

هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۷، زمستان ۱۳۹۷، صص ۸۵-۱۰۲

وصول مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۰۹ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۷/۱۰/۰۲

## پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از تلفیق روش‌های SCS-CN و WLC (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی خیاوچای مشکین شهر)

عقیل مددی<sup>۱\*</sup>

الناز پیروزی<sup>۲</sup>

لیلا آقایی<sup>۳</sup>

### چکیده

سیلاب یکی از مهم‌ترین مخاطرات ژئومورفولوژیکی حوضه‌های آبخیز می‌باشد. حوضه‌ی خیاوچای مشکین‌شهر به لحاظ شرایط اقلیمی و توپوگرافی، بسیار مستعد جهت شکل‌گیری سیلاب می‌باشد. بنابراین هدف تحقیق حاضر، پهنه‌بندی حوضه‌ی خیاوچای از لحاظ پتانسیل وقوع سیلاب می‌باشد. در این مطالعه ابتدا، ده عامل شیب، ارتفاع، بارش، CN، ارتفاع رواناب، فاصله از رودخانه، خاک، لیتولوژی، پوشش گیاهی و کاربری. اراضی، به عنوان عوامل مؤثر برای ایجاد سیلاب در منطقه شناسایی شدند. ابتدا نقشه‌ی کاربری اراضی منطقه با استفاده از روش نظارت شده به دست آمد و سپس نقشه‌ی کاربری با جدول شاخص مقایسه و با اطلاعات گروه هیدروولوژیکی خاک تلفیق شد، سپس شماره‌ی منحنی CN تهیه شد و در مرحله‌ی بعد، با لحاظ میانگین بارش و CN، ارتفاع رواناب محدوده با روش SCS محاسبه شد. همچنین، با استفاده از شاخص NDVI، نسبت به تهیه‌ی نقشه‌ی پوشش گیاهی حوضه اقدام شد و سپس سایر لایه‌های اطلاعاتی در محیط GIS تهیه گردید. وزن‌دهی لایه‌ها با استفاده از روش کرتیک انجام شد. تحلیل و مدل‌سازی نهایی با استفاده از مدل WLC، انجام گردید. نتایج مطالعه

۱- دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران (نویسنده‌ی مسئول).

E-mail: aghil48madadi@yahoo.com

۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

۳- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

نشان داد، عوامل ارتفاع، لیتولوژی، شیب و بارش به ترتیب با ضریب وزنی ۰/۱۷۳، ۰/۱۶۳، ۰/۱۳۹ و ۰/۱۳۳، بیشترین تأثیر را بر ایجاد سیل در حوضه‌ی مطالعاتی دارند. همچنین، با توجه به نتایج به دست آمده به ترتیب ۴۱/۴۵۷ و ۷۵/۸۷۵ کیلومترمربع از مساحت محدوده، در طبقه‌ی بسیار پرخطر و پرخطر قرار دارند.

**کلمات کلیدی:** مخاطرات ژئومورفولوژیکی، ترکیب خطی وزنی، شاخص پوشش گیاهی، GIS.

#### مقدمه

یکی از پرحادثه‌ترین مخاطرات طبیعی دنیا، مخاطرات سیلاب می‌باشد. هر سال، سیل خسارات فراوانی به مسکن‌ها، مزارع، زمین‌های کشاورزی، راه‌ها، سدها، پل‌ها و جاده‌ها وارد می‌کند و در برخی موارد سبب مرگ بسیاری از انسان‌ها می‌شود (کرم و همکاران، ۱۳۹۴: ۵۶). می‌توان گفت در مقایسه با سایر مخاطرات طبیعی، سیلاب‌ها با فراوانی زیاد و در فضایی گسترده اتفاق می‌افتند (گرین و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۳: ۳؛ وارد و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۴: ۱). سیل به وضعیتی گفته می‌شود که در آن جریان رودخانه و سطح آب به صورت غیرمنتظره افزایش پیدا کرده و باعث خسارت مالی و جانی گردد (علیزاده، ۱۳۹۰: ۸۴۰). برخی از علل وقوع انواع سیل را می‌توان، ریزش باران شدید یا طولانی، ذوب برف، شکستن سد و لغزش زمین، امواج مرتفع، بستن کانال، شدت بارندگی، نوع بارندگی، زمان و حجم بارندگی، شرایط قبلی رودخانه، زهکشی حوضه، کاربری‌های نامناسب و قطع درختان جنگلی در سرچشمه رودها عنوان کرد (کلائول و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۱: ۱۸؛ تاین سنچلی<sup>۴</sup>، ۲۰۱۲: ۱). حوضه‌ی آبخیز خیاو چای به لحاظ شرایط خاص منطقه، مانند توپوگرافی، شیب و شرایط اقلیمی (بارش‌های ناگهانی و رگباری بهاری،

1- Green et al.,

2- Ward et al.,

3- Kolawole et al.,

4- Tingsanchali

ذوب برف‌ها، طغیان رودخانه‌ها در بهار)، از پتانسیل بالایی برای وقوع سیلاب برخوردار است. از آن نظر که وقوع سیلاب، موجب خسارات مالی و تلفات جانی در منطقه می‌شود، به عنوان مثال: سیل ۱۳۸۰ مشکین‌شهر علاوه بر خسارات اقتصادی، موجب کشته شدن ۳۰ نفر و نیز صدها مجروح و مفقود گردید (عابدینی، ۱۳۹۵: ۱۴۰)، سطح‌بندی محدوده از لحاظ حساسیت به وقوع خطر سیلاب بسیار حائز اهمیت است.

پژوهش‌های ارزنده‌ای، به ویژه در سال‌های اخیر با روش‌های مختلف، به منظور بررسی و مطالعه سیلاب صورت گرفته است: اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۴)، در مطالعه‌ای، با استفاده از روش ویکور به پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه‌ی آبخیز آق‌لاقان چای پرداختند و نتایج به دست آمده نشان داد که عوامل شیب، ارتفاع و فاصله از شبکه‌ی آبراهه، بیش‌ترین تأثیر را بر ایجاد سیل در حوضه‌ی آق‌لاقان چای دارند. مددی و همکاران (۱۳۹۵)، در مطالعه‌ی پهنه‌بندی خطر سیلاب را با استفاده از مدل APN، انجام دادند. به این نتیجه دست یافتند که عوامل شیب، لیتولوژی و خاک بیش‌ترین تأثیر را بر ایجاد سیل در حوضه‌ی آق‌لاقان چای دارند. علیزاده گرجی و همکاران (۱۳۹۶)، به پهنه‌بندی سیلاب حوضه‌ی آبخیز نکارود با استفاده از مدل SCS-CN پرداختند. این تحقیق نشان داد که به کارگیری توأمان از تکنولوژی سنجش از دور و GIS و با استفاده از مدل SCS-CN می‌تواند در تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی سیلاب، مفید باشد. لاول و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۴)، در شهر پرلیز مالزی، پهنه‌بندی سیلاب را انجام دادند و در نهایت، سه عامل لیتولوژی، کاربری زمین و شیب به عنوان عوامل مهم در سیل‌خیزی ذکر شد. عزیزا عباس و هاشیم<sup>۲</sup> (۲۰۱۴)، در شهر کوالالامپور مالزی، به منظور بررسی تأثیر تغییرات فضایی شهر بر تولید رواناب و ایجاد سیلاب، از تکنیک سنجش از دور و روش SCS-CN، استفاده کردند. نتایج مطالعه نشان داد، ارتباط معنی‌داری بین الگوهای فضایی رشد شهری و ارتفاع رواناب وجود دارد. همچنین طبق نتایج مطالعه

---

1- Lawal et al.,

2- Azizah Abas & Hashim

کارایی سنجش از دور و SCS مورد تأیید قرار گرفت. فاریش و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۷)، به پهنه‌بندی خطر سیلاب در منطقه چارساتای پاکستان پرداختند. طبق نتایج به دست آمد، بیشتر مناطق مطالعاتی جزو پهنه‌ی خطر بالا بودند. از سایر مطالعاتی که در زمینه‌ی سیلاب انجام شده است، می‌توان به مطالعات؛ قهرودی تالی (۱۳۸۸)، قنواتی و همکاران (۱۳۹۱) و ثروتی و همکاران (۱۳۹۳)، اشاره کرد. با توجه به پیشینه‌ی تحقیق، از آن نظر که الگوهای تصمیم‌گیری چندمعیاره و استفاده از روش CN، از استقبال بالایی برخوردار بوده است، در این بررسی نیز از روش SCS-CN و WLC، به عنوان قاعده تصمیم‌گیری چندمعیاری، جهت پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی محدوده‌ی مورد مطالعه استفاده شده است.

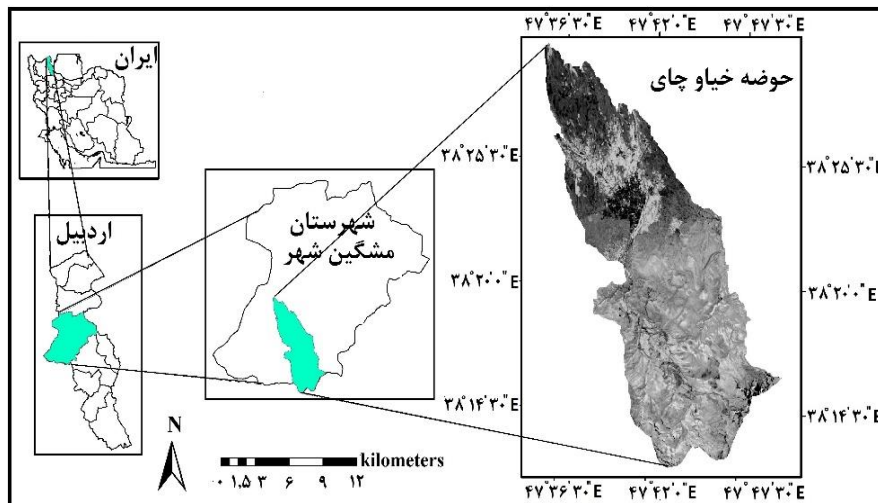
## مواد و روش

### – شناخت محدوده‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی خیابوچای با مساحت حدود ۳۱۸ کیلومتر مربع در ۴۷ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۴۹ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و در شهرستان مشکین‌شهر قرار دارد (شکل ۱). دمای هوا در طول سال بین ۳۰- و ۳۰+ درجه سانتی‌گراد متغیر است و میانگین بارندگی سالانه ۳۷۶/۶ میلی‌متر می‌باشد (ولیزاده کامران و همکاران، ۱۳۹۱: ۴۱). حداکثر ارتفاع محدوده ۴۷۸۰ متر و حداقل ارتفاع آن ۹۲۰ متر از سطح دریا می‌باشد.

به منظور دستیابی به هدف تحقیق ابتدا با مطالعه و بررسی مبانی نظری موضوع، عوامل مؤثر بر وقوع سیلاب شناسایی شد. سپس اقدام به تهیه‌ی نقشه‌های هر یک از معیارهای مطرح، در Arc GIS 10.5 اقدام شد. در این راستا، لایه‌های اطلاعاتی شبکه‌ی آبراهه، منحنی‌های میزان، طبقات ارتفاعی با استفاده از مدل رقومی نقشه‌ی توپوگرافی مشکین‌شهر به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه شد.

1- Farish et al.,



شکل (۱) نقشه‌ی موقعیت محدوده‌ی مورد مطالعه

لایه‌های اطلاعاتی زمین‌شناسی و لیتولوژی با استفاده از نقشه‌ی زمین‌شناسی مشکین‌شهر به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی کشور به دست آمد، نقشه‌ی بارش حوضه با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی در داخل محدوده‌ی مطالعاتی و همچنین ایستگاه‌های مجاور (آمارهای مربوط به سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶) و با به دست آوردن معادله گرادیان بارش ( $P=203/42+0/0751*H$ ) و همچنین استفاده از مدل رقومی ارتفاعی تهیه شد، لایه‌های اطلاعاتی کاربری اراضی محدوده با استفاده از نقشه‌ی کاربری استان به دست آمد و همچنین با به کارگیری داده‌های ماهواره‌ای، نقشه‌ی کاربری حوضه به روز گردید. بدین منظور با استفاده از تصاویر لندست هشت که شامل سنجنده OLI و TIRS، مسیر ۱۶۷ و ردیف ۳۳، مربوط به سال ۲۰۱۶ (تاریخ: ۲۰۱۶/۰۹/۱۳) و نرم‌افزار ENVI 5.3، بعد از انجام تصحیحات اتمسفری تصویر ماهواره‌ای با استفاده از روش Flaash، که قدرتمندترین روش برای تصحیحات اتمسفری می‌باشد، از طریق روش طبقه‌بندی نظارت شده Maximum Likelihood نقشه‌ی کاربری حوضه تهیه شد. نقشه‌ی خاک محدوده با استفاده از

نقشه‌ی خاک استان اردبیل با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ ایجاد شد. شاخص پوشش گیاهی NDVI یکی از پرکاربردترین شاخص‌ها برای پایش پوشش گیاهی است (بینج و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۵: ۵۱۹). مقادیر NDVI مابین 1+ و 1- قرار دارد. سطوح دارای پوشش گیاهی مقادیر بین صفر تا یک است (رابطه‌ی ۱). بنابراین در این مطالعه، با استفاده از شاخص NDVI، نقشه‌ی پوشش گیاهی حوضه تهیه شد. در این رابطه NIR و R به ترتیب معرف بازتاب در طیف مادون قرمز نزدیک و قرمز می‌باشد.

$$\text{رابطه‌ی (۱)} \quad \text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R})$$

یکی از روش‌های تخمین رواناب، روش شماره منحنی (CN) رواناب سازمان حفاظت آمریکا (SCS) است. روش SCS-CN، به سبب سادگی آن خیلی سریع، به یکی از رایج‌ترین روش‌ها در میان مهندسان و کارشناسان تبدیل شد و اساساً برای حوضه‌های کوچک شهری و کشاورزی و حوضه‌های طبیعی متوسط به کار می‌رود (میشرا و تیاگی<sup>۲</sup>، ۲۰۰۶: ۳۰۳). با توجه به اینکه حوضه‌ی مورد مطالعه از دیدگاه رواناب و باران مولد جزء حوضه‌های متوسط محسوب می‌شود و همچنین با توجه به قابلیت‌های روش SCS، در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS و الحاقیه‌های Arc-CN- و Arc-Hydro، Runoff از این روش استفاده شد. در نهایت، جهت پهنه‌بندی پتانسیل خطر سیلاب در حوضه‌ی مورد مطالعه، مدل‌سازی نهایی با استفاده از روش WLC، انجام شده است.

#### مراحل روش WLC (ترکیب خطی وزنی)

۱- هر لایه نقشه‌ی معیار را به صورت استاندارد تهیه می‌شود؛ در این پژوهش، از روش فازی جهت استانداردسازی استفاده شده است. در مجموعه‌های فازی، بیشترین ارزش

1- Binh et al

2- Mishra & Tyagi

یعنی مقدار یک به حداکثر عضویت و کمترین ارزش یعنی صفر به حداقل عضویت در مجموعه تعلق می‌گیرد (سویی<sup>۱</sup>، ۱۹۹۹: ۱۰۳).

۲- وزن‌های معیار را تعیین می‌نماییم، در این مطالعه از روش وزن‌دهی کرتیک استفاده شده است. در این روش، داده‌ها بر اساس میزان تداخل و تضاد موجود بین عوامل یا معیارها مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در این روش، پس از محاسبه‌ی انحراف معیار معیارهای مورد بررسی، ماتریس متقارنی به ابعاد  $m \times m$  ایجاد می‌گردد که شامل ضرایب همبستگی بین بردارهای تشکیل‌شده است. با تعیین پارامترهای بالا، تضاد موجود بین معیار  $j$  با معیارهای دیگر از روی رابطه‌ی (۲) محاسبه می‌شود.

$$C_{jk} = \sum_{k=1}^m (1 - r_{jk}) \quad \text{رابطه‌ی (۲)}$$

که در آن  $C_{jk}$  معرف مجموع تضاد معیار  $j$  با معیارهای  $k$  است که از  $k=1$  شروع شده و تا  $k=m$  ادامه دارد و  $r_{jk}$  همبستگی بین دو معیار  $k$  و  $j$  را نشان می‌دهد. میزان اطلاعات عامل  $j$  را می‌توان با استفاده از رابطه‌ی (۳) محاسبه نمود.

$$C_j = \delta_j \sum_{k=1}^m (1 - r_{jk}) \quad \text{رابطه‌ی (۳)}$$

که در آن  $C_j$  معرف میزان اطلاعات معیار  $j$  و انحراف معیار در مقادیر مربوط به عامل یا معیار  $j$  را نشان می‌دهد. با توجه به روابط یادشده، معیارهایی که دارای  $C_j$  بیشتری باشند وزن زیادی به خود اختصاص خواهند داد. وزن هر عامل مانند  $j$  از رابطه‌ی (۴) تعیین می‌گردد.

$$W_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^m C_k} \quad \text{رابطه‌ی (۴)}$$

که در آن  $W_j$  معرف وزن معیار  $Z$  و  $C_k$  نشانگر میزان اطلاعات مجموع معیارهای  $k$  است که از  $k=1$  شروع شده و تا  $k=m$  ادامه دارد. لذا، وزن نهایی هر معیار، از تقسیم میزان اطلاعات هر معیار بر مجموع میزان کل اطلاعات تمامی معیارها به دست می‌آید.

۳- لایه‌های نقشه‌ی استاندارد شده وزنی را ایجاد می‌کنیم (ضرب لایه‌های نقشه‌ی استاندارد شده در وزن‌های متناظر). ۴- با اعمال عملیات همپوشی جمعی بر روی لایه‌های نقشه‌ی استاندارد شده وزنی، نمره یا امتیاز کل را در رابطه با هر گزینه به دست می‌آوریم؛ گزینه‌ای که دارای بالاترین امتیاز (رتبه) باشد، به عنوان بهترین گزینه شناخته می‌شود. به طور رسمی در قاعده‌ی تصمیم‌گیری برای ارزیابی هر گزینه یا  $A_i$ ، از رابطه‌ی (۵) استفاده می‌شود:

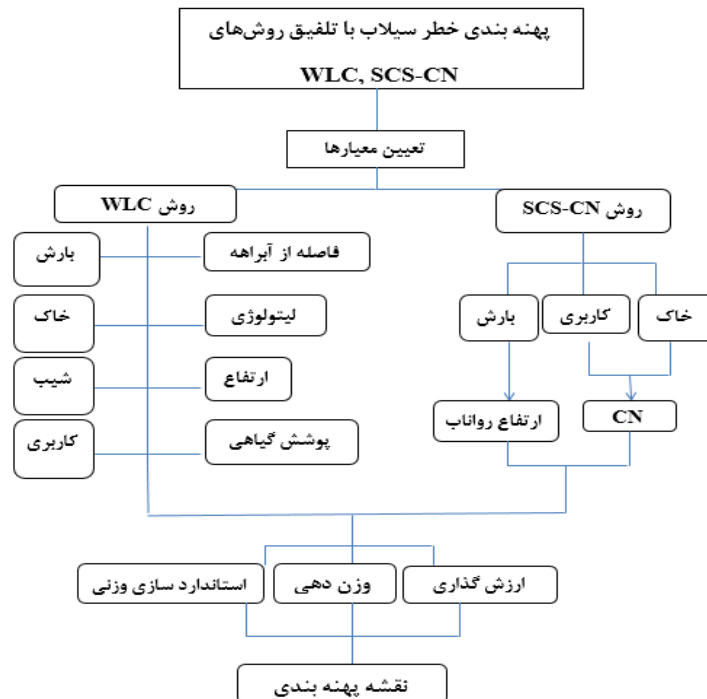
$$A_i = \sum_j W_j X_{ij} \quad \text{رابطه‌ی (۵)}$$

که در آن  $X_{ij}$  معرف نمره‌ی گزینه‌ی  $i$  ام در ارتباط با صفت  $Z$  ام و  $W_j$ ، مشتمل بر یک وزن استاندارد شده است؛ به گونه‌ای که  $\sum W_j = 1$  وزن‌ها اهمیت نسبی هر صفت را به نمایش می‌گذارند. با تعیین ارزش حداکثر  $A_i = i$ ، اولویت‌دارترین گزینه انتخاب می‌شود. در رابطه‌ی (۵)، به مانند معادل رگرسیون تناسب به صورت خطی تعیین می‌شود (مالچفسکی، ۱۳۸۵: ۳۳۹). شکل (۲)، نشانگر فلوجارت مراحل تحقیق می‌باشد.

اولین کار بر اساس روش CN تعیین گروه‌های هیدرولوژیک خاک (نشان‌دهنده‌ی وضعیت بافت و نفوذپذیری خاک)، می‌باشد. خاک‌های با نفوذپذیری مناسب به میزان زیادی، آب‌های حاصل از بارندگی را به زمین نفوذ می‌دهند و اراضی با بافت ریز و فشرده باعث می‌گردد که آب نتواند در زمین نفوذ نماید و قسمت‌های زیادی از آب به صورت رواناب در سطح زمین جاری می‌گردد (اصغری مقدم، ۱۳۷۸: ۲۸۳). خاک حوضه‌ی خیاوچای، شامل چهار گروه  $A, B, C, D$  هست و بیشتر مساحت حوضه از نوع خاک‌هایی است که دارای بافت ریز یا سنگین است و عملاً غیرقابل نفوذ بوده و



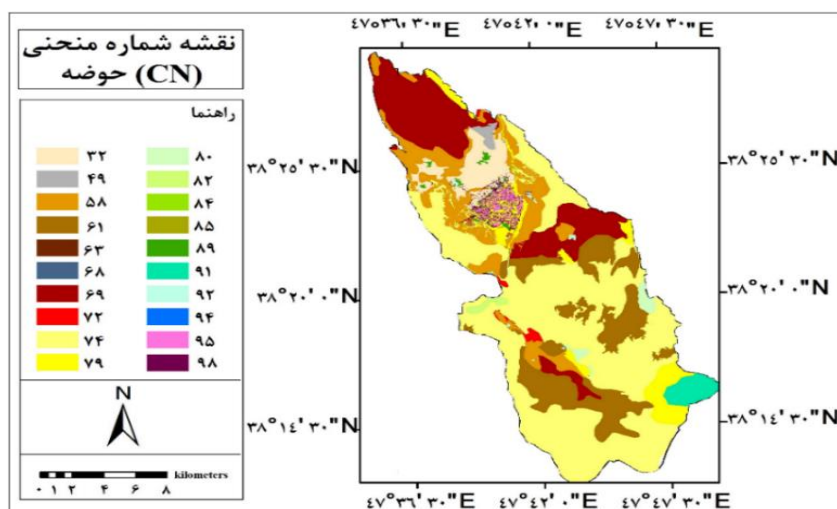
پتانسیل سیل‌خیزی بالایی دارند. معیار دیگری که در تهیه‌ی نقشه‌ی شماره‌ی منحنی (CN)، مورد استفاده قرار گرفته است، کاربری اراضی می‌باشد. کاربری اراضی روی جریان رودخانه و وقوع سیلاب به روش‌های مختلفی تأثیر می‌گذارد. در این مطالعه نقشه‌ی کاربری حوضه با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت شده با ضریب دقت بالا (کاپای ۸۵/۰۵ درصد)، تهیه شد.



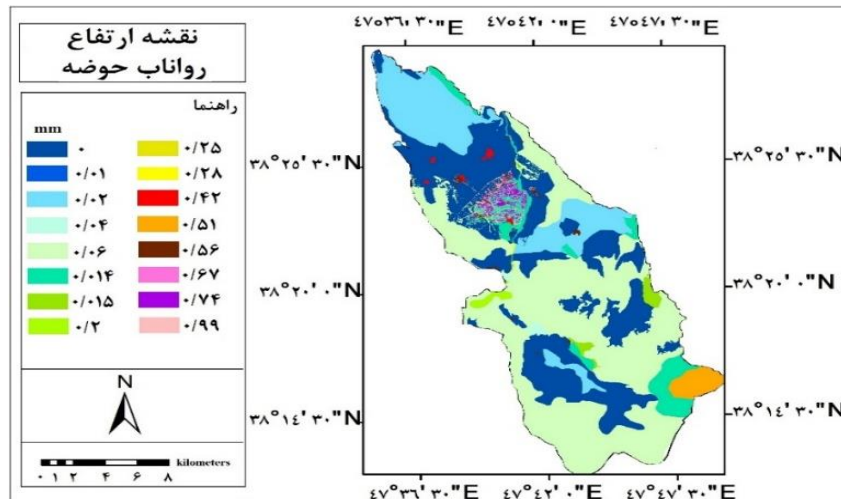
شکل (۲) فلوجارت مراحل تحقیق

در مرحله‌ی بعد با تلفیق گروه‌های هیدرولوژیک خاک و کاربری زمین و مقایسه‌ی نقشه‌ی کاربری اراضی منطقه با جدول شاخص، شماره‌ی منحنی مشخص شد. مقدار CN بین صفر تا ۹۸ متغیر است که در CN برابر صفر رواناب از بارندگی حاصل نیامده و

در CN برابر ۹۸، تمامی بارش در سطح زمین جریان یافته و ارتفاع رواناب برابر با ارتفاع بارندگی خواهد بود. شماره‌ی منحنی کم‌تر، مربوط به مناطق با نفوذپذیری بالا و رواناب کم و شماره‌ی منحنی بالا (۹۸)، مربوط به مناطق با کم‌ترین نفوذپذیری و بالاترین رواناب می‌باشد (شکل ۳). در مرحله‌ی بعد با استفاده از شماره‌ی منحنی‌ها و نقشه‌ی بارندگی منطقه، پتانسیل تولید رواناب‌ها برای هر محدوده، محاسبه شد (شکل ۴). از روی این نقشه چنین برداشت می‌شود که پتانسیل تولید رواناب، در ارتفاعات این حوضه که دارای شیب زیاد و تشکیلات زمین‌شناسی از نوع سخت (سنگ‌های آذرین) هستند و نیز در داخل محدوده‌ی شهری که سطح شهر از سطوح نفوذناپذیر و یا با نفوذپذیری کم (مانند سطوح آسفالتی و مناطق مسکونی و...) تشکیل شده است، مقادیر زیادی داشته و دارای بالاترین رده‌ی پتانسیل سیل‌خیزی می‌باشد.



شکل (۳) نقشه‌ی شماره‌ی منحنی (CN)، حوضه‌ی خیابوچای



شکل (۴) نقشه‌ی ارتفاع رواناب حوضه‌ی خیابوچای

شیب اراضی، تعیین‌کننده‌ی نحوه و میزان جریان و سرعت حرکت آب است و نقش اساسی در میزان رواناب، مقدار نفوذ، شدت سیلاب‌ها و میزان فرسایش دارد. در حوضه‌ی مطالعاتی در فاصله‌ی چند کیلومتری خارج از شهر مشکین شهر از سمت جنوب بر شدت شیب‌ها اضافه می‌شود و تا ارتفاع دامنه‌های سیلان ادامه پیدا می‌کند. درصد شیب اراضی در این نقاط بیش از ۲۰ درصد بوده و به سمت شمال از شدت آن کاسته شده و در حوالی شهر به زیر ۵ درصد می‌رسد. پستی و بلندی (ارتفاع)، حوضه‌ی عامل مهم دیگری است که نقش مهمی در مقدار و نوع ویژگی‌های جوی، وضعیت پوشش گیاهی، تبخیر و تعرق، میزان رواناب و در نهایت ایجاد سیلاب حوضه دارد. جنوب حوضه دارای بیشترین ارتفاع است و شمال حوضه از کمترین سطح ارتفاع برخوردار است. متوسط ارتفاع حوضه ۳۹۰۰ متر است. از لحاظ معیار فاصله از آبراهه می‌توان گفت، از جمله‌ی مهم‌ترین عوامل افزایش خسارات سیل استفاده‌ی نامعقول از حریم مسیل‌های به ظاهر مساعد و بالقوه خطرناک است که در معرض سیلاب‌های ادواری قرار دارند. در حوضه‌ی مطالعاتی فاصله از آبراهه در فواصل صفر تا ۴۰۰۰ متری می‌باشد.

سنگ‌شناسی منطقه و خاک حاصل از آن تا حدود زیادی تعیین‌کننده‌ی شدت و ظرفیت نفوذپذیری بوده و رواناب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. حوضه‌ی مطالعاتی به لحاظ زمین‌شناسی از سازندهای گوناگون و متنوع مربوط به دوران‌های مختلف زمین‌شناسی تشکیل گردیده که بخش اعظم آن متعلق به تشکیلات آذرین می‌باشد. این تشکیلات که حاصل فعالیت‌های آتشفشانی اواخر دوران سوم و اوایل دوران چهارم زمین‌شناسی است که نفوذپذیری پایین و به تبع مقدار رواناب زیاد است. وضعیت پوشش گیاهی نیز تأثیر تمامی موارد دیگر چون بارش، رطوبت خاک و فعالیت‌های کشاورزی را نشان می‌دهد (پرویز و همکاران، ۱۳۸۹: ۲).

پس از تهیه‌ی نقشه‌های معیارهای مطرح در نقشه‌ی پهنه‌بندی پتانسیل سیلاب خیاوچای و اعمال کردن وزن‌های مربوطه (جدول ۱)، نقشه‌های حاصله وارد مدل WLC شده و با اعمال مراحل مختلف مدل بر روی نقشه‌ها، خروجی نهایی (شکل ۵)، در ۵ طبقه‌ی بسیار پرخطر تا بسیار کم خطر به دست آمد. بنابر نتایج حاصل از وزن‌دهی، عوامل ارتفاع، لیتولوژی، شیب و بارش، به ترتیب مهم‌ترین عوامل ایجاد سیلاب در منطقه هستند. نتایج مطالعه‌ی حاضر با مطالعات، اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۴)، که شیب و ارتفاع را به عنوان عوامل مهم در ایجاد سیلاب معرفی کرده‌اند، همخوانی دارد. همچنین نتایج مطالعه حاضر، همانند بررسی مددی و همکاران (۱۳۹۵) و لاول و همکاران (۲۰۱۴)، بر اهمیت عوامل شیب و لیتولوژی، در ایجاد سیلاب تأکید دارد.

با بررسی نقشه‌ی پهنه‌بندی پتانسیل سیلاب محدوده‌ی مورد مطالعه و مقایسه‌ی آن با هر یک از نقشه‌های معیار، این نتیجه حاصل شد که مناطق بسیار پرخطر، در الویت اول، به طور عمده در مناطق پرشیب و کوهستانی منطقه (شیب بیش از ۶۰ درصد)، قرار دارد. به تبع شیب و ارتفاع منطقه، نقش اساسی در میزان رواناب، دبی پیک سیلاب، مقدار نفوذ، تلفات بارش و میزان جریان و سرعت حرکت آب دارد. در این

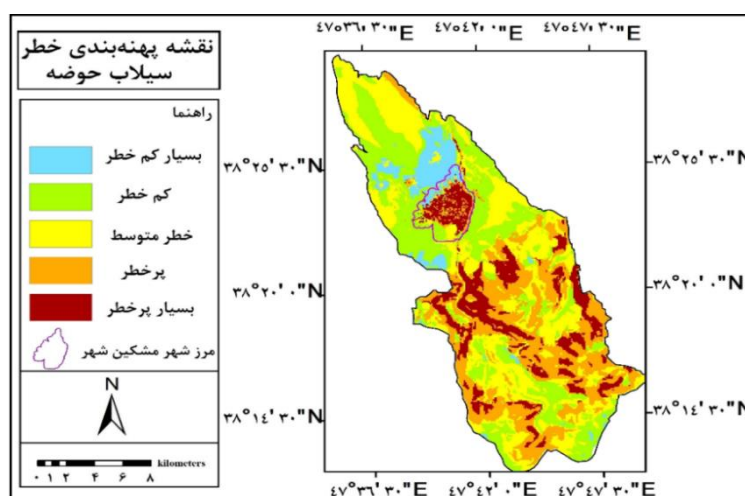
مناطق پرخطر با توجه به اینکه بخش اعظم سازندها متعلق به تشکیلات مربوط به فعالیت‌های آتشفشانی اواخر دوران سوم و اوایل دوران چهارم زمین‌شناسی است، میزان نفوذپذیری بسیار پایین و ارتفاع رواناب و مقدار CN نیز در این مناطق بالا است.

جدول (۱) وزن نهایی معیارهای مطرح در پهنه‌بندی سیلاب

معیار	مجموع تضاد	انحراف معیار	میزان اطلاعات	وزن نهایی
شیب	۸/۴۹۷	۰/۲۹۱	۲/۴۷۹	۰/۱۳۹
ارتفاع	۹/۰۴۵	۰/۳۴۱	۳/۰۸۶	۰/۱۷۳
بارش	۸/۹۱۱	۰/۲۶۴	۲/۳۶۱	۰/۱۳۳
پوشش گیاهی	۲/۳۶۰	۰/۳۸۹	۰/۹۱۹	۰/۰۵۱
CN	۷/۰۸۶	۰/۱۴۸	۱/۰۵۵	۰/۰۵۹
رواناب	۷/۹۴۸	۰/۱۱۸	۰/۹۳۷	۰/۰۵۲
فاصله از رودخانه	۸/۲۳۴	۰/۱۱۷	۰/۹۷۰	۰/۰۵۴
خاک	۷/۶۵۴	۰/۲۱۵	۱/۶۴۷	۰/۰۹۲
لیتولوژی	۸/۳۵۹	۰/۳۴۶	۲/۹۰۰	۰/۱۶۳
کاربری	۷/۲۸۳	۰/۱۹۰	۱/۳۹۰	۰/۰۷۸

در الویت دوم مناطق با پتانسیل خطر بالا، در داخل محدوده‌ی شهری مشکین‌شهر قرار دارند. در شهر مشکین‌شهر، در سمت شرق، دره‌ی عمیق خیاوچای قرار دارد که رودخانه‌ی خیاوچای در آن جریان دارد. دو دره‌ی شعاعی دیگر در مسیر طبیعی، جریان آب‌های سطحی را تشکیل می‌دهد که در امتداد آن‌ها محلات مسکونی توسعه یافته‌اند که در معرض سیل و جریان شدید آب‌های سطحی می‌باشند. با توجه به اینکه بیشتر سطح شهر از سطوح آسفالتی و مسکونی تشکیل شده است، مقدار نفوذپذیری بسیار کم است و در مقابل مقدار رواناب (۹۹) و CN (منحنی بالای ۸۰) است. مساحت مربوط به هر یک از طبقات در جدول (۲) ذکر شده است. در نهایت می‌توان گفت، نتایج مطالعه‌ی حاضر همانند نتایج مطالعه‌ی، علیزاده گرجی و همکاران (۱۳۹۶) و عزیزا عباس و هاشیم

(۲۰۱۴)، نشان داد که به کارگیری توأمان از تکنولوژی سنجش از دور و GIS و با استفاده از مدل SCS-CN می‌تواند در تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب مفید باشد.



شکل (۵) نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر سیلاب حوضه‌ی خیابو چای

جدول (۲) اطلاعات طبقات خطر سیلاب محدوددهی مورد مطالعه

بسیار کم خطر	کم خطر	خطر متوسط	پرخطر	بسیار پرخطر	طبقه خطر
۱۹/۲۰۹	۸۵/۰۹۸	۹۶/۳۶۱	۷۵/۸۷۵	۴۱/۴۵۷	مساحت به کیلومتر مربع
۶/۰۴	۲۶/۷۷	۳۰/۳۰	۲۳/۸۶	۱۳/۰۳	مساحت به درصد

### نتیجه‌گیری

سیل یکی از بلاای طبیعی مهمی است که همه ساله باعث ایجاد خسارت‌های مالی و جانی فراوانی می‌شود و به منظور کاهش خسارات و تلفات آن همیشه مورد توجه مدیران و برنامه‌ریزان بوده است. در این تحقیق، پهنه‌بندی سیلاب با تلفیق روش SCS-CN و WIC انجام شده است. بنابر نتایج حاصل از وزن‌دهی، از بین عوامل مؤثر در ایجاد سیلاب محدوددهی مطالعاتی، عوامل ارتفاع با ضریب وزنی (۰/۱۷۳)، لیتولوژی با ضریب

وزنی (۰/۱۶۳)، شیب با ضریب وزنی (۰/۱۳۹) و بارش با وزن (۰/۱۳۳)، به ترتیب مهم‌ترین عوامل ایجاد سیلاب در منطقه می‌باشند. با توجه به نتایج مطالعه می‌توان گفت، استفاده از روش کرتیک، در وزن‌دهی معیارها در پژوهش حاضر می‌تواند گامی در جهت حل معضل استقلال صفات از یکدیگر باشد که به هنگام مقایسه‌ی زوجی در چارچوب روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و در شرایط عدم تحقق همبستگی بین صفات، عینیت می‌یابد؛ زیرا در این روش، وجود همبستگی بالای یک معیار با معیارهای دیگر، می‌تواند در کاهش وزن آن معیار اثرگذار باشد.

نتایج حاصل از مطالعه نشان داد که به ترتیب ۱۳/۰۳ و ۲۳/۸۶ درصد از محدوده‌ی مطالعاتی در طبقه‌ی بسیار پرخطر و پرخطر قرار دارد. با توجه به نقشه‌ی نهایی، مناطق بسیار پرخطر و پرخطر، در الویت اول، به طور عمده در مناطق پرشیب و کوهستانی منطقه و در الویت دوم در داخل محدوده‌ی شهری (به ویژه در مناطق مرکزی شهر به دلیل تراکم ساخت و سازها و نفوذپذیری کمتر)، قرار دارند. با توجه به نتایج مطالعه، طبقه با پتانسیل خطر متوسط ۳۰/۳۰ درصد از مساحت محدوده را به خود اختصاص داده است. همچنین به ترتیب ۲۶/۷۷ و ۶/۰۴ درصد از مساحت محدوده نیز دارای پتانسیل خطر کم و بسیار کم می‌باشد. نتایج مطالعه حاکی از توان بالای منطقه مورد مطالعه از لحاظ ایجاد خطر سیلاب می‌باشد، لذا اراضی با احتمال خطر بسیار زیاد و زیاد، اراضی هستند که باید اقدامات حفاظتی و آبخیزداری (مانند: جلوگیری از فرسایش و تخریب خاک، کاهش بار رسوبی آب، کاهش سرعت و شدت جریان رواناب، افزایش زمان تمرکز سیلاب، ایجاد فرصت برای نفوذ آب در لایه‌های زیرین حوضه و تغذیه‌ی آبخوان‌ها، کشت گیاهان مناسب با شرایط جغرافیایی دامنه‌ها و احیاء مراتع و ایجاد عرصه‌های فضای سبز) در آن انجام گیرد. همچنین اقداماتی مانند؛ احداث حوضچه‌های رسوب‌گیری، بانکت‌بندی، تراس‌بندی دامنه‌ها و خشکه‌چینی در مناطق پرشیب می‌تواند به عنوان روش‌های مناسب آبخیزداری در کاهش سرعت عمل سیلاب و کاهش فرسایش خاک به کار گرفته شود.

## منابع

- اصغری مقدم، محمدرضا (۱۳۷۸)، جغرافیای طبیعی شهر ۲ (هیدرولوژی و سیل‌خیزی شهر)، چاپ اول، انتشارات مسعی، ص ۲۰۲.
- اصغری سراسکانرود، صیاد؛ پیروزی، الناز و بتول زینالی (۱۳۹۴)، پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه‌ی آق‌لاقان چای با مدل ویکور، مجله‌ی پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال چهارم، شماره‌ی ۳، صص ۲۳۱-۲۴۵.
- پرویز، لاله؛ خلقی، مجید؛ ولیزاده، خلیل؛ عراقی، شهاب و پرویز ایران‌نژاد (۱۳۸۹)، ارزیابی کارایی شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی NDVI از طریق پایش وضعیت پوشش گیاهی، همایش ملی ژئوماتیک، ۱۹ الی ۲۲ اردیبهشت ۱۳۸۹، تهران، صص ۱-۹.
- ثروتی، محمدرضا؛ رستمی، اکبر و فاطمه خدادادی (۱۳۹۳)، امکان‌سنجی وقوع سیل در حوضه‌ی آبخیز لیلان چای (مراغه) به روش CN، فصلنامه‌ی جغرافیای طبیعی، دوره‌ی ۷، شماره‌ی ۲۵، صص ۱۳-۲۶.
- عابدینی، موسی (۱۳۹۵)، هیدروژئومورفولوژی شهری، انتشارات نگین سبلان، ص ۲۲۴.
- علیزاده، امین (۱۳۹۰)، اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ سی و سوم، دانشگاه فردوسی مشهد، ص ۹۲۷.
- علیزاده گرجی، غلامرضا؛ روستایی، شهرام و رمضان موسوی (۱۳۹۶)، تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه بندی سیلاب حوضه‌ی آبخیز نکارود با استفاده از مدل SCS- CN و GIS/RS، مجله‌ی پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ششم، شماره‌ی ۱، صص ۱۰۸-۱۱۸.
- قنوتی، عزت‌الله؛ کرم، امید و مرضیه آقاعلیخانی (۱۳۹۱)، ارزیابی و پهنه‌بندی خطر رخداد سیلاب در حوضه‌ی فرحزاد (تهران) با استفاده از مدل فازی، مجله‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال بیست و سوم، پیاپی ۴۸، شماره‌ی ۴، صص ۱۲۱-۱۳۸.



- قهرودی‌تالی، منیژه (۱۳۸۸)، کاربرد مدل یکپارچه سیلاب شهری در کلان‌شهرها (مطالعه‌ی موردی: شمال‌شرق تهران)، مجله‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای، دوره‌ی ۱، پیش شماره‌ی پاییز و زمستان، صص ۱۶۷-۱۷۸.
- کرم، امیر و امیر صفاری (۱۳۹۴)، نقش سیلاب و فرایندهای رودخانه‌ای در وقوع مخاطرات محیطی در حوضه‌ی ارنکه رودخانه‌ی کرج، نشریه‌ی تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال دوم، شماره‌ی ۲، صص ۵۳-۶۸.
- مالچفسکی، یاچک (۱۳۸۵)، ترجمه: اکبر پرهیزگار و عطا غفاری، سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چندمعیاری، چاپ اول، انتشارات سمت، صص ۵۹۷.
- مددی، عقیل؛ پیروزی، الناز و سمیه پرستار (۱۳۹۵)، پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه‌ی آبخیز آق‌لاقان‌چای با استفاده از مدل ANP، طرح پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی، صص ۱۵۰.
- ولیزاده کامران، خلیل؛ جهانبخش، سعید؛ زاهدی، مجید و مجید رضائی بنفشه (۱۳۹۱)، برآورد تبخیر-تعرق واقعی و تحلیل ارتباط آن با کاربری زمین در محیط GIS مطالعه‌ی موردی: شهرستان مشکین‌شهر، فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، سال دوازدهم، شماره‌ی ۳۷، صص ۳۹-۵۴.
- Azizah Abas, A., Hashim, M., (2014), **Change detection of runoff-urban growth relationship in urbanized watershed**, 8th International symposium of the Digital Earth, Conf. Series: Earth and Environmental Science, 1 012040: PP. 1-6.
- Binh, T., Vromant, N., Hung, N.T., Hens, L., Boon, E.K., (2005), **Land cover changes between 1968 and 2003 in Cai Nuoc, Ca Mau Peninsula, Vietnam**, Environment Development and Sustainability, Vol. 7, No. 2, PP. 519– 536.
- Farish, S., Munawar, S., Siddiqua, A., Alam, N., Alam, M., (2017), **Flood Risk Zonation Using GIS Techniques: District Charsadda, 2010 Floods Pakistan**, Environ Risk Assess Remediat, Vol. 1, No. 2, PP. 29-35.

- Green, C., Diepernk, G., EK, K., Hegger, D., Pettersson, M., Priest, S., Tapsell, S., (2013), **Flood risk management in Europe, the flood problem and interventions**, Star flood project report, project contract No. 308364, PP. 1-32
- Kolawole, O.M., Olayami, A.B., Ajayi, K.T., (2011), **Managing Flood in Nigerian Cities: Risk Analysis and Adaptation Options-Ilorin City as a Case Study**, Scholars Research Library, Vol. 3, No. 1, PP. 17-24.
- Lawal, D.U., Matori, A.N., Yusuf, K.W., Hashim, A.M., Balogun, A.L., (2014), **Analysis of the flood extent extraction model and natural flood influencing factors: A GIS-based and Remote sensing analysis**, 8th International symposium of the Digital Earth, Conf. Series: Earth and Environmental Science ,No.18 012059,PP. 1-7.
- Mishra, S.K., Tyagi, J.V., Singh, R., (2006), **SCS-CN-based modeling of sedimentyield**, Journal of Hydrology, Vol. 324, No. 4, PP. 301-322.
- Sui, D.Z., (1999), **A Fuzzy GIS Modeling Approach for Urban Land Evaluation**, Computer, Environment and Urban Systems, Vol. 16, No. 2, PP. 101-115.
- Tingsanchali, T., (2012), **Urban flood disaster management**, Procedia Engineering, Vol. 32, No. 1, PP. 25-37.
- Ward, P.J., Eisner, S., Florke, M., Dettinger, M. D., Kummerow, M., (2014), **Annual flood sensitivities to El Nino- Southern Oscillation at the global scale**, Hydrology and Earth System Sciences, Vol .18, No. 1, PP. 47-66.