



## پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبریز شهر چای میانه با استفاده از مدل ویکور

محمدحسین رضایی مقدم<sup>۱\*</sup>، داوود مختاری<sup>۲</sup>، مجید شفیعی مهر<sup>۳</sup>

۱- استاد، ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- استاد، ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۳- دانشجوی دکتری، ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۱۵

وصول مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۰۳

### چکیده

سیلاب یکی از رایج‌ترین مخاطرات طبیعی است که سالانه موجب خسارات جانی و مالی فراوانی در سراسر جهان می‌گردد. پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی یکی از روش‌هایی است که جهت کاهش خطرات ناشی از سیل می‌توان اتخاذ نمود. در این منطقه مطالعه‌ی جامعی در این زمینه صورت نگرفته است و هر سال وقوع سیلاب خسارات زیادی به بار می‌آورد بنابراین هدف از این پژوهش، تعیین پهنه‌های خطر سیلاب در حوضه آبریز شهر چای میانه (بستان آباد - میانه) واقع در شمال غرب ایران می‌باشد. جهت اجرای این مدل از لایه‌های مختلفی همچون شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، فاصله از آبراهه، تراکم آبراهه، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، لیتولوژی، بارندگی و خاک استفاده گردید. استانداردسازی با استفاده از روش فازی در محیط نرم‌افزار Arc Map صورت گرفت. تحلیل و مدل‌سازی نهایی با استفاده از مدل ویکور انجام گردید. نتایج نشان داد که شیب، بارندگی و جهت شیب بیشترین تأثیر را در وقوع سیلاب، در این حوضه دارند. همچنین با توجه به نتایج به‌دست‌آمده به ترتیب ۶/۰۲ و ۱۰/۴۵ درصد از محدوده‌ی مورد مطالعه در طبقه بسیار پرخطر و پرخطر قرار دارند.

**کلمات کلیدی:** سیلاب، پهنه‌بندی، شهر چای، مدل ویکور، بستان آباد - میانه، شمال غرب ایران

## ۱- مقدمه

سیل پدیده‌ای طبیعی است که جوامع بشری آن را به‌عنوان واقعه‌ای اجتناب‌ناپذیر پذیرفته‌اند، اما رویداد، اندازه و تکرار سیل ناشی از عوامل متعددی است که بسته به شرایط اقلیمی، طبیعی و جغرافیایی هر منطقه تغییر می‌کند (امیدوار و همکاران، ۱۳۸۹: ۷۳؛ عابدینی و بهشتی جاوید، ۱۳۹۵: ۲۹۳). طبق گزارش جهانی برنامه عمران سازمان ملل در مورد خطر بلایای طبیعی، سیلاب به همراه زلزله و خشکسالی، بالاترین رتبه را از لحاظ خسارت مالی و جانی به همراه دارد (قنواتی، ۱۳۹۳: ۱۱۳؛ محمودزاده و همکاران، ۱۳۹۶: ۷۱۹). سطح مناطق سیل‌خیز کشور حدود ۹۱ میلیون هکتار برآورد گردیده است. به‌عبارتی دیگر ۵۵ درصد از سطح کشور در تولید رواناب مستقیم و سریع نقش داشته که حدود ۴۲ میلیون هکتار آن دارای شدت سیل‌خیزی متوسط تا خیلی زیاد هستند (احمدی ایلخچی و همکاران، ۱۳۸۱: ۱۰۴). یکی از زمینه‌های تحقیق برای کنترل خطر سیل شناسایی نقاط بحرانی مناطق است، زیرا نبود شناخت کافی نسبت به این نقاط سبب خسارت‌های مالی و جانی زیادی می‌شود (واسو<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۶: ۳۱). نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب در مطالعات مدیریت سیلاب کاربرد وسیعی دارند. امروزه این نقشه‌ها یکی از اطلاعات پایه و مهم در مطالعه‌ی طرح‌های عمرانی در دنیا محسوب می‌شوند (رجبی و همکاران، ۱۳۹۷: ۴۶؛ ولی زاده و همکاران، ۱۳۹۸: ۲). در مناطق مختلف جهان برای کاهش خطرات ناشی از سیلاب تحقیقات زیادی صورت گرفته است که می‌توان به مطالعات استفان<sup>۲</sup>، ۲۰۰۲؛ پاپنبرگر و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۵؛ آگان توندی<sup>۴</sup> و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۰۶؛ پاترو<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۹؛ گول<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۰؛ کوهارتاکورجا و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۱۱؛ هاگ و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۱۲؛ لاول و همکاران<sup>۹</sup>، ۲۰۱۴؛ ینان و همکاران<sup>۱۰</sup>، ۲۰۱۵؛ دی ریزی<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۵؛ لای<sup>۱۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۶؛ وی تک<sup>۱۳</sup> و وی تکوا<sup>۱۴</sup>، ۲۰۱۹؛ داس<sup>۱۵</sup>، ۲۰۱۹؛ سوتیرات<sup>۱۶</sup>، ۲۰۲۰ اشاره نمود. در ایران نیز مطالعات زیادی در زمینه‌ی پهنه‌بندی سیلاب و مدیریت حوضه‌های آبریز با استفاده از مدل‌های مختلف صورت گرفته است که به برخی از کارهای انجام‌شده اشاره می‌شود. کرم و درخشان (۱۳۹۱)، فتوحی و کیانی (۱۳۹۳) عابدینی و فتحی (۱۳۹۴) و قنواتی و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از مدل AHP، منطق فازی و GIS به پهنه‌بندی سیلاب پرداختند. اصغری و همکاران (۱۳۹۴)، عابدینی و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از مدل ویکور در حوضه‌های متفاوت به پهنه‌بندی

1- Vasu  
2- Stephan  
3- Pappenberger  
4- Oguntunde  
5- Patro  
6- Gül  
7- Guhathakurta  
8- Haq et al.

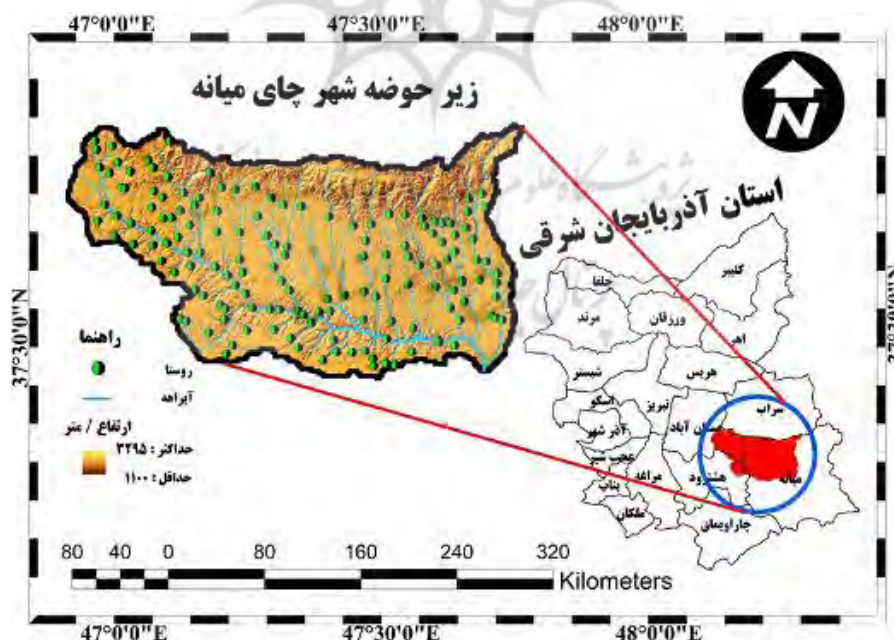
9- Lawal  
10- Yenan  
11- De Risi  
12- Lai  
13- Vojtek  
14- Vojteková  
15- Das  
16- Suthirat

خطر سیلاب پرداخته‌اند. رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۵) پژوهشی با عنوان پهنه‌بندی و بررسی اثرات مورفولوژیکی سیلاب‌های رودخانه‌ی زرینه‌رود از ساری قمیش تا سد نوروزلو انجام دادند نتایج نشان داد سیلاب‌های با دوره‌ی بازگشت مختلف، خطر چندانی برای سکونتگاه‌های شهری و روستایی ایجاد نمی‌کنند. عابدینی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی خطر سیلاب را با استفاده از مدل ویکور در شهرستان مشکین‌شهر پهنه‌بندی کردند نتایج نشان داد عوامل ارتفاع، لیتولوژی، بارش و شیب به ترتیب بیشترین تأثیر را بر ایجاد سیل دارند. صراف و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از تصاویر هوایی به پهنه‌بندی سیلاب در رودخانه‌ی شاپور خشت پرداختند نتایج نشان داد که رودخانه شرایط زیربحرانی را تجربه می‌کند. حجازی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی به پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در حوضه‌ی آبریز ورکش چای با استفاده از مدل HEC-RAS پرداختند نتایج نشان داد که ۱۰۰ کیلومترمربع از مساحت کل حوضه تحت تأثیر سیلاب‌های با دوره‌ی بازگشت ۵۰ ساله قرار دارد. روستایی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی به تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی سیلاب حوضه‌ی آبریز نکا رود با استفاده از مدل SCS-CN و GIS/RS پرداختند نتایج نشان داد که بکارگیری توأمان از تکنولوژی سنجش‌ازدور و GIS و استفاده از مدل SCS-CN مفید است. گودرزی و همکاران (۱۳۹۸) پژوهشی با عنوان پهنه‌بندی خطر سیلاب در اثر تغییرات اقلیمی تحت سناریو RCP 8.5 با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT در محیط GIS (حوضه‌ی آذرشهر چای) انجام داده‌اند نتایج بیانگر عملکرد خوب مدل در ریزمقیاس‌نمایی داده‌های بزرگ‌مقیاس است. فرامرزی و همکاران (۱۳۹۸)، در پژوهشی وقوع مخاطره سیلاب را در پارک ملی گلستان ارزیابی و پهنه‌بندی کردند نتایج نشان داد که ۴۵۰۰ هکتار از مساحت پارک در محدوده با خطر زیاد قرار دارد. رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۹) پژوهشی با عنوان تحلیل خصوصیات هیدروژئومورفیک حوضه‌ی آبریز الندچای به منظور الویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر حساسیت سیل‌خیزی انجام دادند نتایج نشان داد که زیرحوضه‌ی سه، یک، چهار و دو از حساسیت سیل‌خیزی بالایی برخوردار هستند. رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۹)، در پژوهشی حساسیت سیل‌خیزی الندچای را با استفاده از شاخص‌های هیدروژئومورفیک با استفاده از مدل M-MACBETH مطالعه کردند و سپس زیرحوضه‌های از نظر سیل‌خیزی رتبه‌بندی کردند. در منطقه‌ی مورد مطالعه پژوهش چندانی صورت نگرفته است فقط کرمی و همکاران (۱۳۹۲) به مطالعه‌ی ژئومورفولوژیک و تکتونیک فعال از طریق شاخص‌ها و شواهد پرداخته است. این حوضه یکی از سرشاخه‌های رودخانه‌ی قزل‌اوزن هست و حدود ۹۸ درصد از اراضی محدوده‌ی مطالعاتی در اکوسیستم خشکی قرار گرفته است و به لحاظ شرایط خاص منطقه مانند توپوگرافی، شیب زیاد، وضعیت لیتولوژی و شرایط اقلیمی، بارش‌های ناگهانی و رگباری، ذوب برف‌ها و طغیان رودخانه‌ها از پتانسیل بالایی برای وقوع سیلاب برخوردار است بنابراین وقوع سیلاب‌ها منجر به خسارت و آسیب‌های متعددی از جمله تخریب مسیرهای ارتباطی، زمین‌های کشاورزی و پر شدن مخازن سدهای پایین‌دست حوضه و هدر رفتن منابع بارزش خاک در حوضه شهر چای می‌گردد از آنجاکه مطالعه‌ای در زمینه‌ی

سیلاب در محدوده‌ی مورد مطالعه صورت نگرفته است. پس ضروری است که در مورد دلایل و عوامل اصلی سیل در این منطقه و پهنه‌بندی آن مطالعه‌ای انجام گیرد. از آن جهت که روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و سیستم اطلاعات جغرافیایی از استقبال بالایی برخوردار است بنابراین در این مطالعه از مدل ویکور که بر اساس رویکرد برنامه‌ریزی مطلوب و بهینه‌سازی چند معیار پایه‌ریزی شده است به‌عنوان قاعده تصمیم‌گیری چندمعیاره برای پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی در حوضه‌ی آبریز شهر چای میانه استفاده گردید.

## ۲- مواد و روش

منطقه‌ی مورد مطالعه بخشی از حوضه‌ی رودخانه قزل‌اوزن هست که در شمال غرب این حوضه قرار گرفته است. شهر چای به همراه رودهای دیگر از جمله زنجان چای، آی‌دوغموش و قرانقوچای از زیرشاخه‌های قزل‌اوزن هست و در نزدیکی شهر میانه به آن می‌پیوندند. محدوده‌ی مطالعاتی بین طول جغرافیای  $8^{\circ} 52' 46''$  تا  $13^{\circ} 46' 47''$  و عرض جغرافیایی  $25^{\circ} 37'$  تا  $13^{\circ} 49' 37''$  قرار دارد. این حوضه ۲۱۶۱ کیلومتر مربع مساحت دارد (شکل ۱).



شکل (۱): نقشه‌ی موقعیت حوضه‌ی آبریز شهر چای میانه در استان آذربایجان شرقی  
 Figure (1): Map of the Shahr Chai watershed in East Azarbaijan Province

به‌منظور رسیدن به اهداف پژوهش از مواد و روش‌های زیر استفاده شده است:

- مطالعه و بررسی مبانی نظری تحقیق از طریق مطالعه اسناد و مدارک کتابخانه‌ای، جهت شناسایی عوامل مؤثر در وقوع سیلاب؛

- تهیه لایه اطلاعاتی شامل: مدل رقومی ارتفاعی ۱۰ متری برای تهیه نقشه‌های طبقات ارتفاعی، شیب و جهت شیب، تهیه لایه اطلاعاتی لیتولوژی با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ میانه، تهیه نقشه خاک از سازمان منابع طبیعی و آبریزداری استان آذربایجان شرقی، تهیه لایه اطلاعاتی شبکه آبراهه برای تهیه نقشه تراکم آبراهه و فاصله از آبراهه، استفاده از تصاویر ماهواره‌ی لندست ۸ برای تهیه نقشه کاربری اراضی و پوشش گیاهی، تهیه نقشه هم‌بارش منطقه‌ی مورد مطالعه با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک (جدول ۱)؛

- استفاده از نرم‌افزار ENVI5.3 برای تهیه نقشه پوشش گیاهی و کاربری اراضی، ARC GIS10.5 برای تهیه نقشه‌های مورد نیاز و Expert choice برای مقایسه زوجی و وزن‌دهی به معیارها و در نهایت، پهنه‌بندی پتانسیل خطر سیلاب در حوضه آبریز شهر چای با استفاده از مدل ویکور؛

مدل ویکور: مدل ویکور مبتنی بر برنامه‌ریزی توافقی مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره است. تأکید این روش بر رتبه‌بندی و انتخاب از مجموعه‌ای از گزینه‌ها و تعیین راه‌حل توافقی برای مسئله با معیارهای متضاد می‌باشد (چن<sup>۱</sup> و وانگ<sup>۲</sup>، ۲۰۰۹).

جدول (۱): مشخصات و نوع ایستگاه‌های مورد استفاده در پهنه‌بندی سیلاب شهر چای

Table (1): Characteristics and type of stations used in flood zoning of Shahr Chai watershed

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا / متر
میانه	سینوپتیک	۳۷° ۲۷' ۰۰"	۴۷° ۴۲' ۰۰"	۱۱۱۰
سراب	سینوپتیک	۳۷° ۵۶' ۰۰"	۴۷° ۲۳' ۰۰"	۱۶۸۲
بستان آباد	سینوپتیک	۳۷° ۵۱' ۰۰"	۴۶° ۵۱' ۰۰"	۱۷۵۰
هریس	سینوپتیک	۳۸° ۱۵' ۰۰"	۴۷° ۰۶' ۰۰"	۱۹۵۰
چاراویماق	سینوپتیک	۳۷° ۰۸' ۰۰"	۴۶° ۵۹' ۰۰"	۱۸۹۶

به منظور انتخاب بهترین گزینه با استفاده از این روش، مدل ویکور دارای مراحل زیر می‌باشد (آپرویچ<sup>۳</sup> و تزنگ<sup>۴</sup>، ۲۰۰۶).

مرحله اول: تشکیل ماتریس تصمیم با توجه به تعداد معیارها، تعداد گزینه‌ها و ارزیابی همه‌ی گزینه‌ها برای معیارهای مختلف ماتریس تصمیم می‌باشد. این ماتریس بر اساس N معیار و M گزینه است که در آن  $X_{ij}$  عملکرد گزینه i (i: 1,2,...,m) در رابطه با معیار j (j: 1, 2,....., n) می‌باشد.

$$X_{ij} \cong \begin{Bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

مرحله دوم: استانداردسازی ماتریس تصمیم است. در فرآیند ارزیابی ممکن است معیارها در واحدهای اندازه‌گیری متفاوتی موردسنجش قرار گیرند و نمی‌توان عملیات ریاضی همچون جمع و تفریق را بر روی آنها انجام داد. در این پژوهش از توابع فازی موجود در نرم‌افزار Arc Map جهت استانداردسازی نقشه‌ها استفاده شده است.

مرحله سوم: تعیین بردار وزن هر معیار است. در این مرحله با توجه به ضریب اهمیت معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری، برداری به صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود.

$$w \cong [w_1, w_2, \dots, w_n] \quad (2)$$

در پژوهش زیر برای تعیین وزن معیارها، از روش تحلیل سلسله مراتبی<sup>۱</sup> و نرم‌افزار Expert choice استفاده شده است. در این روش تا اندازه زیادی از پیچیدگی مفهومی مطرح در تصمیم‌گیری کاسته می‌شود، زیرا در هر زمان معین تنها دو مؤلفه مورد توجه قرار می‌گیرند. یکی از مزیت‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی امکان بررسی سازگاری در قضاوت‌های انجام‌شده برای تعیین اهمیت معیارها و زیر معیارها می‌باشد.

مرحله چهارم: تعیین بهترین و بدترین مقدار، از میان مقادیر موجود برای هر معیار می‌باشد. بهترین مقدار  $fj^*$  و بدترین مقدار  $fj^0$  برای معیارها به ترتیب از روابط سه و چهار به دست می‌آید.

$$fj^* \cong i_{\max} . fj \quad (3)$$

$$fj^0 \cong i_{\min} . fj \quad (4)$$

مرحله پنجم: محاسبه مقدار سودمندی یا حداکثر مطلوبیت S و مقدار تأسف R می‌باشد. در این مرحله مقدار S با توجه به رابطه ۵ و R با توجه به رابطه ۶ محاسبه می‌شوند.

$$S_i \equiv \left| \sum_{i=1}^n w_i \frac{f_i^* \cdot 0 \cdot f_{ij}}{f_i^* \cdot 0 \cdot f_{ij}^0} \right| \quad (5)$$

$$R_i \equiv \text{Max} \left\{ w_i \frac{f_i^* \cdot 0 \cdot f_{ij}}{f_i^* \cdot 0 \cdot f_{ij}^0} \right\} \quad (6)$$

$f_i^*$  بزرگ‌ترین عدد ماتریس نرمال برای هر ستون،  $f_{ij}$ : عدد گزینه مورد نظر برای هر معیار در ماتریس نرمال،  $f_{ij}^0$  کوچک‌ترین عدد ماتریس نرمال برای هر ستون، به ازای هر معیار یک شاخص مطلوبیت به دست می‌آید که مجموع آن‌ها شاخص نهایی  $S_j$  گزینه را مشخص می‌کند. بزرگ‌ترین  $S_j$  هر گزینه به ازای هر معیار، شاخص نارضایتی  $R$  آن گزینه می‌باشد.

مرحله‌ی ششم: محاسبه شاخص ویکور  $Q$  است. مقدار  $Q$  با توجه به رابطه‌ی  $V$  محاسبه می‌شود.

$$Q_j \equiv v \frac{S_j \cdot 0 \cdot S^0}{S^* \cdot 0 \cdot S^0} \cdot (10^v) \frac{R_j \cdot 0 \cdot R^0}{R^* \cdot 0 \cdot R^0} \quad (7)$$

$Q$ : شاخص ویکور،  $S_j$ : مجموع مقدار  $S$  برای هر گزینه،  $S$ : بزرگ‌ترین عدد شاخص  $S$  برای هر گزینه،  $S^*$ : کوچک‌ترین عدد شاخص  $S$  برای هر گزینه،  $R_j$ : مجموع مقدار  $R$  برای هر گزینه،  $R$ : بزرگ‌ترین عدد شاخص  $R$  برای هر گزینه،  $R^*$ : کوچک‌ترین عدد شاخص  $R$  برای هر گزینه،  $V$  = عدد ثابت بوده و معمولاً  $0/5$  در نظر گرفته می‌شود. **مرحله‌ی هفتم:** مرتب کردن گزینه‌ها براساس مقادیر  $R$ ،  $S$  و  $Q$  است. در این مرحله با توجه به مقادیر  $R$ ،  $S$  و  $Q$  گزینه‌ها از کوچک‌تر به بزرگ‌تر مرتب می‌شوند و در نهایت گزینه‌ای به عنوان گزینه برتر انتخاب می‌شود که در هر سه گروه به عنوان گزینه برتر شناخته شود (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۶).

### ۳- یافته‌ها و بحث

#### ۳-۱- تشریح عوامل موثر در سیل‌خیزی حوضه‌ی آبریز

شیب: شیب حوضه‌ی آبریز اثری محسوس و قابل توجه در جریان سطحی آن دارد. تأثیر شیب روی مقدار رواناب، ناشی از اثر آن بر عمق و ظرفیت نگهداری آب و خاک و همچنین فرصت نفوذ آب در آن و میزان نفوذ آب در خاک است. چنانچه مقدار شیب افزایش یابد، نقش عوامل افزایشنده نفوذ کاهش یافته و میزان رواناب زیاد می‌شود، زیرا تجمع آب در ناهمواری‌های سطحی رابطه‌ی نزدیک با شیب آبریز داشته و با افزایش آن تقلیل می‌یابد. در شرایط مساوی سرعت جریان در حوضه‌های با شیب تند نسبت به حوضه‌های با شیب ملایم سریع‌تر است. حوضه‌ی مورد مطالعه مقدار شیب بین صفر تا  $73$  درجه متغیر است و  $33$  درصد این حوضه شیبی بیشتر از  $13$  درجه دارند (شکل ۲).

جهت شیب: در مطالعات آبریزداری از نظر تأثیری که جهت دامنه‌های حوضه بر نوع فرسایش و همچنین میزان سیلاب دارد لازم است نقشه‌ی جهت شیب نیز تهیه شود (علیزاده، ۱۳۹۰). به منظور پهنه‌بندی خطر سیلاب در سطح حوضه‌ی آبریز شهر چای میانه به ترتیب دامنه‌های شمالی، شمال غربی و غربی به دلیل دریافت بارش زیاد ماندگاری طولانی مدت برف و داشتن رطوبت بیشتر ارزش بالایی دریافت کردند و این دامنه‌ها ۳۱ درصد حوضه را شامل می‌شوند (شکل ۲).

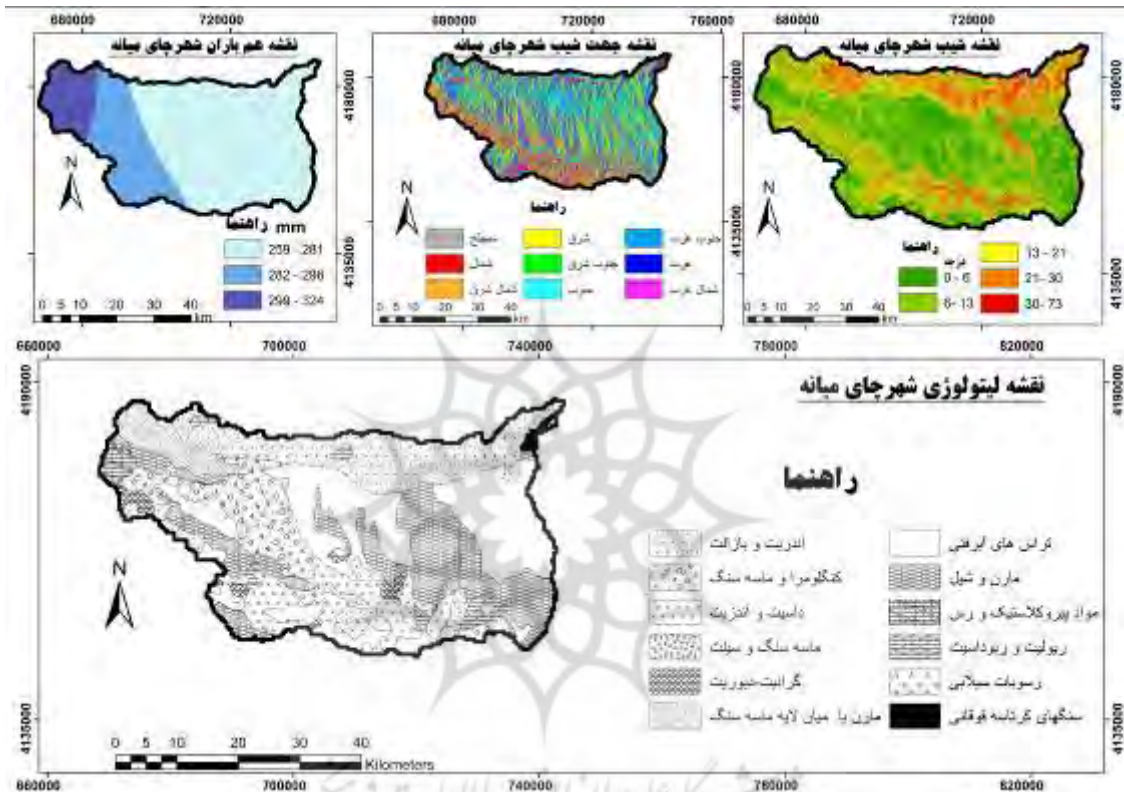
بارندگی: بارندگی را می‌توان مهم‌ترین عاملی دانست که به‌طور مستقیم در سیکل هیدرولوژی دخالت دارد. قطعاً اگر بارشی صورت نگیرد سیلی هم ایجاد نخواهد شد. میانگین بارندگی حوضه ۲۹۱ میلی متر است همچنین در حوضه‌ی آبریز شهر چای میانه در فصل بهار بارش‌های رگباری و ذوب برف‌ها باعث طغیان رودخانه‌ها و جاری شدن سیلاب‌های شدید در منطقه می‌شود (شکل ۲).

لیتولوژی: ویژگی‌های سنگ‌شناسی به‌طور غیرمستقیم بر روی مشخصات حوضه تأثیرگذار است در حوضه‌ی آبریز شهر چای میانه واحدهای مختلف لیتولوژی به‌صورت آذرین درونی، بیرونی و رسوبی گسترش یافته است و ۳۲ درصد حوضه را سنگ‌های آذرین و ۲۳ درصد را ترکیبات شیلی و مارنی تشکیل می‌دهند که به خاطر نفوذپذیری کم و شیب زیاد منطقه نقش مهمی در وقوع سیلاب ایفا می‌کند (شکل ۲).

طبقات ارتفاعی حوضه: توپوگرافی حوضه عاملی است که نقش مهمی در مقدار و نوع ویژگی‌های جوی، تبخیر و تعرق، پوشش گیاهی، جهت رواناب و میزان تراکم زهکشی دارد و در میزان رطوبت خاک، شیب دامنه‌ها تأثیر به‌سزایی دارد و نقش بسیار مهمی در میزان رواناب و در نهایت ایجاد سیلاب دارد ارتفاع حوضه بین ۱۱۰۰ تا ۳۲۹۵ متر متغیر است و ۸۲ درصد حوضه ارتفاعی بالاتر از ۱۵۳۹ متر دارد (شکل ۳).

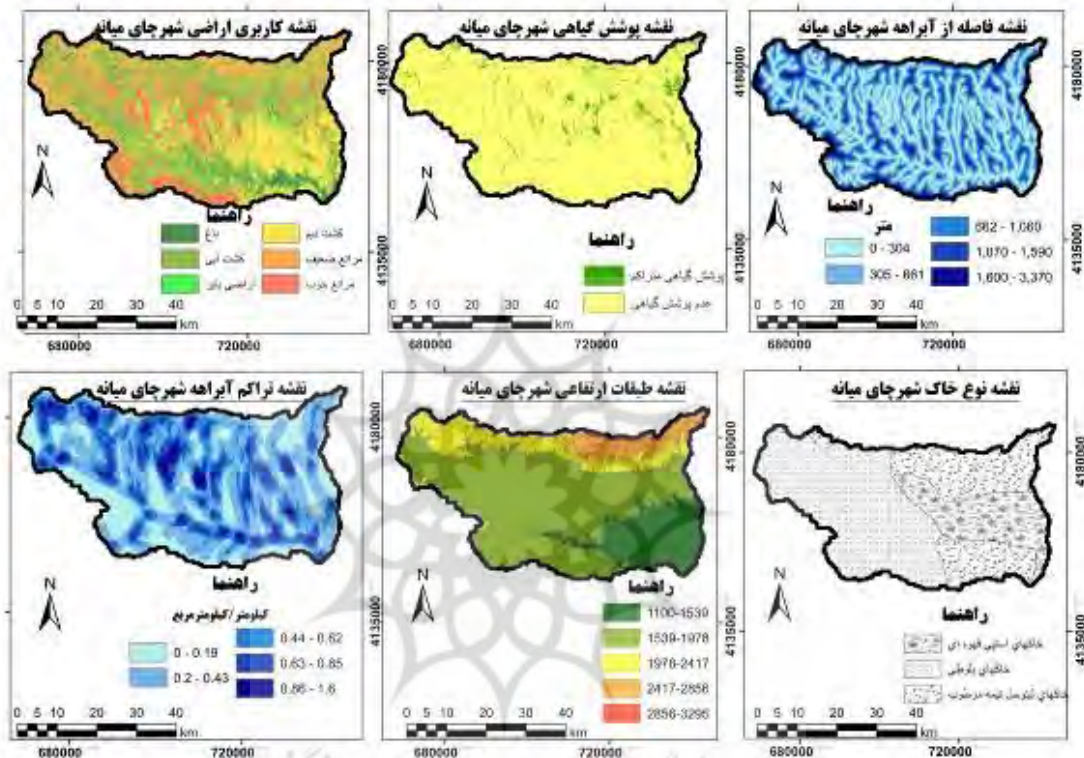
فاصله از آبراهه: از جمله‌ی مهم‌ترین عوامل افزایش خسارات سیل استفاده غیراصولی از حریم مسیل‌های به‌ظاهر مساعد که در معرض سیلاب‌های ادواری قرار دارند. در این منطقه فاصله از آبراهه در فواصل صفر تا ۳۳۷۰ متر می‌باشد بنابراین فواصل نزدیک به آبراهه‌ها عمدتاً در معرض خطر سیلاب قرار دارند (شکل ۳).





شکل (۲): نقشه‌ی شیب، جهت شیب، هم باران و لیتولوژی شهر چای میانه  
Figure (2): Slope map, Aspect, Rainfall and Lithology of Shahr Chai Watershed

نوع خاک: خاک‌ها از نظر تخلخل و نفوذپذیری در تمرکز رواناب و وقوع سیلاب مؤثر هستند. محدوده‌ی مورد مطالعه از خاک‌های قهوه‌ای استپی، بلوطی و لیتوسل آهکی تشکیل شده است. خاک‌های قهوه‌ای استپی سطح وسیعی از مناطق نیمه‌خشک را شغال کرده است این نوع خاک‌ها با توجه به شرایط آب و هوایی ضعیف هستند و دارای پوشش گیاهی تنگ و متشکل از علف‌ها و بوته‌های یک‌ساله می‌باشند. ۱۹/۲۸ درصد خاک‌های حوضه جزو خاک‌های قهوه‌ای استپی است. خاک‌های بلوطی ۴۹/۸۴ درصد حوضه را تشکیل می‌دهد این نوع خاک‌ها از لحاظ پوشش گیاهی غنی‌تر از خاک‌های قهوه‌ای استپی است. خاک‌های لیتوسل آهکی ۳۰/۸۶ درصد حوضه را تشکیل می‌دهد این زمین‌ها غالباً از آهک یا سایر سنگ‌های آهک‌دار از قبیل کنگلومرای آهکی تشکیل شده است (شکل ۳).

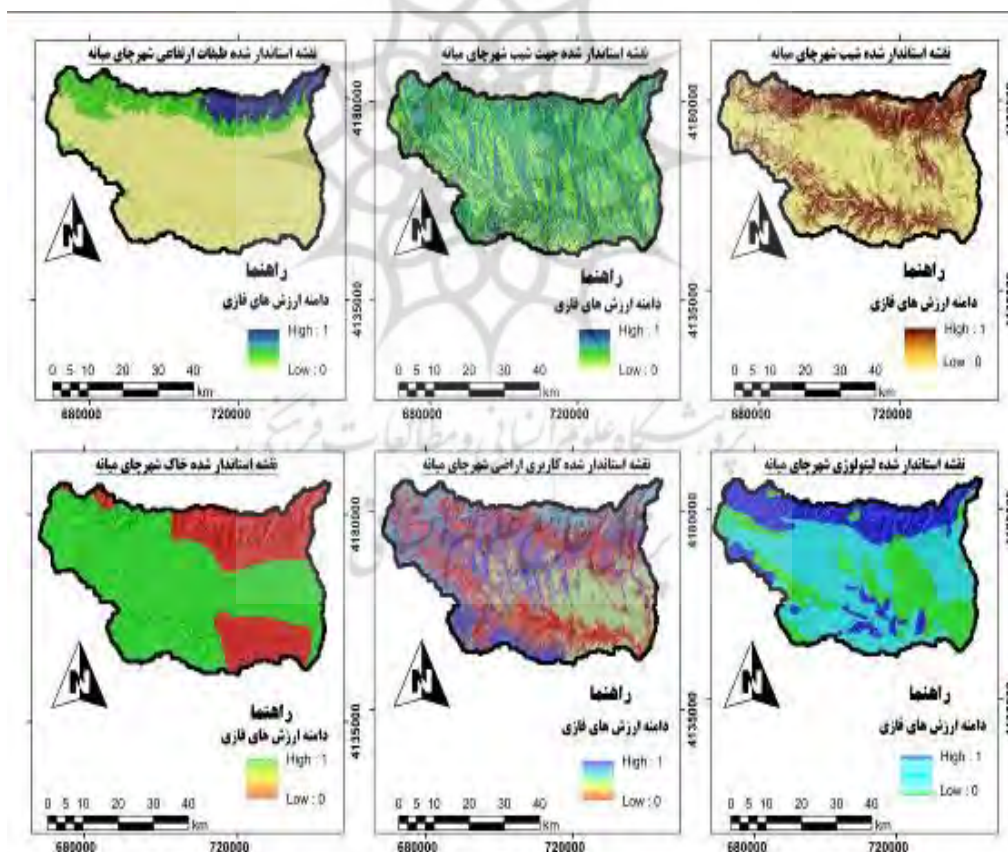


شکل (۳): نقشه‌ی فاصله از آبراهه، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، خاک، طبقات ارتفاعی و تراکم آبراهه‌ی شهر چای میانه  
**Figure (3):** Map of Distance of River Channel, Vegetation, land use, Soil, Elevations and River density of Shahr Chai Watershed

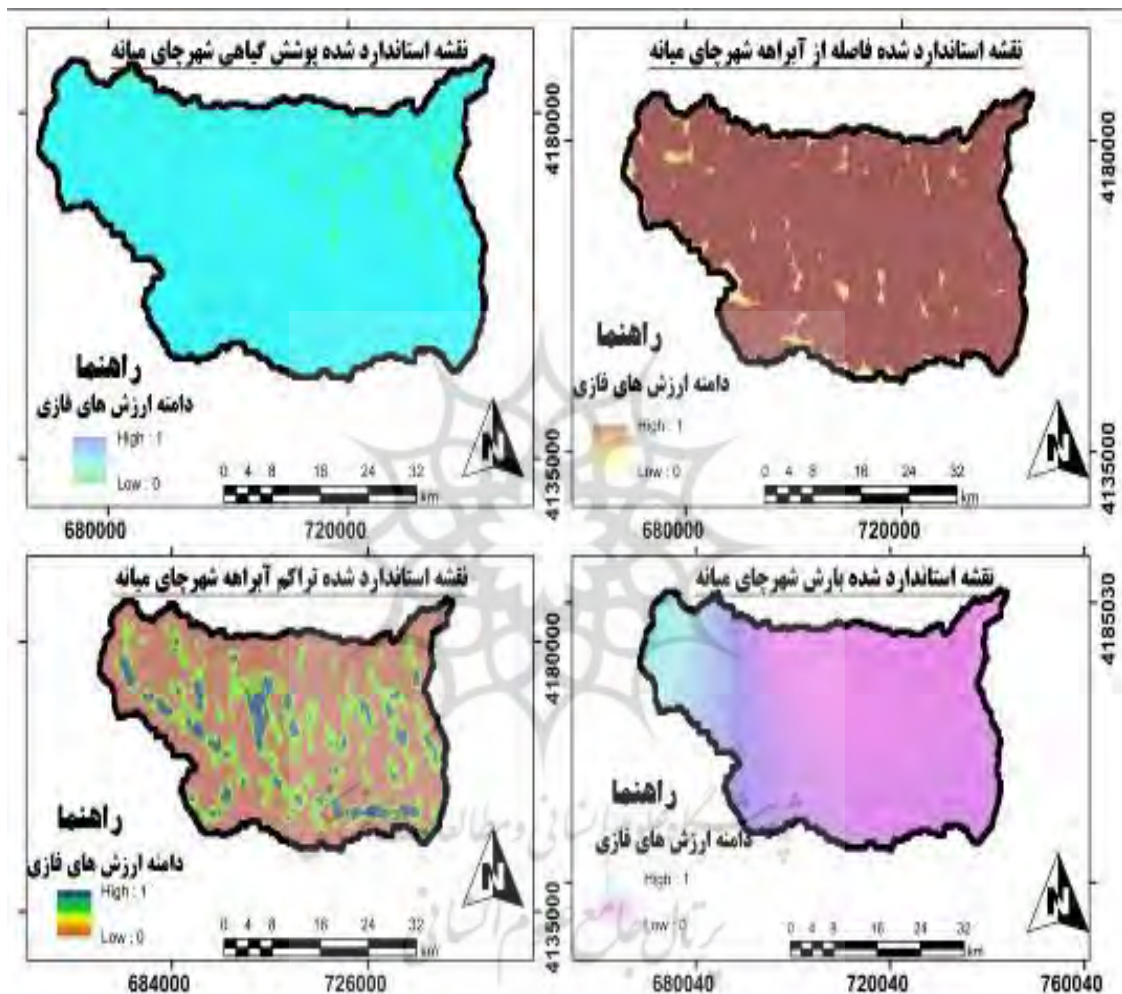
پوشش گیاهی: وجود پوشش گیاهی در سطح حوضه به دلیل اثراتی که در اجزای سیکل هیدرولوژی در مقیاس حوضه دارد، از عوامل کاهش دهنده‌ی سیل خیزی یک حوضه است. به عقیده‌ی بسیاری از متخصصین آبریزداری، با حفاظت خاک و جنگل و مرتع، در اراضی جنگلی سیلاب کمتر تولید می‌شود و یا اصلاً رخ نمی‌دهد. می‌توان گفت روندیابی سیل در حوضه‌های دارای پوشش گیاهی بیشتر در قالب پارامترهایی چون ضریب زبری و نفوذ نقش خود را نشان می‌دهد. حوضه مورد مطالعه از لحاظ پوشش گیاهی غنی نبوده و تنها ۱۱۳ کیلومترمربع از حوضه دارای پوشش گیاهی غنی می‌باشد (شکل ۳).

کاربری اراضی: کاربری اراضی روی جریان رودخانه و وقوع سیلاب به روش‌های مختلفی تأثیر می‌گذارد. از بین بردن پوشش گیاهی و یا تغییر در نوع و نحوه‌ی کشت و کار گیاهانی که تلفات برگ آبی زیادی ندارند سبب افزایش حجم جریان می‌گردد. هرگونه عملیاتی در حوضه که سبب کاهش ذخیره‌ی رطوبت خاک و یا کاهش نفوذپذیری گردد موجب افزایش دبی جریان می‌گردد. نوع کاربری اراضی در منطقه‌ی مورد مطالعه به شش

کلاس کاربری کشت آبی، کشت دیم، مرتع خوب، مرتع ضعیف، اراضی بایر و باغ تقسیم می‌گردد ۵۶ درصد حوضه را اراضی دیمی، بایر و مراتع ضعیف تشکیل می‌دهد که نقش مهمی در وقوع سیلاب دارد (شکل ۳). تراکم آبراهه: میزان تراکم آبراهه‌ها یا تراکم زهکشی در حوضه آبریز عبارت است از نسبت طول کلیه آبراهه‌ها به مساحت کل حوضه که بر حسب  $\text{km}/\text{km}^2$  بیان می‌گردد. تراکم زهکشی به میزان قابل توجهی مبین وضعیت فرسایش در بخش‌های مختلف حوضه می‌باشد. در این حوضه تراکم زهکشی بیشتر است بنابراین عکس‌العمل حوضه در برابر بارندگی نیز سریع‌تر بوده و جریان‌های سطحی با سرعت بیشتری تشکیل می‌شوند لذا سیلاب بیشتری را به دنبال خواهند داشت (شکل ۳).



شکل (۴) نقشه‌ی استاندارد شده شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، لیتولوژی، کاربری اراضی و خاک شهر چای میانه  
**Figure (4):** Standardized Slope map, Slope direction, Elevation classes, Lithology, Land and soil use of Shahr Chai Watershed



شکل (۵): نقشه‌ی استاندارد شده فاصله از آبراهه، پوشش گیاهی، بارش و تراکم آبراهه شهر چای میانه

**Figure (5):** Standardized map of distance from River channel, Vegetation, Rainfall and River density of Shahr Chai Watershed

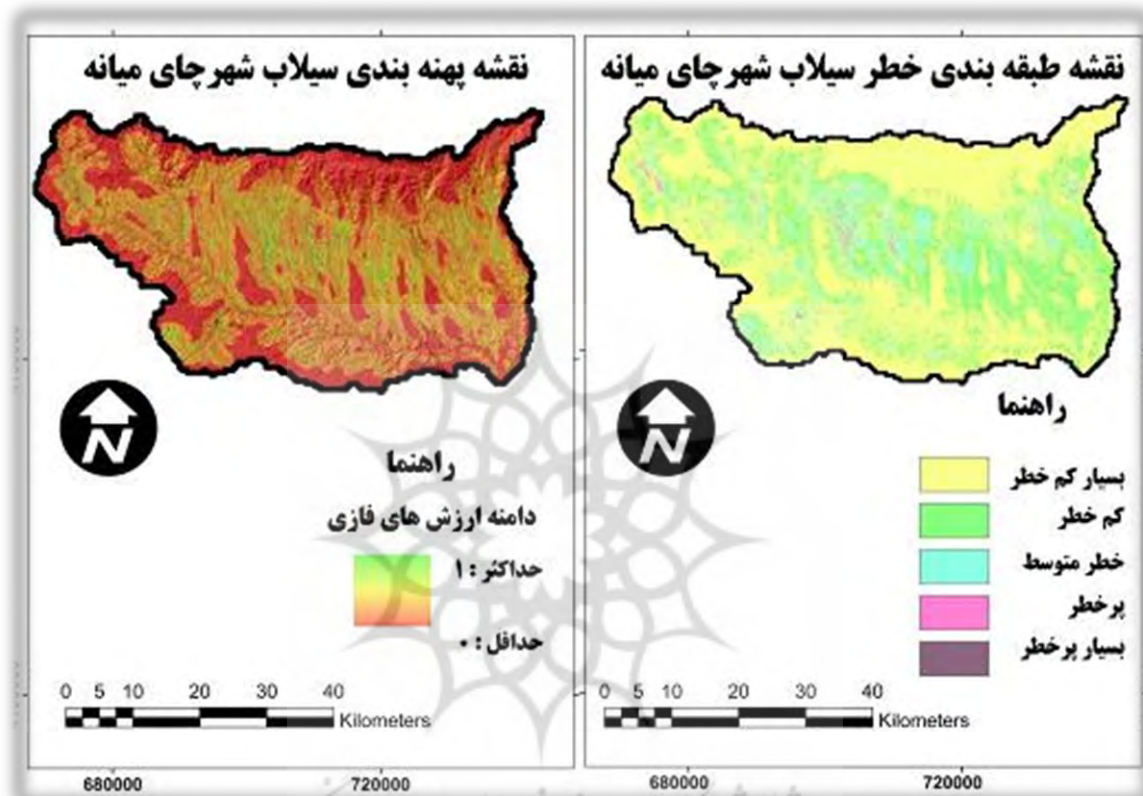
پس از تهیه‌ی نقشه‌ی عوامل موثر در پهنه‌بندی سیلاب حوضه‌ی آبریز شهر چای میانه، استانداردسازی معیارها بر مبنای درجه عضویت فازی در حدفاصل صفر و یک انجام شد. در این نقشه‌ها هر چه به دامنه‌ی ارزشی یک نزدیک می‌شویم، پتانسیل سیل‌خیزی نیز بیشتر می‌باشد و برعکس هر چه ارزشی یک پیکسل به سمت صفر میل می‌نماید، نشانگر پتانسیل کم آن پیکسل از لحاظ پتانسیل خطر سیلاب می‌باشد (شکل ۴ و ۵).

پس از تهیه‌ی نقشه‌های استاندارد شده در رابطه با هریک از معیارهای مطرح در پهنه‌بندی سیلاب حوضه‌ی آبریز شهر چای میانه و اعمال نمودن وزن‌های مربوطه جدول ۲، نقشه‌های به‌دست‌آمده از مراحل قبلی وارد مدل ویکور شده و با اعمال مراحل مختلف مدل بر روی نقشه‌ها، خروجی نهایی شکل ۶ به دست آمد. همان‌گونه که در نقشه‌ی نهایی حاصل از روش پژوهش نشان داده‌شده است دامنه‌ی ارزشی بین صفر و یک می‌باشد که ماهیت فازی دارد. در ادامه با توجه به دامنه‌ی مقادیر حاصل از مدل نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر سیلاب را در محیط نرم‌افزار Arc Map و با استفاده از دستور طبقه‌بندی مجدد در پنچ کلاس بسیار پر خطر تا بسیار کم خطر طبقه‌بندی گردید شکل ۶. با بررسی نقشه‌ی پهنه‌بندی پتانسیل سیلاب در محدوده‌ی مورد مطالعه مناطق پرخطر و بسیار پرخطر عمدتاً در مناطق پرشیب در امتداد آبراه‌های اصلی و کوهستانی قرار گرفته است که به دلیل شیب زیاد و ارتفاع منطقه نقش موثری در میزان رواناب و دبی پیک سیلاب ایفا می‌کند. البته در این مناطق نوع لیتولوژی، کاربری اراضی، خاک و پوشش گیاهی نیز این امر را تشدید می‌کند. هم‌چنین طبق نتایج به‌دست‌آمده از نقشه طبقه‌بندی سیلاب در حوضه‌ی آبریز شهر چای میانه به‌ترتیب ۱۱۲۳/۷، ۳۹۳/۳، ۲۷۸/۷، ۲۲۵/۸ و ۱۳۰/۰۹ کیلومتر مربع در محدوده‌ی بسیار کم خطر، کم خطر، متوسط، پرخطر و بسیار پرخطر قرار گرفته است. متأسفانه تاکنون پژوهشی در حوضه‌ی آبریز شهر چای به منظور پهنه‌بندی سیلاب صورت نگرفته است. ولی این پژوهش با نتایج مطالعات اصغری و همکاران (۱۳۹۴)، عابدینی و همکاران (۱۳۹۶)، فتوحی و کیانی (۱۳۹۳) و موسوی و همکاران (۱۳۹۵) که با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری به پهنه‌بندی سیلاب در سایر حوضه‌های آبریز پرداخته‌اند مطابقت دارد که دلایل این امر می‌تواند ناشی از شباهت حوضه‌های مورد مطالعه از نظر جغرافیایی و اقلیمی باشد.

جدول (۲): وزن حاصل از مقایسه‌ی زوجی معیارهای اصلی در حوضه‌ی آبریز شهر چای

Table (2): The weight obtained from pairwise comparison of the main criteria in the Shar Chai watershed.

معیار	بارندگی	شیب	فاصله از آبراهه	جهت شیب	طبقات ارتفاعی	تراکم آبراهه	لیتولوژی	پوشش گیاهی	کاربری اراضی	خاک
وزن	۰/۱۶۹	۰/۱۱۸	۰/۰۹۵	۰/۱۲۳	۰/۱۰۲	۰/۰۹۶	۰/۰۷۷	۰/۰۵۳	۰/۰۵۲	۰/۰۰۵



شکل (۶): نقشه‌ی پهنه‌بندی سیلاب شهر چای میانه

Figure (5): Flood zoning map of Shahr Chai Watershed

#### ۴- نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش پهنه‌بندی مناطق در معرض خطر سیلاب در حوضه‌ی آبریز شهر چای میانه در استان آذربایجان شرقی می‌باشد. برای ارزیابی و شناسایی مناطق پرخطر با استفاده از ویژگی‌های طبیعی و مورفولوژیکی از ده فاکتور موثر در وقوع سیلاب تراکم آبراهه، فاصله از آبراهه، لیتولوژی، خاک، شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، بارش، کاربری اراضی و پوشش گیاهی استفاده گردیده است. در این پژوهش سعی گردید در چهارچوب مدل ویکور که به عنوان یکی از مدل‌های برجسته چندمعیاری می‌باشد تأثیر مولفه‌های موثر در شکل‌گیری پتانسیل سیل‌خیزی مورد توجه قرار گرفت سپس فازی‌سازی نقشه‌ها به وسیله‌ی توابع فازی موجود در نرم‌افزار Arc Map صورت گرفت و پس از تهیه‌ی نقشه‌های استانداردشده در رابطه با هر یک از معیارهای مطرح در نقشه‌ی پهنه‌بندی سیلاب حوضه‌ی آبریز شهر چای میانه و اعمال کردن وزن‌های مربوطه نقشه‌های حاصله وارد

مدل ویکور شده و با اعمال مراحل مختلف بر روی نقشه‌ها خروجی نهایی به دست آمد. وزن‌دهی به معیارها به روش سلسله مراتبی و با نرم‌افزار Expert Choice انجام گرفت. نتایج نشان داد که شیب، بارندگی، جهت شیب و طبقات ارتفاعی به ترتیب با وزن ۰/۱۸، ۰/۱۶۹، ۰/۱۲۳ و ۰/۱۰۵ بیشترین، کاربری اراضی و خاک کمترین ضریب تأثیر را در وقوع سیلاب، در این حوضه دارند. بررسی و مطالعه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی پتانسیل سیلاب در این حوضه نشان می‌دهد که مناطق پرخطر و بسیار پرخطر عمدتاً در منطق پرشیب در امتداد آبراهه‌های اصلی و کوهستانی قرار گرفته است که به دلیل شیب زیاد و ارتفاع منطقه نقش موثری در میزان رواناب و دبی پیک سیلاب ایفا می‌کند. هم‌چنین در حوضه‌ی آبریز شهر چای میانه به ترتیب ۵۲، ۱۸/۲، ۱۲/۹، ۱۰/۴۵ و ۶/۰۲ درصد در محدوده‌ی بسیار کم خطر، کم خطر، متوسط، پرخطر و بسیار پرخطر قرار گرفته است. برای کاهش خطر سیلاب در مناطق بسیار پرخطر، پرخطر و مناطق با خطر متوسط لازم است اقدامات آبریزداری و حفاظتی مانند کاهش سرعت و شدت جریان رواناب، افزایش زمان تمرکز، ایجاد فرصت برای نفوذ آب و تغذیه‌ی آبخوان‌ها با کشت گیاهان مناسب نسبت به شرایط جغرافیایی منطقه و احیاء مراتع در اولویت قرار بگیرد. هم‌چنین نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حاصل از مدل ویکور می‌تواند در طراحی و اجرای برنامه‌های مدیریتی و عمرانی در حوضه‌ی آبریز شهر چای میانه مورد استفاده قرار گیرد.

#### ۵-منابع

- Abedini, M., Pirozi, E., Aghayari, L., Ostadi, E., (2017). Flood risk zone in Meshkinshahr city using Vikor model, *Quantitative geomorphological research*, 14(56), 21-34.
- Abedini, M., Beheshti Gavid, E., (2016). The risk of flooding of the Liqwan Chai watershed using the network analysis process model and the geographic information system. *Geographical Space*, 16(55), 293-312.
- Abedini, M., Fathi, M., (2015). Flood hazard zoning using network analysis process (Case study: Khiav chai watershed). *Hydro geomorphology*, 3, 99-120.
- Ahmadi Ikhchi, A., Hajabbassi, M. A., Jalalian, A. (2003). Effects of Converting Range to Dry-farming Land on Runoff and Soil Loss and Quality in Dorahan, Chaharmahal & Bakhtiari Province. *JWSS*; 6 (4):103-115
- Alizadeh, A., (2011). Principles of Applied Hydrology, Ferdowsi University of Mashhad Publications.
- Asghari Sareskanroud, S., Pirozi, E., Zinali, B., (2015). Flood risk zoning in Aq Aqlan Chai watershed using Vikor model. *Quantitative geomorphological research*, 4(3), 231-245.
- Chen, L.Y., Wang, T.C., (2009). Optimizing partners choice in IS/IT outsourcing projects: The strategic decision of fuzzy VIKOR, *International Journal of Production Economics*. Volume 120, Issue 1.
- Das, S. (2020). Flood susceptibility mapping of the Western Ghat coastal belt using multi-source geospatial data and analytical hierarchy process (AHP). *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 20, 100379.
- De Risi, R., Jalayer, F., De Paola, F., (2015). Meso-scale hazard zoning of potentially flood prone areas. *Hydrology*, 527, 316 –325.
- Faramarzi, H., Hosseini, S., Pourqasemi, H., Farnagi, M., (2020). Evaluation and zoning of flood risk in Golestan National Park. *Journal of Eco Hydrology*, 6(4), 1055-1068.
- Fotouhi, S., Kiyani, S., (2014). Urban flood risk zoning using hierarchical analysis process model - Case study: Nahavand city. *Environmental Planning Quarterly*, 29, 133-153.
- Ghanvati, E., Babaei Aqdam, F., Hemati, T., Rahimi, M., (2015). Potential flooding zoning using fuzzy logic in GIS environment (Case study: Khiav Chai of Meshkinshahr basin). *Hydro geomorphology*, 3, 121-135.
- Ghanvati, E., Karam, A., Agha Alikhani, M., (2012). Assessment and zoning of flood risk in Farahzad basin (Tehran) using fuzzy model. *Geography and Environmental Planning*, 23(4), 121-138.



- Goodarzi, M., Fatehifar, A., (2019). Flood risk zone due to climate change under RCP 8.5 scenario using SWAT hydrological model in GIS environment (Azarshahr Chai basin). *Applied Research in Geographical Sciences*, 19(53), 99-117.
- Guhathakurta, P., Sreejith, O. P., & Menon, P. A. (2011). Impact of climate change on extreme rainfall events and flood risk in India. *Earth System Science*, 120(3), 359.
- Gül, G. O., Harmancıoğlu, N., & Gül, A. (2010). A combined hydrologic and hydraulic modeling approach for testing efficiency of structural flood control measures. *Natural Hazards*, 54(2), 245-260.
- Haq, M., Akhtar, M., Muhammad, S., Paras, S., & Rahmatullah, J. (2012). Techniques of Remote Sensing and GIS for flood monitoring and damage assessment: A case study of Sindh province, Pakistan. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 15(2), 135-141.
- Hejazi, A., Khodayi geshlag, F., Khodayi geshlag, L., (2019). Flood hazard zoning in the Varkesh Chai using HEC-RAS model and HEC-GEO- RAS extension. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, 19(53), 137-155.
- Ilkhchi, A., Haj Abbasi, M., Jalalian, A., (2002). The effect of changing the use of rangeland to rainfed lands on runoff production. *Journal of Agricultural Sciences and Technology and Natural Resources*, 6(4), 25-36.
- Karam, A., Derakhshan, F., (2012). Flooding, flood assessment and performance appraisal of surface water drainage canals in urban basins Case study: Abshouran basin in Kermanshah. *Natural Geography Quarterly*, 5(16), 37-55.
- Karami, F., Bayati Khatibi, M., (2013). Nikjo, M., Mokhtari, D., Investigation and analysis of active geomorphological and tectonic evidence in the northern basins of Shahrchay Miyaneh. *Geographical space*, 13(42), 33-53.
- Lai, C., Shao, Q., Chen, X., Wang, Z., Zhou, X., Yang, B., & Zhang, L. (2016). Flood risk zoning using a rule mining based on ant colony algorithm. *Journal of Hydrology*, 542, 268-280.
- Lawal, D. U., Matori, A. N., Yusuf, K. W., Hashim, A. M., & Balogun, A. L. (2014). Analysis of the flood extent extraction model and the natural flood influencing factors: A GIS-based and remote sensing analysis. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 18, No. 1, p. 012059). IOP Publishing.
- Mahmoudzadeh, H., Yari, F., Vahedi, A., (2017). Application of remote sensing and GIS techniques for flood risk zoning in Urmia city with multi-criteria analysis approach. *Natural Geography Research*, 49(3), 719-730.
- Mousavi, M., Nekahban, S., Rakhshani Moghaddam, H., Hosseinzade, M., (2016). Assessment and zoning of flood risk using TOPSIS fuzzy logic in GIS environment, Case study: Baghmalek watershed. *Journal of Natural Environment Hazards*, 5(10), 79-98.

- Oguntunde, P. G., Friesen, J., van de Giesen, N., & Savenije, H. H. (2006). Hydroclimatology of the Volta River Basin in West Africa: Trends and variability from 1901 to 2002. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 31(18), 1180-1188.
- Omidvar, K., Kiyanfar, A., Asgari, Sh., (2010). Expansion of flood potential of Kanjan Cham watershed. *Journal of Natural Geography Research*, 77, 73-90.
- Opricovic, S., & Tzeng, G. H. (2007). Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. *European journal of operational research*, 178(2), 514-529.
- Pappenberger, F., Beven, K., Horritt, M., & Blazkova, S. (2005). Uncertainty in the calibration of effective roughness parameters in HEC-RAS using inundation and downstream level observations. *Journal of Hydrology*, 302(1-4), 46-69.
- Patro, S., Chatterjee, C., Singh, R., & Raghuvanshi, N. S. (2009). Hydrodynamic modelling of a large flood-prone river system in India with limited data. *Hydrological Processes: An International Journal*, 23(19), 2774-2791.
- Rajabi, A., Rajai, T., Tafti, A., (2018). Chalous River flood zone by combining HEC-RAS model and geographic information system. *Scientific-Research Quarterly of the Iranian Geological Society of Engineering*, 11(2), 45-60.
- Rezaei Moghadam, M., Rajabi, M., Daneshfaraz, R., Kheirizadeh, M., (2016). Extension and study of morphological effects of Zarrineh Roud river floods from Sari Qomish to Nowruzlu dam. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 17, 1-20.
- Rezaei Moghaddam, M., Hejazi, S., Valizadeh Kamran, KH., Rahimpour, T., (2020). Analysis of hydrogeomorphic characteristics of Alland Chay watershed in order to prioritize sub-basins in terms of flood susceptibility. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 33, 61-83.
- Rezaei Moghaddam, M., Hejazi, S., Valizadeh Kamran, KH., Rahimpour, T., (2020). Investigation of flood sensitivity of watersheds using hydrogeomorphic indicators (Case study: Aland Chay watershed, northwestern Iran), *Quantitative geomorphological research*, 9(2), 195-214.
- Rostayi, Sh., Mousavi, R., Alizadeh Gorji, Gh., (2017). Flooding of Neka Roud watershed using SCS-CN and GIS / RS models. *Quantitative Research Journal*, 6(1), 108-118.
- Saraf, A., Mohagheghzadeh, Gh., Mohagheghzadeh, N., (2017). Shapoor Khasht river flood zoning using aerial images. *Journal of Geographical Space*, 17(57), 175-194.
- Stephan, R. (2002). Hydrologic investigation by the US Geological survey following the 1996 and 1997 floods in the Upper Yellowstone River, Montana American Recourses Association. In *Annual Montana Section Meeting. Section one* (pp. 1-18).
- Suthirat, K., Athit, P., Patchapun, R., Brundiens, K., Buizer, J. L., & Melnick, R. (2020). AHP-GIS analysis for flood hazard assessment of the communities nearby the world

heritage site on Ayutthaya Island, Thailand. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 101612.

- Vasu, N. N., Lee, S. R., Pradhan, A. M. S., Kim, Y. T., Kang, S. H., & Lee, D. H. (2016). A new approach to temporal modelling for landslide hazard assessment using an extreme rainfall induced-landslide index. *Engineering Geology*, 215, 36-49.
- Valizadeh, K., Dalir Hassannia, R., Azeri Amqani, Kh., (2019). Flood zoning and its impact on the surrounding environment using UAV images and geographic information system. *Remote Sensing Magazine and Geographic Information System in Natural Resources*, 10(3), 59-76.
- Vojtek, M., & Vojteková, J. (2019). Flood susceptibility mapping on a national scale in Slovakia using the analytical hierarchy process. *Water*, 11(2), 364.
- Yen an Wu, Ping-an Zhong, Yu Zhang, Biao Ma, Kun Yan, (2015). Integrated flood risk assessment and zonation method: a case study in Huaihe River basin, China. *Natural Hazards*, 78(1), 635-651.