰	-
		۹۰۰-۱۲۰۰							.۰۰۸۲	-
		بیشتر از (۵)							.۰۱۴۹	-
۰/۰۳	ساخص رطوبت تپوگرافی	کمتر از (۱)	۱						.۰۰۶۵	-
		۸-۱۲							.۰۰۹۵	-
		۱۲-۱۶							.۰۱۴۰	-
		بیشتر از (۴)							.۰۲۶۸	-
۰/۰۱	شاخص توان آبراهه	کمتر از (۱)	۱						.۰۱۹۰	-
		۲۰۰-۴۰۰							.۰۲۶۸	-
		۴۰۰-۶۰۰							.۰۱۶۴	-
		بیشتر از (۴)							.۰۱۱۷	-
۰/۰۴	بارش (میلی متر)	کمتر از (۱)	۱						.۰۰۴۸	.۰/۲
		۳۰۰-۳۴۴							.۰۰۷۲	.۰/۲۵
		۳۴۴-۳۷۴							.۰۱۰۵	.۰/۲۵
		۳۷۴-۴۰۵							.۰۱۶۶	.۰/۱۳
		۴۰۵-۴۴۵							.۰۲۳۹	.۰/۵
		بیشتر از (۶)							.۰۳۷۱	۱
۰/۰۱	کاربری اراضی	بایر (۱)							.۰۳۵۴	۵
		مرتع (۲)							.۰۲۹۹	۵
		مناطق شهری (۳)							.۰۱۸۱	۵
		آب (۴)							.۰۱۰۷	۳
		کشاورزی (۵)							.۰۰۶۵	۲
۰/۰۴	ارتفاع (متر)	چنگل (۶)							.۰۱۴۵	۱
		کمتر از (۱)	۱						.۰۴۴۴	۶
		۱۰۰۰-۱۴۰۰							.۰۲۹۱	۵
		۱۴۰۰-۱۸۰۰							.۰۱۲۸	۳
		۱۸۰۰-۲۲۰۰							.۰۰۹	۳
۰/۰۴	زمین‌شناسی	بیشتر از (۵)							.۰۴۹	۱
		سنوزوئیک (۱)							.۰۵۴۰	-
		پالوزوئیک (۲)							.۰۲۹۷	-
		مزوزوئیک (۳)							.۰۱۶۳	-

روش AHP انجام گردید. مرحله بی‌مقیاس‌سازی با استفاده از روابط ۶ و ۷ انجام و نتایج به دست آمده در جدول ۵ نشان داده شده است. در گام بعد با توجه به روابط ۸ و ۹، راه حل ایده‌آل مشبت (A^*) و راه حل ایده‌آل منفی (A^-) محاسبه گردید (جدول ۵). سپس با استفاده از روابط ۱۰ و ۱۱، مقادیر فاصله از راه حل مشبت (S_i^*) و فاصله از راه حل منفی (S_i^-) محاسبه شد (جدول ۶). نهایتاً با استفاده از رابطه ۱۲، نزدیکی نسبی به راه حل ایده‌آل (C_i^*) محاسبه و رتبه‌بندی بین گزینه‌ها انجام گردید (جدول ۶). وزن‌های به دست آمده از این روش به جدول توصیفی از لایه ترکیبی الحق می‌گردد و نقشه پتانسیل سیلان در محیط GIS ترسیم گردید (شکل ۵).

نتایج حاصل از روش تاپسیس
در این تحقیق از وزن‌های به دست آمده 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 به دست آمد. به دلیل اینکه خروجی این مدل دارای ۴۰۵۷۸ سطر می‌باشد، جهت نشان دادن مقادیر مربوط به این معیارها و دیگر پارامترهای محاسبه شده با این روش، ۱۰ نقطه به طور 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 به دست آمده از

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	لیتوژوژی	شكل 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 راه حل ایده‌آل مثبت و منفی (۱۰ نقطه از ۴۰۵۷۸ نقطه)

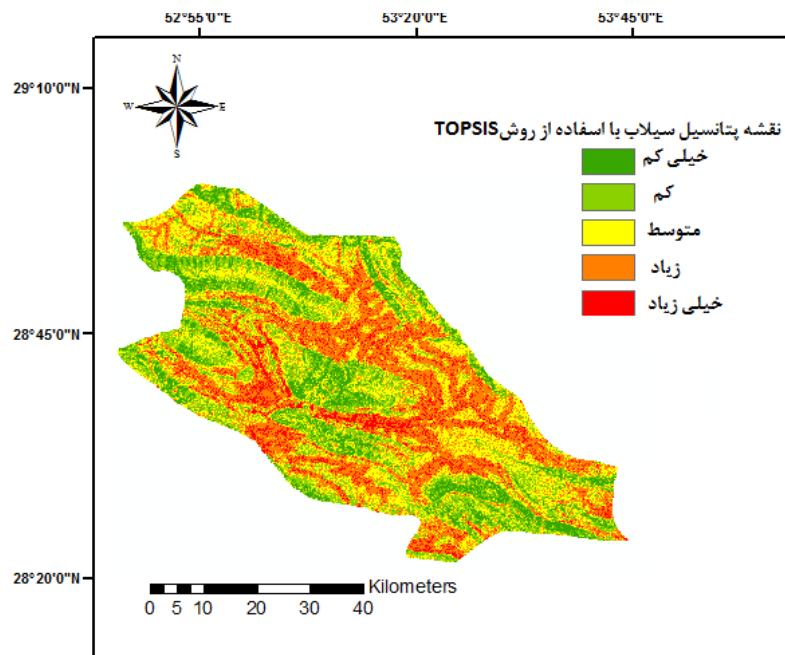
Table 5. Values of normalization of criteria and solution of negative and positive ideal

شماره	فاصله از رودخانه	بارش	شاخص توان آبراهه	درجه شیب	کاربری اراضی	ارتفاع	لیتوژوژی	شكل شیب	شاخص رطوبت توپوگرافی
۱	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۲۱۷	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۶۴	۰/۰۰۱۹
۲	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۲۱۷	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۱۹
۳	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۲۱۷	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۶۴	۰/۰۰۰۳
۴	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۲۱۷	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۳
۵	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۲۱۷	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۶۴	۰/۰۰۰۵
۶	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۲۱۷	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۵
۷	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۲۱۷	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۵
۸	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۲۱۷	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۳
۹	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۲۱۷	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۳
۱۰	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۲۱۷	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۳
A*	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۷۳	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۴
A-	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۳۸	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۴

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^*

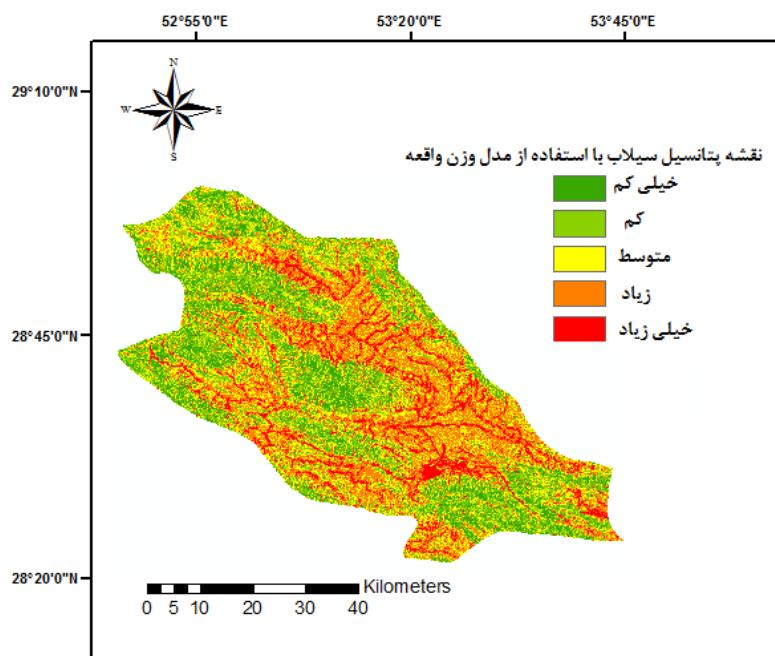
شماره	s_i^*	s_i^-	c_i^*
۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱۹۲	۰/۰۸۷
۲	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۲۳۴	۰/۰۵۶
۳	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۱۹۳	۰/۰۹۴
۴	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۱۹۲	۰/۰۷۷
۵	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۱۹۹	۰/۰۱۰
۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱۹۷	۰/۰۹۲
۷	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۲۱۳	۰/۰۳۱
۸	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۲۴	۰/۰۹۸
۹	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲۱	۰/۰۱۳
۱۰	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۱۲	۰/۰۶۷



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

نشان داده که بیشترین وزن مربوط به کاربری شهری و پس از آن پهنه های آبی با مقادیر $7/91$ و $5/508$ می باشد. بقیه طبقه های مربوط به کاربری اراضی تأثیر منفی بر وقوع سیلاب داشتند. در مورد عامل ارتفاع طبقه های، $1000-1400$ و $1000-1000$ متر به ترتیب با مقادیر $2/376$ و $0/991$ دارای بیشترین تأثیر بر سیلاب و بقیه طبقه ها دارای مقادیر منفی و تأثیر منفی هستند. در عامل سنگ شناسی، طبقه سوزوئیک با مقادار $3/081$ دارای بیشترین تأثیر بر وقوع سیلاب می باشد. در عامل شکل شبیب نیز بیشترین وزن مدل مربوط به طبقه مقعر با مقادار $1/686$ و پس از آن طبقه هموار با مقادار $0/634$ می باشد و طبقه محدب دارای مقادیر منفی می باشد. با توجه به معیار شاخص توان آبراهه، طبقه بیشتر از 600 دارای بیشترین مقادار $(9/104)$ و پس از آن کلاس $400-600$ با مقادار $6/116$ می باشد. در معیار شاخص رطوبت توپوگرافی، بیشترین مقادار مربوط به طبقه $12-16$ با مقادار $2/452$ می باشد. نهایتاً نقشه پتانسیل سیلاب حاصل از روش وزن واقعه در شکل ۶ ارائه شده است.

نتایج حاصل از روش وزن واقعه
اساس روش وزن واقعه، برآورده مقادیر w^+ و w^- می باشد که مقادار وزن C توسط این دو پارامتر تعیین می شود. همبستگی مثبت بین کلاس های هر فاکتور و سیلاب با مقادیر مثبت C و همبستگی منفی با مقادیر منفی نشان داده شده می شود. بر اساس مقادیر وزن نهایی (W_{final}) و جدول ۷ برای عامل درجه شبیب، بیشترین مقادار مربوط به طبقه های شبیب -10 درجه (مقدار $3/123$) و $-30-40$ درجه با مقادار $1/15$ است که این دو طبقه دارای تأثیر مثبتی بر وقوع سیلاب می باشند و بقیه طبقه ها دارای مقادیر منفی و تأثیر منفی بر رخداد سیلاب هستند. برای معیار یا فاصله از رودخانه، بیشترین مقادار مربوط به طبقه -300 متر (مقدار $3/532$) بوده و بقیه طبقات فاصله از رودخانه دارای تأثیری منفی بر رخداد سیلاب هستند. نتایج مربوط به عامل بارش نشان داده که طبقه $304-344$ میلی متر با مقادار $1/4$ ، بیشترین مقادار را به خود اختصاص داده است و پس از آن طبقه $344-374$ میلی متر با مقادار $0/767$ قرار دارد. نتایج معیار کاربری اراضی



شکل ۶- نقشه پتانسیل سیلاب منطقه 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

W _{final}	S(C)	S ² W ⁻	S ² W ⁺	C	W ⁻	W ⁺	تعداد سیل	تعداد پیکسل	طبقه	معیار
۳/۱۲۳	+۰/۴۸۳	+۰/۲	+۰/۳۳۳	+۱/۵۰۸	-۱/۱۰۱۳	+۰/۴۰۷۵۲	۳۰	۲۶۳۵۱۶	-۱۰	درجه شیب
-۱/۹۷۶	+۰/۶۰۳	+۰/۰۳۱	+۰/۳۳۳	-۱/۱۹۳	+۰/۱۷۹	-۱/۰۱۳۴	۳	۱۵۰۵۳۵	۱۰-۲۰	
-	-	+۰/۰۲۸	-	-	+۰/۱۳	-	۰	۷۷۸۷۷۹	۲۰-۳۰	
+۰/۱۱۵	+۰/۷۲۸	+۰/۰۳	+۰/۵	+۰/۰۸۴۴	-۰/۰۰۴۶	+۰/۰۷۹۸	۲	۳۳۶۳۲۵	۳۰-۴۰	
-	-	+۰/۰۲۸۵	-	-	+۰/۰۱۸۸	-	۰	۱۱۹۰۳۰	بیشتر از ۴۰	
۱/۶۸۶	+۰/۳۴۱	+۰/۰۶	+۰/۰۵	+۰/۵۷۶	-۰/۰۲۸۸	+۰/۰۲۸۸	۲۰	۲۷۳-۷۳	متمر	شکل شیب
+۰/۶۳۴	+۰/۴۲۲	+۰/۰۲۸	+۰/۱۴۲	+۰/۲۶۸	-۰/۰۴۸	+۰/۰۲۱۹	۷	۱۰۲۳۱۶	هموار	
-۲/۱۲۹	+۰/۰۰۲	+۰/۰۲۷	+۰/۱۲۵	-۰/۰۸۵	+۰/۰۲۷	-۰/۰۵۸۷	۸	۲۶۲-۷۱	محدب	
۳/۰۳۲	+۰/۳۳	+۰/۰۵۸	+۰/۰۵۵	+۱/۱۹۴	+۰/۴۴۴	+۰/۷۵	۱۸	۱۵۵۰۹۱	کمتر از ۳۰۰	فاصله از رودخانه (متر)
-۰/۰۷۱	+۰/۴۸۳	+۰/۰۲۳	+۰/۲	-۰/۰۴۱	+۰/۰۷۲۱	-۰/۰۳۴۸	۵	۱۲۹۳۸۸	۳۰۰-۶۰۰	
-۰/۰۶۵	+۰/۴۸۳	+۰/۰۲۳	+۰/۲	-۰/۰۱۲۸	+۰/۰۱۹۳	-۰/۰۰۹	۵	۱۰۱۷۸۶	۶۰۰-۹۰۰	
-۱/۰۹۲	+۱/۰۱۴۶	+۰/۰۲۹	+۱/۰۰۱	-۱/۰۵۱۳	+۰/۰۰۶۴	-۱/۰۴۱۷	۱	۷۵۳۲۲۶	۹۰۰-۱۲۰۰	
-۱/۰۳۹	+۰/۴۸۱	+۰/۰۴	+۰/۱۶۶	-۰/۰۶۱۸	+۰/۰۱۷	-۰/۰۴۸۱	۶	۱۷۷۳۱۸	بیشتر از ۱۲۰۰	
+۰/۹۹۱	+۰/۰۳۱	+۰/۰۲۲	+۰/۲۵	+۰/۵۲۶	-۰/۰۰۷۹	+۰/۰۴۷۸	۴	۴۵۱۳۶۸	کمتر از ۱۰۰۰	ارتفاع (متر)
۲/۰۷۶	+۰/۲۶۴	+۰/۰۹۰۹	+۰/۰۴۱	+۰/۱۸۵	-۰/۵	+۰/۰۳۵۹	۲۴	۳۰۵۱۹۷	۱۰۰۰-۱۴۰۰	
-۱/۰۲۱	+۰/۰۴۸۱	+۰/۰۳۴۴	+۰/۱۶۶	-۰/۰۵۷	+۰/۱۲۳	-۰/۰۴۴۶	۶	۱۷۰۸۰۱	۱۴۰۰-۱۸۰۰	
-	-	+۰/۰۲۸۵	-	-	+۰/۰۱۲۷	-	۰	۷۶۰۹۸۶	۱۸۰۰-۲۲۰۰	
-۰/۰۸۱۶	+۱/۰۱۴	+۰/۰۲۹۴	+۱/۰۰۲	-۰/۰۸۲۸	+۰/۰۳۶۱	-۰/۰۷۹۲	۱	۴۰۲۲۶۰	بیشتر از ۲۲۰۰	
۲/۰۱۵	+۱/۰۱۴۶	+۰/۰۲۹۴	+۱/۰۰۱	-۲/۰۳۹	+۰/۰۳۹	-۲/۰۱۰۹	۱	۱۵۰۲۱۹	کمتر از ۸	شاخص رطوبت
+۰/۰۲۳	+۰/۲۶۴	+۰/۰۹۰۹	+۰/۰۴۱۶	+۰/۲۶۶	-۰/۰۱۷۵	+۰/۰۹۱۷	۲۴	۳۹۸۷۷۷	۸-۱۲	
۲/۰۴۵۲	+۰/۰۲۷۴	+۰/۰۴	+۰/۱	+۰/۹۱۷	-۰/۰۱۸۸	+۰/۰۷۳۹	۱۰	۸۷۸۲۱۲	۱۲-۱۶	
-	-	+۰/۰۲۸۵	-	-	+۰/۰۰۰۹	-	۰	۶۳۳۳	بیشتر از ۱۶	
+۰/۰۷۱۹	+۰/۰۳۴۵	+۰/۰۴۷۶	+۰/۰۷۱۴	+۰/۱۴۸	-۰/۰۹۲	+۰/۱۰۵۶	۱۴	۲۱۸۶۰۴	کمتر از ۳۰۴	بارش (میلی‌متر)
۱/۴	+۰/۰۲۶۴	+۰/۰۴۱۶	+۰/۰۹	+۰/۵۱۲	-۰/۱۳۴	+۰/۰۳۷۸	۱۱	۱۳۷۵۸۸	۳۰۴-۳۴۴	
+۰/۰۷۶۷	+۰/۰۴۸۳	+۰/۰۳۳۳	+۰/۲	+۰/۳۷	-۰/۰۴۵	+۰/۰۳۲۵	۵	۶۵۹۰۲۸	۳۴۴-۳۷۴	
-۱/۰۸۱	+۰/۰۴۸۳	+۰/۰۳۳۳	+۰/۲	-۰/۰۸۷۸	+۰/۱۸۳	-۰/۰۶۹۵	۵	۱۸۲۹۹۲	۳۷۴-۴۰۵	
-	-	+۰/۰۲۸۵	-	-	+۰/۰۳۸۶	-	۰	۲۴۲۲۴۸	۴۰۵-۴۴۵	
-	-	+۰/۰۲۸۵	-	-	+۰/۰۱۵۱	-	۰	۹۵۸۹۰	بیشتر از ۴۴۵	بیشتر از ۴۴۵

ادامه جدول ۷- رابطه مکانی بین معیارهای تأثیرگذار و محل وقوع سیلاب

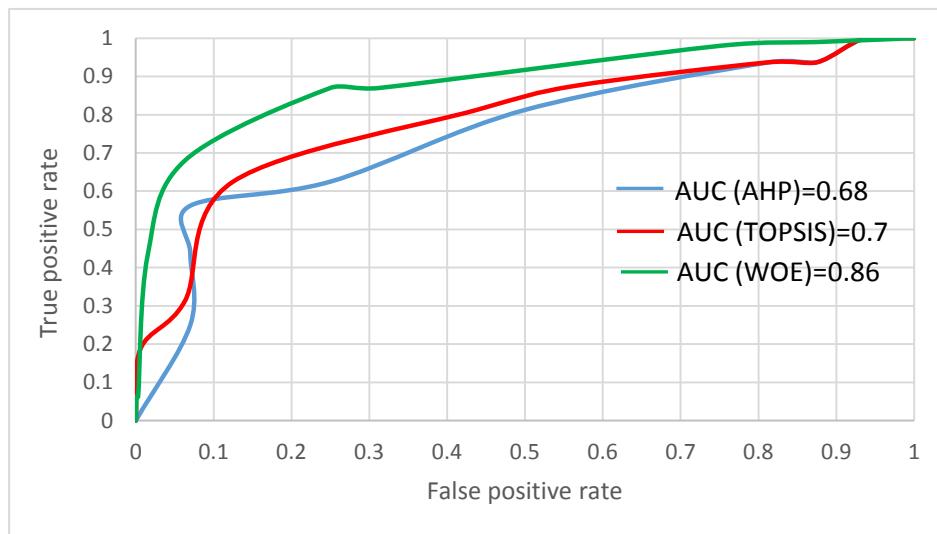
Table 7 (Continued). Spatial relationship between effective factors and flood occurrence

معیار	طبقه	پیکسل	تعداد سیل	تعداد	W ⁺	C	S ² W ⁺	W ⁻	S ² W ⁻	S(C)	W _{final}
بایر		۴۰۴۳۶	۰	۰	-۰/۰۶۳	-	-۰/۰۲۸۵	-	-۰/۰۵۵	۰/۳۳۸	-۱/۰۷۸
مرتع		۳۶۷۳۲۱	۱۷	-۰/۱۱۷	-۰/۱۹۳	-۰/۳۶۴	-۰/۰۵۸۸	-۰/۰۵۵	-۰/۳۳۸	-۱/۰۷۸	-۱/۰۷۸
مناطق شهری	کاربری اراضی	۳۷۷۳۷	۶	-۰/۱۸۲	-۰/۳۶۵	-۰/۰۵۸	-۰/۱۶۶	-۰/۰۳۴	-۰/۰۴۴۸	-۰/۹۹۱	-۰/۹۹۱
آب		۴۳۷۶۸	۵	۲/۸۱۲	۲/۱۱۴	۰/۰۲۵	۰/۰۲	۰/۰۲	-۰/۰۴۳۱	-۰/۰۵۰۸	-۰/۰۵۰۸
کشاورزی		۱۱۸۴۲۰	۴	-۰/۲۶۲	-۰/۰۵۱۳	-۰/۰۳۱۴	-۰/۰۳	-۰/۰۳	-۰/۰۴۸۳	-۰/۰۶۵	-۰/۰۶۵
جنگل		۱۳۹۴۸۱	۳	-۰/۰۳۷	-۰/۰۱۵	-۰/۰۳۳	-۰/۰۳۲	-۰/۰۳۲	-۰/۰۶۰۳	-۰/۱۸۱۲	-۰/۱۸۱۲
سنوزوئیک		۵۹۷۱۳۰	۳۴	-۰/۰۴۸	-۰/۰۲۴	-۰/۰۲۶	-۰/۰۲۹۴	-۰/۰۰۰۰۲	-۰/۰۰۰۰۲	-۰/۰۱۰۴	-۰/۰۸۱
مزوزوئیک	لیتولوژی	۳۹۷۷۴۶	۱	-۰/۰۶۳	-۰/۰۷۸	-۰/۰۱۰۸	-۰/۰۲۹۴	-۰/۰۰۰۰۰۲	-۰/۰۱۰۴۵	-۰/۰۶۰۳۵	-۰/۰۶۰۳۵
پالزوژنیک		۵۱۲۷	۰	-	-۰/۰۰۰۵۱	-	-۰/۰۲۸۵	-	-۰/۰۲۸۵	-	-
کمتر از ۲۰۰		۵۲۹۰۷۹	۲۳	-۰/۰۲۳	-۰/۰۵۸۵	-۰/۱۸۱۸	-۰/۰۴۳۴	-۰/۰۸۳۳	-۰/۰۳۵۶	-۰/۰۱۰۷	-۰/۰۱۰۷
۲۰۰-۴۰۰	شاخص توان	۴۵۲۱۶۴	۲	-۰/۰۲۱۶	-۰/۰۵۷۲	-۰/۰۵۷۶	-۰/۰۵	-۰/۰۳۰۳	-۰/۰۷۲۸	-۰/۰۲۳۵	-۰/۰۷۲۸
۴۰۰-۶۰۰	آبراهه	۱۶۲۲۴۷	۲	۰/۰۸۰۸	-۰/۰۶۴۵	-۰/۰۴۵۳	-۰/۰۵	-۰/۰۳۰۳	-۰/۰۷۲۸	-۰/۱۱۶	-۰/۰۷۲۸
۶۰۰	بیشتر از	۴۶۹۴۰۸	۸	۰/۱۱۲	-۰/۰۵۳۲	-۰/۰۶۶۴	-۰/۰۱۲۵	-۰/۰۲۷	-۰/۰۴۰۲	-۰/۱۰۴	-۰/۱۰۴

نشان می‌دهد که بیشترین وقوع سیلاب در طبقه ۰-۱۰۰ نشان می‌دهد که بیشترین وقوع سیلاب در طبقه ۰-۱۰۰ اتفاق افتاده است و این طبقه بیشترین وزن را به خود اختصاص می‌دهد که با نظرات رحمتی و همکاران (۴۰) و خسروی و همکاران (۲۲) مطابقت دارد. بررسی فاصله از روخدانه نشان می‌دهد که بیشترین وقوع سیلاب در فواصل کمتر از ۳۰۰ متر بوده که دلیل آن تأثیر فواصل نزدیک به روخدانه بر گستره و اندازه سیلاب است. بررسی عامل ارتفاع نشان می‌دهد که بیشترین وقوع سیلاب در طبقه روخدانه با ارتفاع کمتر می‌باشد. بررسی عامل شاخص رطوبت مناطق با ارتفاع کمتر می‌باشد. بررسی عامل شاخص رطوبت توپوگرافی نشان می‌دهد که بیشترین تأثیر بر سیلاب طبقه ۱۲-۱۶ دارد. بررسی عامل کاربری اراضی نشان می‌دهد که بیشترین تأثیر بر سیلاب مربوط به مناطق شهری بوده که دلیل آن ساخته شدن ساختمان‌ها یا سطوح تأثیرناپذیر در برابر سیلاب در این مناطق می‌باشد. بررسی عامل لیتولوژی 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 مریبوط به این دوره می‌باشد. بررسی عامل شاخص توان آبراهه نشان می‌دهد که بیشترین تأثیر سیلاب مریبوط 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 مریبوط به طبقات مقرر و ۳۰۴-۳۴۴ میلی‌متر می‌باشد.

ارزیابی نتایج

پس از تهیه نقشه‌ی نهایی پتانسیل سیلاب با استفاده از روش‌های ارائه شده، نقشه نهایی به پنج کلاس پتانسیل خیلی کم تا خیلی زیاد تقسیم گردید. جهت ارزیابی نقشه‌های تهیه شده 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 (به ترتیب ۷۰ درصد و ۳۰ درصد) مورد استفاده قرار گرفت (۳۷). آنگاه با استفاده از منحنی تشخیص عملکرد نسبی صحت نقشه‌های تهیه شده مورد تأیید قرار گرفت. نتایج بدست آمده 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 بدست آمده و نتایج حاصل از تحقیقات (۲۲)، مدل‌های آماری در تهیه نقشه پتانسیل بلایای طبیعی، دقت بیشتری را نسبت به روش‌های تصمیم‌گیری به خود 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 بهمود 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



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

مدل‌های ذکر شده از منحنی تشخیص عملکرد نسبی و سطح زیر منحنی استفاده شد. بدین منظور از ۵۱ محل وقوع سیلاب، ۳۵ محل (۷۰درصد) به عنوان داده‌های آموزشی جهت مدل‌سازی و ۱۶ محل (۳۰درصد) جهت ارزیابی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج بدست‌آمده از روش AHP و تاپسیس نشان‌دهنده‌ی دقت ۶۸ و ۷۰ درصد بهترین برای این دو مدل می‌باشد. نتایج حاصل از این دو روش نشان‌دهنده‌ی دقت تقریباً یکسان این دو روش جهت تھیه نقشہ پتانسیل سیلاب می‌باشد. همچنین روش تاپسیس به دلیل اینکه از وزن‌های بدست‌آمده از روش AHP استفاده می‌کند، نتایج حاصل از این روش را بهبود داده و دقت کمی بیشتر را به خود اختصاص داد. از طرف دیگر نتایج حاصل از روش WOE نشان‌دهنده‌ی دقت ۸۶ درصدی برای مدل مذکور می‌باشد. نتایج بدست‌آمده از تحقیق حاضر می‌تواند کمک شایان توجهی 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 تھیه نقشہ پتانسیل سیلاب استفاده کرد.

سیلاب یکی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی در سرتاسر دنیا است. بنابراین تھیه نقشہ پتانسیل سیلاب برای مدیریت یکپارچه حوزه‌های آبخیز به منظور 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 به منظور انتخاب بهترین مدل منطقه‌ای مقایسه گردد. در این تحقیق تھیه نقشہ 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 چهرم، 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، لیتوژئی و بارندگی مشخص و در محیط GIS آماده گردید. در ادامه با استفاده از نظرات کارشناسان، وزن دهی 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 بدست‌آمده و نقشه آن در نرم‌افزار ArcGIS تھیه گردید. جهت انجام ارزیابی

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. Jiménez 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 sensitivity 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 flood 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.

- 80
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. Kumamoto and 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, S., E. Şener 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, L. 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.

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 Termeh¹, Hamid Reza Pourghasemi² and Fatemeh Alidadganfard³

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 receiver 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 comparison 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)