

## بررسی علل وقوع سیلاب و مخاطرات آن در حوضه آبریز زوزچای با استفاده از مدل هیدرولوژیکی

### HEC-HMS و منطق فازی

بیوک فتحعلی زاد- دانشجوی دکتری گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشگاه محقق اردبیلی.  
موسی عابدینی\* - استاد گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشگاه محقق اردبیلی.  
معصومه رجبی - استاد گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشگاه تبریز.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۵/۲۹      تأیید نهایی: ۱۳۹۸/۱۲/۲۷

### چکیده

یکی از راهکارهای اساسی در زمینه مدیریت خطر سیلاب، ارزیابی مکانی پهنه‌های سیل‌خیز و سیل‌گیر در سطح حوضه‌های آبریز است. در این راستا، در پژوهش حاضر حوضه‌ی آبریز زوزچای، واقع در شهرستان مرند استان آذربایجان شرقی، از نظر سیل‌خیزی و سیل‌گیری مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای ارزیابی سیل‌خیزی حوضه مطالعاتی و شبیه‌سازی بارش- رواناب از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS و اکستشن HEC-GeoHMS در بستر نرم‌افزار ArcGIS بهره گرفته شد. برای تهیه نقشه خطر سیلاب (سیل‌گیری) حوضه‌ی مطالعاتی ۱۰ متغیر موثر بر وقوع سیلاب با کاربرد منطق فازی در بستر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) ترکیب شدند. در راستای اهداف تحقیق از نقشه‌های زمین‌شناسی، تصاویر DEM، تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 و Google Earth، نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک، داده‌های اقلیمی و هیدرومتری همراه با هیدروگراف‌ها و هایتوگراف‌های حوضه مطالعاتی بهره گرفته شد. نتایج نشان‌دهنده کارایی بالای رویکرد مورد استفاده در شناسایی پهنه‌های سیل‌خیز و سیل‌گیر می‌باشد. مناطق سیل‌خیز منطبق بر زیرحوضه‌های قسمت‌های میانی حوضه آبریز زوزچای می‌باشند. وجود سازندهای زمین‌شناسی و خاک‌های با نفوذپذیری اندک، شیب زیاد، فقدان یا ضعف پوشش گیاهی، زمان تمرکز و زمان تاخیر اندک از جمله مهم‌ترین دلایل بالا بودن رواناب و هدایت سریع رواناب‌های ناشی از بارش در این زیرحوضه‌هاست. پهنه‌های سیل‌گیر منطقه مطالعاتی عمدتاً منطبق بر دشت‌های سیلابی مجاور آبراهه‌های اصلی و راس مخروط‌افکنه زوزچای می‌باشند. مجاورت با رودخانه، شیب ملایم، تراکم زهکشی بالا، مقادیر پایین شاخص تحدب سطح زمین، مقادیر بالای شاخص عمق دره و به‌هم‌پیوستن دو آبراهه اصلی حوضه مطالعاتی، پخش سیلاب در این پهنه‌ها را مساعدت می‌کنند. وجود مناطق مسکونی در مجاورت آبراهه‌های اصلی منطقه و مکان‌گزینی تمامی یا بخشی از آنها بر روی دشت‌های سیلابی منطقه، خطرات ناشی از سیلاب را به طور قابل توجهی افزایش داده است.

واژگان کلیدی: سیلاب، مدل HEC-HMS، GIS، منطق فازی، حوضه زوزچای.

## مقدمه

سیلاب‌ها جزو رایج‌ترین و پرهزینه‌ترین مخاطراتی به شمار می‌آیند که باعث خسارات و تلفات شدید فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی در مناطق شهری و روستایی می‌شوند (راشتنیا<sup>۱</sup>، ۲۰۱۶: ۱). سیل به هر گونه تراز جریانی گفته می‌شود که بیش از ظرفیت حمل طبیعی مجرای رودخانه بوده، از کناره‌های آن سرریز شده و اراضی کم ارتفاع مجاور را غرقاب می‌سازد (چادی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۳۸). بر اساس آمارهای سازمان ملل متحد، سیلاب‌ها مسئول ۱۵ درصد از کل مرگ و میرهای مربوط به بلایای طبیعی می‌باشند؛ به گونه‌ای که از سال ۱۹۷۳ تا ۱۹۹۷ میلادی حدود ۶۶ میلیون نفر متحمل خسارات ناشی از سیلاب شده‌اند (برنامه ارزیابی آب جهانی<sup>۳</sup>، ۲۰۰۶: ۵۱۱). مردم ممکن است به طور مستقیم و غیر مستقیم تحت تاثیر سیلاب قرار گیرند. اثرات مستقیم عبارتند از: تلفات جانی، خسارات مالی، اختلال در حمل و نقل، ارتباطات، بهداشت و خدمات اجتماعی، خسارت به محصولات کشاورزی و دام و طیور، و وقفه و زیان در کسب و کار. اثرات غیر مستقیم سیلاب‌ها به مراتب مخرب‌تر بوده و شامل عناصری از جامعه می‌باشند که ارزیابی عمیق‌تر و شخصی‌تری از رخداد سیل بر سلامت مردم را منعکس می‌سازد (بادیلا<sup>۴</sup>، ۲۰۰۸: ۳).

علت اصلی سیلاب‌ها بارش‌های سنگین و طولانی‌مدتی است که منجر به رواناب بالا در رودخانه‌ها یا مناطق هموار می‌شوند. از طرف دیگر، بارندگی شدید در طی دوره‌های کوتاه مدت ناشی از رگبارها و هوریکان‌ها نیز می‌تواند منجر به رواناب سریع و ناگهانی و سیل‌های لحظه‌ای<sup>۵</sup> شدید در سراسر دره‌های رودخانه شود، که در مقایسه با سایر انواع سیلاب‌ها به تلفات جانی و مالی گسترده‌تری منجر می‌شوند. نواحی ساحلی نیز هنگامی که طوفان‌ها و امواج بزرگ، آب دریا را به خشکی می‌رسانند در معرض سیل قرار می‌گیرند (فیو<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۴: ۸). در پژوهش حاضر تاکید بر روی سیلاب‌های رودخانه‌ای است. سیلاب رودخانه‌ای به واسطه‌ای مجموعه‌ای از فرایندهای گسسته عمل‌کننده در مقیاس‌های محلی و حوضه‌ای کنترل می‌شود. بیشتر سیلاب‌ها رخدادهای طبیعی حیاتی برای فرایندهای ژئومورفولوژیکی و اکوسیستم رودخانه و دشت سیلابی هستند. با این حال، زمانی که انسان‌ها تحت تاثیر قرار می‌گیرند، سیلاب‌ها به «بلایای طبیعی<sup>۷</sup>» تبدیل می‌شوند. در طی چند هزار سال گذشته سیلاب‌ها در زمره‌ی شایع‌ترین و شدیدترین بلایای طبیعی در سطح زمین، از لحاظ خسارت‌های اقتصادی و تلفات جانی، بوده‌اند. سیلاب‌ها در اکثر حوضه‌های رودخانه‌ای حاصل بارندگی بیش از حدی است که از مکانیزم‌های مختلف جوی ناشی می‌شوند (الکانتارا-ایالا و گودی<sup>۸</sup>، ۲۰۱۰: ۱۱۱).

ارزیابی خطرات سیلاب به منظور مدیریت مناسب ریسک سیل و تاثیرات بالقوه آنها بر روی انسان، اکوسیستم‌ها و منابع طبیعی بسیار مهم است. مدیریت مخاطره سیل شامل تمامی اقدامات برنامه‌ریزی شده جهت اجرا در حوضه بالادست و دشت سیلابی به منظور کاهش سیل می‌باشد و معمولاً شامل تعدیل و تغییر فیزیکی دشت سیلابی و مجرای رودخانه است (الکانتارا-ایالا و گودی، ۲۰۱۰: ۱۱۱). در این زمینه، تهیه نقشه‌های خطر سیل یکی از مهم‌ترین اقدامات در مدیریت ریسک سیلاب به شمار می‌رود که می‌تواند در بستر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) صورت گیرد. کارکرد اصلی GIS ذخیره و اتصال چندین پایگاه داده دیجیتال و لایه‌های موضوعی متفاوت، نمایش گرافیکی این اطلاعات به صورت نقشه‌ها و بررسی نحوه ارتباط بین لایه‌ها می‌باشد. این لایه‌ها عناصر کلیدی مورد نیاز برای مدیریت خطر سیل محسوب می‌شوند

1 - Rashednia

2 - Chadee

3 - World Water Assessment Programme (WWAP)

4 - Badilla

5 - Flash floods

6 - Few

7 - Natural disasters

8 - Alcántara-Ayala and Goudie

(دفتر حسابداری عمومی ایالات متحده<sup>۱</sup>، ۲۰۰۴: ۱۴). اطلاعات مذکور ممکن است از منابع مختلفی از جمله سنجش از دور، GPS، سرشماری، نمونه‌های خاک، سیستم‌های اندازه‌گیری رودخانه و ایستگاه‌های هواشناسی حاصل شوند. علاوه بر این، داده‌های تاریخی به شناسایی محل احتمالی رخداد سیل کمک می‌کنند (خانا<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۶: ۷). تهیه نقشه خطر سیلاب و تعیین حدود ناحیه ریسک امر خطیری است که از طریق کاربست یکپارچه GIS و سنجش از دور میسر است. در مطالعه‌ای که در مالزی انجام پذیرفت، یک مدل خطر سیل مبتنی بر سنجش از دور و GIS با استفاده از محدوده معلوم نواحی سیل‌گیر تهیه گردید (پرادهان<sup>۳</sup>، ۲۰۰۹: ۱۴). نواحی تاریخی سیل‌گیر از تصاویر RADARSAT و ویژگی‌های زمین (به عنوان مثال، شیب، جهت شیب، جهت جریان) از تصاویر DEM استخراج گردید. نقشه‌های خاک، بافت خاک، پوشش زمین و اطلاعات بارش به‌روز شدند تا تعریف ویژگی‌های مربوط به سیل امکان‌پذیر شود. سپس نقشه خطر سیل با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک تولید شد. در مطالعات مایر<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۹: ۲) و والینگ‌فورد<sup>۵</sup> (۲۰۰۷: ۷)، یک رویکرد چند معیاره به منظور مدیریت ریسک سیل ارائه شد. در این زمینه GIS یک محیط بهینه برای ارائه احتمالات مختلف برای تحلیل چند معیاره مسائل مکانی از قبیل سیل فراهم می‌سازد. مدل‌های هیدرولوژیکی به عنوان یک رویکرد دیگر در تهیه نقشه خطر سیل به موازات استفاده از رویدادهای تاریخی به عنوان شاخص اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در یک مطالعه توسط کافل<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۰۶: ۲) مدل‌سازی سیل با داده‌های سنجش از دور و GIS برای تهیه نقشه خطر سیلاب در رودخانه باقمتی<sup>۷</sup> نپال یکپارچه گردید. در این تحقیق، یک مدل هیدرولوژیکی در ترکیب با مدل رقومی ارتفاع توسعه داده شد و برای تعیین حدود محدوده‌های سیل‌گیر و تخمین ترازهای سیلاب در مناطقی که اخذ تصاویر رویدادهای سیلاب پیک در دسترس نبودند مورد استفاده قرار گرفت. در مطالعه‌ای دیگر، رویکردی به منظور ترکیب اطلاعات طیفی، فضایی و بافتی<sup>۸</sup> اخذ شده توسط تصاویر IKONOS برای ایجاد یک نقشه دقیق خسارات مالی ناشی از سیلاب جنوب هلند در سال ۱۹۹۵ توسعه یافت. نقشه‌های تفصیلی پوشش زمین، عمق آب و روابط شناخته شده بین عمق آب و خسارت مالی برای تهیه این نقشه مشارکت داده شد (وان در ساند<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۰۳: ۲). ژیانگ<sup>۱۰</sup> و همکاران (۲۰۰۹: ۴) به ارزیابی و اعتبارسنجی ریسک سیلاب بر اساس ریاضیات فازی پرداختند. نتایج حاکی از دقت نسبتاً بالای روش‌شناسی مورد استفاده می‌باشد؛ به گونه‌ای که در حدود ۷۰ تا ۷۵ درصد نواحی سیل‌گیر در پهنه‌های با ریسک زیاد و بسیار زیاد قرار گرفتند. هونگ مینگ<sup>۱۱</sup> و همکاران (۲۰۱۲: ۴)، از طریق شبیه‌سازی مدل گرادیان هیدرودینامیکی و شاخص خطرپذیری هیدرولوژیکی و با ترکیبی از مدل‌های HEC-HMS/RAS، فرایندهای اقلیمی، کوه‌شناسی و هیدرولوژیکی را در کوه‌های کوئینلینگ ارزیابی نموده و به این نتیجه دست یافتند که تغییر اقلیم عامل اصلی وقوع سیل‌های عظیم است و کوه‌های مذکور باعث افزایش رخدادهای رگبار و سیل در منطقه می‌شود. ژیا<sup>۱۲</sup> و همکاران (۲۰۱۹: ۱) به پهنه‌بندی ریسک سیلاب با استفاده از مدل ترکیبی فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و منطق فازی در استان هنان چین پرداختند. نتایج نشان‌دهنده کارایی بالای مدل مورد استفاده در پهنه‌بندی ریسک سیلاب می‌باشد. بر این اساس، آسیب‌پذیری نسبت به ریسک سیلاب در قسمت‌های شرقی استان مطالعاتی نسبت به قسمت‌های غربی بالاست. جعفرنیا و امامقلی‌زاده (۱۳۹۲)

<sup>1</sup> - United States General Accounting Office (GAO)

<sup>2</sup> - Khanna

<sup>3</sup> - Pradhan

<sup>4</sup> - Meyer

<sup>5</sup> - Wallingford

<sup>6</sup> - Kafle

<sup>7</sup> - Baghmati

<sup>8</sup> - Contextual

<sup>9</sup> - Van der Sande

<sup>10</sup> - Jiang

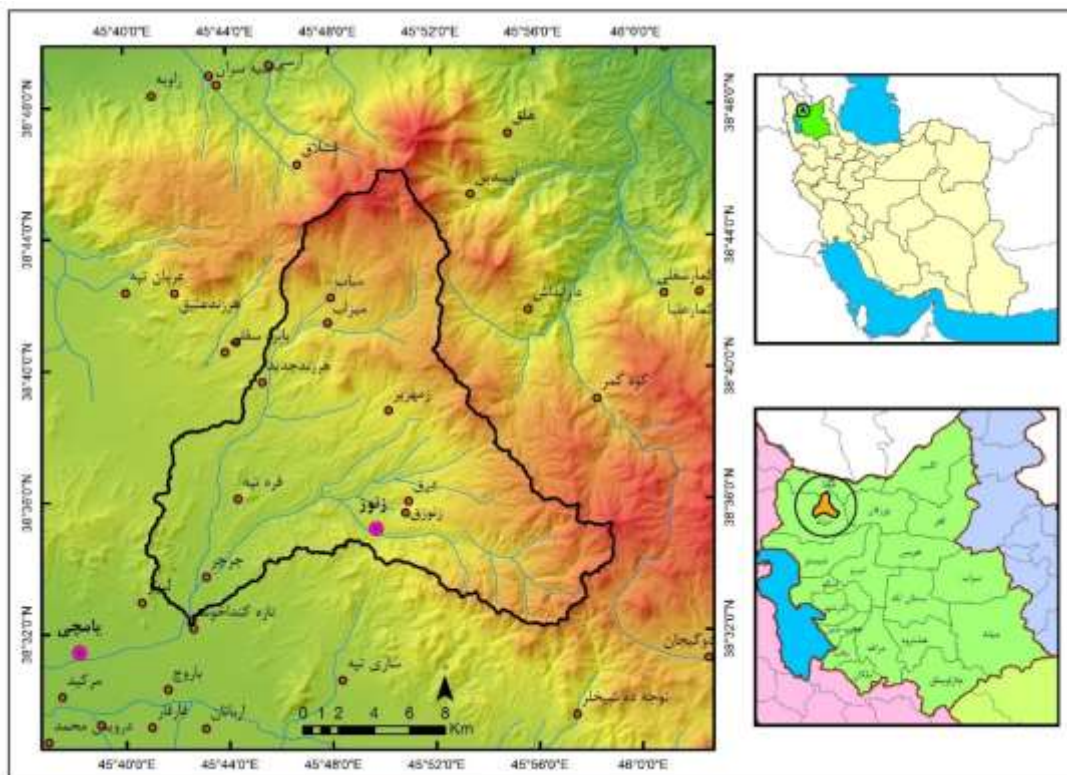
<sup>11</sup> - Hongming

<sup>12</sup> - Jia

به برآورد سیلاب حوضه آبریز رودخانه تلار با استفاده از مدل HEC-HMS پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که پیش‌بینی دبی اوج خطای اندکی داشته است. مدل یاد شده توانایی بسیار خوبی در پی‌بینی دبی اوج سیلاب منطقه دارد. مرادنژادی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی کارایی مدل هیدرولوژیک HEC-HMS در شبیه‌سازی هیدروگراف حوضه‌های آبریز جنگلی خیرود پرداختند. کارایی مدل HEC-HMS پس از واسنجی آن برای شبیه‌سازی دبی اوج سیلاب در حوضه مطالعاتی مورد تأیید قرار گرفت. طاهری تیزرو و همکاران (۱۳۹۵) به منظور تخمین رواناب مناطق فاقد آمار از تلفیق مدل‌های HEC-HMS و GLDAS استفاده کردند. نتایج نشان داد که تلفیق دو مدل HEC-HMS و GLDAS ابزار مفیدی جهت تخمین رواناب در نقاط فاقد آمار حوضه‌های آبریز خواهد بود. حسین‌زاده و ایمنی (۱۳۹۵) به منظور برآورد ارتفاع رواناب و مطالعه وضعیت سیل‌خیزی و هیدرولوژیکی حوضه آبخیز قوچک-رودک، از مدل HEC-HMS استفاده کردند. به منظور اعتبارسنجی مدل پنج واقعه بارش - رواناب از ایستگاه هیدروگرافی رودک استخراج و بعد از مدلسازی، مقدار دبی مشاهداتی با مقدار دبی محاسباتی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج مدل در ارتباط با کارایی مدل مذکور در برآورد رواناب و دبی اوج سیلاب مورد پذیرش نمی‌باشد زیرا اختلاف بین دبی اوج مشاهداتی و محاسباتی بیش از ۲۰ درصد می‌باشد. حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) به مکان‌یابی سطوح موثر بر دبی اوج سیل به منظور برنامه‌ریزی و مهار سیل با استفاده از مدل HEC-HMS در سطح حوضه آبریز طالقان پرداختند. نتایج نشان داد که میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در دبی خروجی کل حوضه تنها تحت تأثیر مساحت و دبی اوج زیرحوضه‌ها نمی‌باشد و عواملی مانند شماره منحنی و گروه هیدرولوژیک خاک نقش قابل توجهی را در سیل‌خیزی دارند. شریفی پیچون و پرنون (۱۳۹۷) به ارزیابی و تحلیل فضایی سیل‌گیری رودخانه قره‌سود با استفاده از منطق فازی در محیط GIS پرداختند. یافته‌ها نشان می‌دهد که در حوضه مطالعاتی اغلب توابع عضویت بین پارامترهای موثر در سیل‌گیری، خطی و به شکل مستقیم می‌باشد. هدف اساسی پژوهش حاضر، ارزیابی مکانی خطر سیل‌خیزی و سیل‌گیری حوضه آبریز زنونزچای می‌باشد.

### منطقه مورد مطالعه

در پژوهش حاضر مخاطره سیلاب در سطح حوضه آبریز زنونزچای مورد بررسی قرار می‌گیرد. حوضه مطالعاتی در استان آذربایجان شرقی و در محدوده سیاسی-اداری شهرستان مرند واقع شده است. مساحت این حوضه در حدود ۳۲۳ کیلومترمربع می‌باشد و در مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۴۶ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۵۹ دقیقه طول شرقی جای گرفته است (شکل ۱). محدوده مورد مطالعه از شمال به ارتفاعات قزل‌داغ با ارتفاع ۲۷۱۲ متر و از شرق به ارتفاعات دربند داغی با ارتفاع ۳۱۸۲ متر و از جنوب به کوه اوداغی با ارتفاع ۲۴۲۴ متر و کوه آق‌داغ محدود شده است. همچنین جاده ترانزیتی تبریز-مرند-جلفا و راه آهن سراسری ایران-آذربایجان-ارمنستان از جنوب منطقه مطالعاتی عبور می‌کند. در مجاورت آبراهه‌های اصلی حوضه زنونزچای مراکز مسکونی مهمی استقرار یافته‌اند که در این میان شهر زنونز از اهمیت بیشتری برخوردار است. زنونزچای به هنگام خروج از واحد کوهستان و ورود به دشت انباشتی مرند مخروط‌افکنه نسبتاً وسیعی را ایجاد می‌کند. این رودخانه پس از عبور از شهر یامچی وارد رودخانه زیلبرچای می‌شود. خود رودخانه زیلبرچای پس از طی دشت مرند وارد قطورچای شده و از این طریق به رودخانه ارس و در نهایت دریای خزر منتهی می‌شود.



شکل ۱: موقعیت حوضه آبریز زونوزچای در شمال غرب کشور

### مواد و روش‌ها

هدف اساسی این تحقیق ارزیابی مکانی سیل‌خیزی و سیل‌گیری حوضه آبریز زونوزچای است. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از: نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (سازمان زمین‌شناسی کشور)، نقشه‌های خاک منطقه (سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی)، تصویر مدل رقومی ارتفاع (DEM) متعلق به ماهواره ALOS-PALSAR با منطقه با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر، تصویر ماهواره‌ای Sentinel-2 با قدرت تفکیک فضایی ۱۰ متر، تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث، داده‌های هواشناسی به همراه داده‌های رگبارهای ثبت شده (هایتوگراف) و داده‌های هیدرومتری به همراه هیدروگراف‌های سیلاب‌ها. در پژوهش حاضر جهت ارزیابی و شناسایی مناطق سیل‌خیز یا به تعبیر دیگر مناطق با پتانسیل بالای تبدیل بارش به رواناب از روش مدل‌سازی هیدرولوژیکی HEC-HMS همراه با الحاقی HEC-GeoHMS و به منظور ارزیابی مکانی سیل‌گیری حوضه‌ی مطالعاتی از تکنیک روی هم-گذاری<sup>۱</sup> فازی لایه‌های موضوعی مربوطه در بستر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) بهره گرفته شد.

HEC-HMS سیستم مدل‌سازی هیدرولوژیکی به منظور شبیه‌سازی فرایندهای بارش- رواناب سیستم‌های حوضه آبریز طراحی شده است. هیدروگراف‌های تولید شده توسط این برنامه به صورت مستقیم یا توأم با نرم‌افزاری دیگر برای مطالعات قابلیت دسترسی آب، زهکشی شهری، پیش‌بینی جریان، اثرات آتی شهرنشینی، طراحی سرریز مخزن، کاهش خسارات سیلاب، تنظیم دشت سیلابی، و عملیات سیستم‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند (مرکز مهندسی هیدرولوژیکی، ۲۰۱۶: ۱). مدل HEC-HMS یک مدل ریاضی است که می‌تواند حجم، دبی اوج و زمان رسیدن به دبی اوج سیلاب را بوسیله شبیه‌سازی رفتار حوضه بازسازی کند. از مزایای این مدل آن است که در حوضه‌های با اندازه، شکل و پارامترهای مختلف قابلیت کاربرد دارد. این مدل فرایند بارش- رواناب را شبیه‌سازی نموده و توسط قابلیت بالای گرافیکی خود قادر به نمایش

<sup>۱</sup> - Overlay

<sup>۲</sup> - Hydrologic Engineering Center

گراف‌های سیلاب در تمامی عناصر (المان) حوضه است. این ویژگی امکان روندیابی موج سیل و بررسی چگونگی عملکرد و برهم نهی موج سیل با مشارکت فعال زیرحوضه‌ها را فراهم می‌کند. ساختار مدل از سه بخش مدل حوضه، مدل هواشناسی و شاخص کنترل تشکیل شده است (امیراحمدی و شیران، ۱۳۸۸: ۱۵۳-۱۷۳). در این رابطه، HEC-GeoHMS به عنوان یک ابزار هیدرولوژی زمین مکانی<sup>۱</sup> برای مهندسان و هیدرولوژیست‌ها با تجربه محدود GIS توسعه یافته است. این برنامه نمایان‌سازی اطلاعات مکانی، مستند کردن ویژگی‌های حوضه آبریز، اجرای تحلیل مکانی، تعیین حدود زیرحوضه‌ها و آبراهه‌ها، ایجاد ورودی‌ها به مدل‌های هیدرولوژیک و کمک به تهیه گزارشات را برای کاربران امکان‌پذیر می‌سازد (مرکز مهندسی هیدرولوژیک، ۲۰۱۳: ۱-۱).

جهت تهیه نقشه خطر سیل‌گیری در سطح حوضه آبریز زنونزچای، ۱۰ متغیر و پارامتر موثر بر سیل‌گیری و پخش سیلاب در بستر سیستم اطلاعات جغرافیایی ترکیب شدند. این متغیرها عبارتند از: ارتفاع، شیب، جهت شیب، تحدب سطح زمین، عمق دره، واحدهای سنگ‌شناختی، تراکم زهکشی، فاصله از آبراهه‌های اصلی، کاربری اراضی و پوشش گیاهی. توزیع ارتفاعات، شیب، جهت شیب، شبکه‌های زهکشی و آبراهه‌های اصلی، تحدب سطح زمین و عمق دره از روی تصویر DEM منطقه استخراج گردیدند. کاربری اراضی منطقه از روی تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث استخراج شد. نقشه پوشش گیاهی منطقه نیز بر اساس شاخص NDVI و از روی تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2 تهیه گردید. رویکرد فازی امکان استاندارد نمودن و ترکیب لایه‌های موضوعی موثر بر سیل‌گیری را به نحو مطلوبی فراهم می‌سازد. نظریه‌ی مجموعه‌های فازی بر منطق فازی استوار بوده و اساساً به منظور اقدام در شرایط ابهام ارائه گردیده است. هر فرد همزمان در مجموعه‌های مختلف ولی به درجات متفاوت عضویت دارد. درجات عضویت مقادیر بین صفر و یک و نیز خود این دو حد را می‌پذیرد. این نظریه در برابر منطق کلاسیک مطرح شده است که هر چیز را بر اساس سیستم دودویی نشان می‌دهد (درست یا غلط، صفر یا یک، سیاه یا سفید). در تئوری مجموعه‌های دقیق اگر یک مجموعه را در نظر بگیریم، هر عضو مجموعه مرجع یا در مجموعه هست یا نیست و می‌توان برای هر مجموعه A تابع زیر را تعریف کرد (مومنی، ۱۳۸۷).

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & x \in A \\ 0 & x \notin A \end{cases} \quad \text{رابطه (۱)}$$

این تابع به هر عضو مجموعه A عدد (۱) و به هر عضو خارج از مجموعه عدد (۰) نسبت می‌دهد. یک مجموعه فازی توسط تابع عضویتی بیان می‌شود که این تابع درجه‌ی تعلق اعضای مجموعه را با یک عدد حقیقی بین [۰ و ۱] نشان می‌دهد. به عبارت دیگر اگر عضویت عنصری در مجموعه A را در بازه‌ای از [۰ و ۱] قرار دهیم به هر X از A عددی در بازه [۰ و ۱] نسبت داده می‌شود. به این تابع، تابع عضویت گفته می‌شود و آن را به صورت  $\mu_A(x)$  نشان می‌دهند که درجه عضویت بین (۰) و (۱) خواهد داشت. تابع عضویت برابر (۱) نشان‌دهنده‌ی عضویت کامل در مجموعه و مقدار (۰) نشان‌دهنده‌ی عدم عضویت کامل عنصر در مجموعه است. بسته نرم‌افزاری ArcGIS پنج عملگر فازی مختلف را جهت ترکیب و روی هم‌گذاری فازی لایه‌های رستری در اختیار می‌گذارد این عملگرها به شرح زیر می‌باشند:

$$\mu_{\text{combination}} = \text{MIN}(\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots) \quad \text{رابطه (۲) - «و» فازی}$$

$$\mu_{\text{combination}} = \text{MAX}(\mu_A, \mu_B, \mu_C, \dots) \quad \text{رابطه (۳) - «یا» فازی}$$

<sup>۱</sup> - Geospatial

$$\mu_{\text{combination}} = \prod_{i=1}^n \mu_i \quad \text{رابطه (۴) - ضرب فازی}$$

$$\mu_{\text{combination}} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i) \quad \text{رابطه (۵) - جمع فازی}$$

$$\text{combination} = (\text{Fuzzy algebraic sum})^\lambda * (\text{Fuzzy } \mu \quad \text{رابطه (۶) - گامای فازی}$$

$$\text{algebraic product})^{1-\lambda}$$

در روابط فوق،  $\mu_i$  تابع عضویت فازی برای لایه موضوعی  $i$  ام و  $\lambda$  یک پارامتر انتخابی در دامنه (۰ و ۱) می‌باشد.

### بحث و یافته‌های تحقیق

#### شبیه‌سازی بارش - رواناب و شناسایی پهنه‌های سیل‌خیز با استفاده از مدل HEC-HMS

در پژوهش حاضر به منظور تهیه و معرفی داده‌های فضایی تحقیق برای شبیه‌سازی بارش - رواناب حوضه آبریز زونچای از اکستنشن HEC-GeoHMS در بستر نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. در ادامه، توزیع فضایی برخی از مهم‌ترین متغیرهای مورد استفاده در شبیه‌سازی بارش - رواناب و شناسایی پهنه‌های سیل‌خیز حوضه آبریز زونچای به صورت اجمالی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد:

توزیع فضایی شیب: میزان شیب و توزیع مکانی آن یکی از مهم‌ترین متغیرهای موثر بر نحوه تبدیل بارش به رواناب و پتانسیل تولید رواناب و سیل‌خیزی در سطح حوضه مطالعاتی به شمار می‌آید. می‌توان بیان داشت شیب سطح زمین رابطه مستقیمی با سیل‌خیزی و رابطه معکوسی با سیل‌گیری دارد. توزیع شیب حوضه آبریز زونچای از روی تصویر DEM منطقه با قدرت تفکیک فضایی ۱۲/۵ متر (شکل ۲، الف) حاصل گردید (شکل ۲، ب). خاطر نشان می‌شود که تصاویر DEM یک مجموعه داده بنیادین برای توسعه مولفه‌های مدل حوضه در HEC-HMS به شمار می‌آید (مارتین<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۲). میانگین شیب حوضه مطالعاتی ۲۴/۶ درصد با انحراف معیار ۱۷/۹ است. این ارقام نشان‌دهنده پرشیب بودن و دامنه نوسان زیاد این متغیر در سطح حوضه مطالعاتی می‌باشد. شیب زیاد باعث افزایش پتانسیل تولید رواناب و سیل‌خیزی حوضه زونچای شده است. پرشیب‌ترین زیرحوضه‌های منطقه در شرق حوضه واقع شده‌اند؛ به گونه‌ای که میانگین شیب در زیرحوضه W15، W16 و W17 به ترتیب برابر با ۴۱/۴، ۳۸/۹ و ۳۳ درصد می‌باشد.

کاربری اراضی: کاربری اراضی با دخالت بر نفوذپذیری، شماره منحنی (CN) و زمان تاخیر تاثیر زیادی بر روی سیل‌خیزی حوضه آبریز دارد. توزیع انواع کاربری‌ها در سطح حوضه آبریز زونچای (شکل ۲، ج) ارتباط مستقیمی را با توزیع ارتفاعات، شیب و در حالت کلی ژئومورفولوژی منطقه نشان می‌دهد. در کل، پوشش عمده حوضه مطالعاتی به تبعیت از حاکمیت اقلیم نیمه‌خشک به صورت مراتع ضعیف تا خوب است. پوشش زمین در ارتفاعات بالا به دلیل افزایش بارش و کاهش دخالت‌های عامل انسانی عمدتاً به صورت مراتع با پوشش گیاهی خوب تا نسبتاً خوب است. این نوع کاربری در حدود ۳۲ درصد از سطح حوضه را شامل می‌شود. مراتع نیمه‌متراکم و کم تراکم به ترتیب در حدود ۲۶ و ۱۸ درصد از سطح حوضه را در برمی‌گیرند. اراضی دیم، با ۱۳ درصد، عمدتاً در قسمت‌های میانی حوضه واقع شده‌اند که بارش نسبتاً کافی و اراضی با شیب ملایم‌تر (نسبت به ارتفاعات بالا) این امر را میسر ساخته است. اراضی کشاورزی آبی (به صورت مخلوط زراعت و باغ) منطبق بر اراضی کم‌شیب و در مجاورت دو آبراهه اصلی حوضه استقرار یافته‌اند. در حدود ۱۰ درصد از سطح حوضه

<sup>1</sup> - Martin

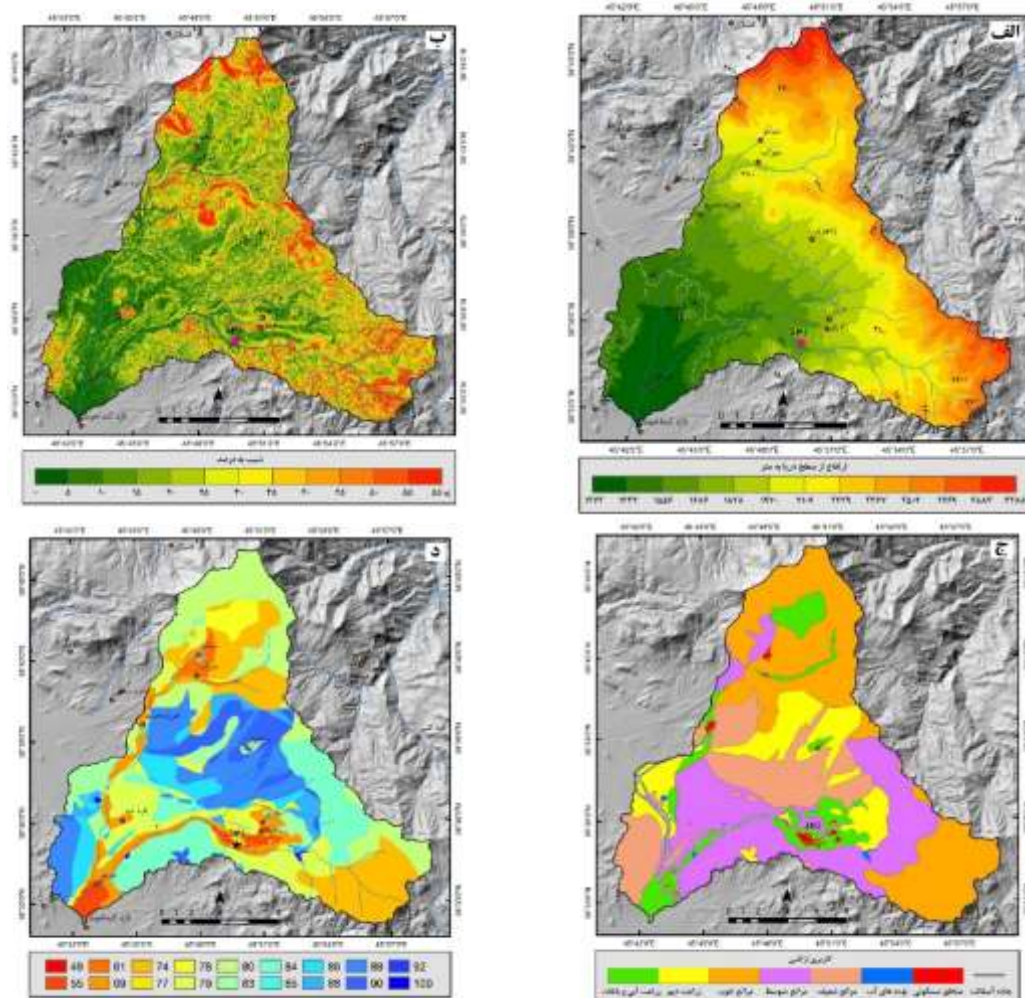
مطالعاتی متعلق به این نوع کاربری می‌باشد. در داخل این کاربری‌ها، اراضی ساخته شده و مسکونی واقع شده‌اند که می‌توانند تولید رواناب را به صورت محلی افزایش دهند. از طرف دیگر به دلیل واقع شدن اغلب مناطق مسکونی در اراضی دشت سیلابی مجاور آبراهه‌های اصلی، ریسک سیلاب در سطح حوضه افزایش یافته است. مناطق مسکونی با سهمی معادل ۰/۴۷ درصد در حدود ۱۵۱ هکتار از سطح حوضه را شامل می‌شوند.

گروه‌های هیدرولوژیکی و شماره منحنی (CN) حوضه: شماره منحنی (CN) یکی از ورودی مهم شبیه‌سازی بارش - رواناب در مدل HEC-HMS محسوب می‌شود. این متغیر بیانگر چگونگی نفوذ بارش یا به بیان دیگر نحوه تبدیل آن به رواناب سطحی است. مقادیر بیشتر این متغیر دلالت بر رواناب سطحی بیشتر و نفوذ کمتر است. اکتساب لایه CN در اکستشن HEC-GeoHMS مستلزم در اختیار داشتن نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، کاربری زمین و DEM هیدرولوژیکی حوضه است.

خاک‌ها از نظر ویژگی‌های هیدرولوژیکی و تولید رواناب سطحی به چهار گروه اصلی A، B، C و D تقسیم‌بندی می‌شوند. خاک‌های گروه (A) بیشترین میزان نفوذپذیری را دارند به همین دلیل از پتانسیل تولید رواناب پایینی برخوردارند. این واحد با مساحت حدود ۷/۳ کیلومترمربع تنها ۲/۲ درصد از سطح حوضه مطالعاتی را پوشش می‌دهد و به صورت محدود در انتهای حوضه (منطبق بر راس مخروط افکنه زنونچای) و اطراف آبراهه اصلی زنونچای پراکنده شده‌اند. هر چند به صورت محلی در اطراف و بستر آبراهه‌های اصلی حوضه نیز پراکنده شده‌اند ولی به علت مساحت اندک از اهمیت پایینی برخوردارند. گروه (B) خاک‌هایی را شامل می‌شوند که عمیق بوده و دارای زهکشی متوسط تا خوبی هستند و بافت ریز تا متوسطی دارند. خاک‌های مذکور توانایی متوسطی از نظر تولید رواناب دارند. در حوضه زنونچای، این واحد هیدرولوژیکی عمدتاً منطبق بر خاک‌های دشت سیلابی مجاور آبراهه‌های اصلی می‌باشند. این واحد با مساحت ۴۴/۵ کیلومترمربع در حدود ۱۳/۸ درصد از سطح حوضه را پوشش می‌دهد. خاک‌های گروه (C) خاک‌های با نفوذپذیری کم بوده و اغلب دارای لایه‌ای هستند که مانع از نفوذ آب به قسمت‌های پایین‌تر می‌شود. ضریب آب‌گذری این واحد کم بوده و بنابراین توانایی تولید رواناب آنها نسبتاً بالاست. این واحد به طور عمده منطبق بر قسمت‌های میانی ارتفاعات حوضه آبریز زنونچای می‌باشد و با مساحت ۱۲۳/۵ کیلومترمربع در حدود ۳۸/۲ درصد سطح حوضه را تشکیل می‌دهد. با توجه به وسعت زیاد و پتانسیل بالای تولید رواناب از اهمیت زیادی در رابطه با سیل‌خیزی حوضه برخوردار هستند. گروه (D) شامل خاک‌های با نفوذپذیری کم هستند و عمدتاً شامل خاک‌های رسی، خاک‌های با یک سفره آب بالا و دائمی، خاک‌های با لایه‌های سخت رسی در سطح و یا نزدیک آن و خاک‌های کم عمق روی تشکیلات تقریباً غیرقابل نفوذ می‌باشند (نجمایی، ۱۳۶۹: ۲۸۸). واحد مذکور با مساحت ۱۴۷/۹ کیلومترمربع در حدود ۴۵/۸ درصد از سطح حوضه مطالعاتی را شامل می‌شوند. بالاترین میزان رواناب در سطح این واحد تولید می‌شود. پراکندگی زیاد این واحد در سطح حوضه مطالعاتی و پتانسیل بالای آن در تولید رواناب اهمیت توجه به اقدامات آبخیزداری بر روی این واحد را نشان می‌دهد.

از ترکیب سه لایه DEM هیدرولوژیکی، گروه‌های هیدرولوژیکی و کاربری اراضی، لایه رستری CN حوضه حاصل گردید (شکل ۲، د). بر اساس این لایه، میانگین CN برای هر زیرحوضه استخراج گردید (جدول ۱). مشارکت شیب‌های تند، کاربری مراتع ضعیف و گروه‌های هیدرولوژیکی C و D باعث شده است که بخش اعظمی از قسمت‌های میانی حوضه مطالعاتی از شماره منحنی بالایی برخوردار باشند. بالاترین مقادیر CN منطبق بر دو زیرحوضه مجاور هم W9 و W10 با مقادیر ۸۸/۹ و ۸۸/۱ می‌باشند.





شکل ۲: توزیع فضایی الف: ارتفاع؛ ب: شیب؛ ج: کاربری اراضی؛ د: شماره منحنی در حوضه آبریز زنونچای

زمان تمرکز و زمان تاخیر؛ زمان تمرکز و زمان تاخیر دو متغیر مهم دیگر در شبیه‌سازی بارش - رواناب و ارزیابی سیل‌خیزی حوضه محسوب می‌شود. در پژوهش حاضر، این دو متغیر با استفاده از روش SCS محاسبه شد. ابزار «Lag Method CN» اکستنشن HEC-GeoHMS برای محاسبه زمان تاخیر از معادله زیر بهره می‌گیرد (مرکز مهندسی هیدرولوژیک، ۲۰۱۳).

$$\text{Lag} = \frac{(L^{0.8} * (S+1)^{0.7})}{(1900 * Y^{0.5})} \quad \text{رابطه (۷)}$$

که در آن: Lag = زمان تاخیر حوضه (به ساعت)، L = طول هیدرولیک آبریز (فوت)، Y = شیب حوضه (به درصد) است. همچنین S از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$S = \frac{1000}{\text{CN}} - 10 \quad \text{رابطه (۸)}$$

همچنین برای محاسبه زمان تمرکز ( $t_c$ ) از طریق رابطه زیر استفاده به عمل می‌آید:

رابطه (۹)

$$t_c = 1.67 (t_{lag})$$

در جدول (۱) زمان تاخیر و زمان تمرکز زیرحوضه‌های زنونچای ارائه شده است. در حالت تطبیقی، مقادیر پایین‌تر این دو متغیر دلالت بر سیل‌خیزی بالا و مقادیر بالاتر نشان‌دهنده سیل‌خیزی پایین است. مقادیر زمان تاخیر در سطح حوضه مطالعاتی از حداقل ۰/۴۲ برای زیرحوضه W21 تا حداکثر ۱/۵۲ برای زیرحوضه W26 متغیر است. مطابق کاهش یا افزایش زمان تاخیر زیرحوضه‌ها، زمان تمرکز نیز کاهش یا افزایش می‌یابد. زمان تمرکز برای زیرحوضه‌های مطالعاتی از حداقل ۰/۷۰ ساعت برای زیرحوضه W21 تا حداکثر ۲/۵۳ ساعت برای زیرحوضه W26 در نوسان است. نکته قابل توجه مربوط به توزیع فضایی این متغیرها در سطح حوضه مطالعاتی است؛ در حالت کلی، این دو متغیر در زیرحوضه‌های بالادست مقادیر پایینی را نشان می‌دهند. این امر باعث انتقال سریع رواناب‌های تولید شده در سطح این زیرحوضه‌ها می‌شود. برعکس برای اکثر زیرحوضه پایین‌دست مقادیر این متغیر بالاست (جدول ۱).

بارش: در حوضه آبریز زنونچای بارش‌های شدید با تداوم بالا یا بارش‌های رگباری با شدت بالا را می‌توان مسئول اصلی رخداد سیلاب‌های رودخانه‌ای دانست. در این رابطه داده‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته از اهمیت بالایی در شبیه‌سازی بارش - رواناب و سیل‌خیزی حوضه مطالعاتی برخوردار می‌باشند. بنابراین، در راستای ارزیابی سیل‌خیزی حوضه مطالعاتی، دوره‌های بازگشت حداکثر بارش ۲۴ ساعته محاسبه گردید. بدین منظور از نرم‌افزار Smada بهره گرفته شد. این نرم‌افزار انواع توابع توزیع متداول شامل توزیع نرمال، لوگ نرمال ۲ پارامتری، لوگ نرمال ۳ پارامتری، گامبل اکستریمال تیپ ۱، پیرسون تیپ ۳، و لوگ پیرسون تیپ ۳ را مورد استفاده قرار می‌دهد. در پژوهش حاضر با توجه به بهترین نوع برازش، لوگ پیرسون تیپ ۳ مبنای محاسبات دوره‌های بازگشت حداکثر بارش ۲۴ ساعته قرار گرفت. مقادیر حداکثر بارش ۲۴ ساعته با استفاده از روش مذکور و به ازای دوره بازگشت‌های مختلف در جدول (۲) ارائه شده است. بر این اساس، مقادیر حداکثر بارش ۲۴ ساعته حوضه آبریز زنونچای از ۱۴/۹ میلی‌متر با دوره بازگشت ۲ ساله و احتمال وقوع ۰/۵ تا ۴۱/۲۹ میلی‌متر با دوره بازگشت ۲۰۰ ساله و احتمال وقوع ۰/۹۹۵ در نوسان است. بدیهی است با افزایش دوره‌های بازگشت بر میزان عدم قطعیت محاسبات افزوده می‌شود با این حال بهتر است انواع احتمالات بارشی شدید در سطح منطقه مطالعاتی مورد توجه قرار گیرد. در شکل (۳) نمونه‌ای از هایتوگراف بارش حوضه مطالعاتی ارائه شده است.

جدول ۱: برخی از مشخصه‌های مربوط به زیرحوضه‌های زونزچای

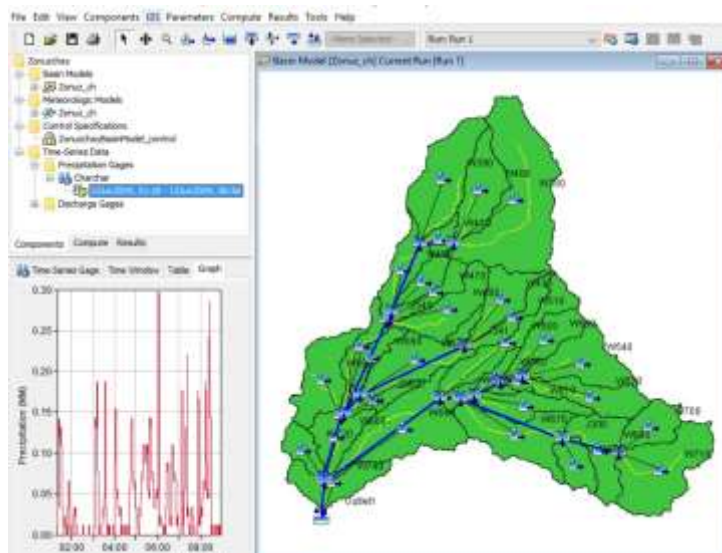
زیرحوضه	مساحت (Km <sup>2</sup> )	محیط (Km)	طول حوضه (Km)	شیب آبراهه	شیب حوضه	ارتفاع حوضه	CN	زمان تمرکز	زمان تاخیر	ضریب گراویتیوس
W1	۱۸/۰	۲۸/۳	۱۰/۲	-/۱۳۶	۳۶/۵	۲۴۱۳/۴	۷۸/۱	۱/۵۴	-/۹۲	۱/۸۷
W2	۱۲/۰	۲۴/۷	۸/۸	-/۱۴۱	۲۱/۶	۲۳۳۱/۷	۷۴/۴	۱/۹۹	۱/۱۹	۱/۹۹
W3	۳۷/۹	۴۷/۲	۱۵/۳	-/۰۸۷	۲۹/۳	۲۳۹۴/۸	۷۷/۶	۲/۴۳	۱/۴۵	۲/۱۴
W4	۳/۰	۱۱/۷	۴/۱	-/۰۶۵	۲۳/۲	۱۹۹۹/۲	۷۰/۳	۱/۱۷	-/۷۰	۱/۹۰
W5	۷/۸	۲۴/۷	۸/۷	-/۰۷۰	۲۳/۱	۱۷۹۶/۴	۷۷/۷	۱/۷۳	۱/۰۴	۲/۴۷
W6	۴/۷	۱۵/۴	۵/۸	-/۰۹۱	۲۷/۴	۱۸۴۰/۸	۸۷/۰	-/۱۸۵	-/۵۱	۱/۹۷
W7	۴/۹	۱۹/۰	۷/۵	-/۰۹۳	۳۱/۳	۱۸۷۶/۲	۸۳/۶	۱/۰۹	-/۱۶۶	۲/۳۹
W8	۱۱/۴	۲۶/۵	۱۰/۰	-/۰۸۰	۲۲/۸	۱۸۶۷/۴	۸۶/۸	۱/۴۵	-/۱۸۷	۲/۲۰
W9	۹/۳	۲۴/۵	۸/۵	-/۱۳۰	۲۶/۳	۲۰۵۶/۱	۸۸/۱	۱/۱۲	-/۱۶۷	۲/۲۴
W10	۵/۵	۲۴/۰	۸/۶	-/۱۳۲	۲۱/۸	۲۰۲۱/۸	۸۸/۹	۱/۲۰	-/۱۷۳	۲/۸۷
W11	۱۱/۸	۳۶/۷	۱۲/۸	-/۰۹۴	۲۶/۳	۱۹۲۵/۲	۸۶/۶	۱/۶۵	-/۹۹	۲/۹۹
W12	۸/۵	۲۱/۶	۸/۰	-/۱۳۷	۳۱/۹	۲۰۶۰/۰	۸۶/۹	۱/۰۱	-/۱۶۱	۲/۰۸
W13	۱۳/۵	۲۵/۹	۸/۸	-/۰۷	۳۰/۰	۲۱۷۷/۹	۸۵/۱	۱/۲۰	-/۱۷۳	۱/۹۸
W14	۱۰/۴	۲۶/۴	۹/۹	-/۰۹۶	۲۴/۷	۲۲۱۷/۲	۸۴/۳	۱/۵۰	-/۹۰	۲/۳۹
W15	۷/۵	۱۶/۵	۶/۷	-/۱۳۲	۴۱/۴	۲۴۹۳/۱	۷۸/۵	۱/۰۲	-/۱۶۱	۱/۶۹
W16	۲۰/۸	۲۹/۷	۸/۷	-/۱۳۰	۳۸/۹	۲۴۸۰/۹	۷۵/۱	۱/۴۵	-/۱۸۷	۱/۸۳
W17	۱۱/۲	۲۵/۷	۷/۴	-/۰۸۲	۲۳/۰	۲۱۷۲/۰	۷۹/۲	۱/۲۱	-/۱۷۲	۲/۱۵
W18	۵/۹	۱۵/۴	۴/۸	-/۱۱۶	۳۱/۳	۲۱۰۹/۰	۷۷/۴	-/۹۳	-/۱۵۶	۱/۷۷
W19	۱۶/۶	۳۲/۷	۱۰/۳	-/۰۷۶	۲۶/۴	۱۸۴۰/۸	۷۵/۰	۲/۰۱	۱/۲۰	۲/۲۵
W20	۷/۹	۲۴/۰	۸/۹	-/۰۷۷	۲۰/۴	۱۸۴۳/۴	۷۵/۹	۱/۹۹	۱/۱۹	۲/۴۰
W21	۱/۵	۱۱/۳	۳/۱	-/۰۷۸	۲۱/۷	۱۷۶۶/۱	۸۰/۸	-/۱۷۰	-/۴۳	۲/۵۶
W22	۳/۴	۱۷/۲	۵/۲	-/۰۶۸	۲۱/۶	۱۷۱۰/۰	۸۵/۲	-/۹۳	-/۱۵۶	۲/۶۱
W23	۲/۲	۱۲/۰	۳/۸	-/۰۴۸	۲۱/۱	۱۵۸۷/۳	۸۱/۱	-/۱۸۴	-/۱۵۰	۲/۲۴
W24	۱۵/۴	۳۴/۸	۱۲/۲	-/۰۴۳	۱۵/۶	۱۶۰۴/۸	۸۳/۶	۲/۲۸	۱/۳۷	۲/۴۹
W25	۴/۸	۱۷/۹	۷/۵	-/۰۳۲	۱۳/۹	۱۵۲۳/۱	۸۰/۷	۱/۸۰	۱/۰۸	۲/۳۹
W26	۴/۷	۲۶/۴	۹/۱	-/۰۳۷	۱۲/۸	۱۵۳۸/۱	۷۶/۱	۲/۵۳	۱/۵۲	۲/۴۰
W27	۱۳/۴	۲۸/۷	۹/۴	-/۰۳۲	۱۰/۰	۱۴۸۳/۳	۸۴/۹	۲/۲۲	۱/۳۳	۲/۱۹
W28	۳/۸	۲۰/۰	۶/۴	-/۰۳۵	۱۲/۷	۱۴۶۹/۸	۷۷/۵	۱/۸۳	۱/۱۰	۲/۸۶
W29	۲۲/۷	۳۸/۴	۱۳/۰	-/۰۴۰	۱۸/۳	۱۵۲۴/۰	۸۰/۳	۲/۴۷	۱/۴۸	۲/۲۶
W30	۸/۳	۲۱/۶	۷/۱	-/۰۳۲	۱۱/۰	۱۳۸۷/۱	۸۰/۰	۱/۹۹	۱/۱۹	۲/۱۰
W31	۴/۸	۱۴/۴	۴/۹	-/۰۵۹	۲۶/۰	۱۴۴۰/۵	۸۷/۸	-/۱۷۴	-/۴۴	۱/۸۴
W32	۹/۱	۲۴/۸	۶/۸	-/۰۴۷	۱۲/۵	۱۳۶۳/۲	۷۳/۶	۲/۲۲	۱/۳۳	۲/۳۰

جدول ۲: حداکثر بارش ۲۴ ساعته حوضه زونزچای به ازای دوره‌های بازگشت مختلف محاسبه شده با تابع لوگ پیرسون تیپ ۳

انحراف معیار	بارش (میلی‌متر)	دوره بازگشت (سال)	احتمال وقوع
۸/۵۱	۴۱/۲۹	۲۰۰	۰/۹۹۵
۷/۰۱	۳۹/۸۸	۱۰۰	۰/۹۹۰
۵/۳۹	۳۷/۹۵	۵۰	۰/۹۸۰
۳/۷۴	۳۵/۳۴	۲۵	۰/۹۶۰
۱/۸۱	۳۰/۴۴	۱۰	۰/۹۰۰
۱/۱۲	۲۵/۱۷	۵	۰/۸۰۰
۱/۱۹	۲۰/۰۶	۳	۰/۶۶۷
۱/۱۵	۱۴/۹۰	۲	۰/۵۰۰

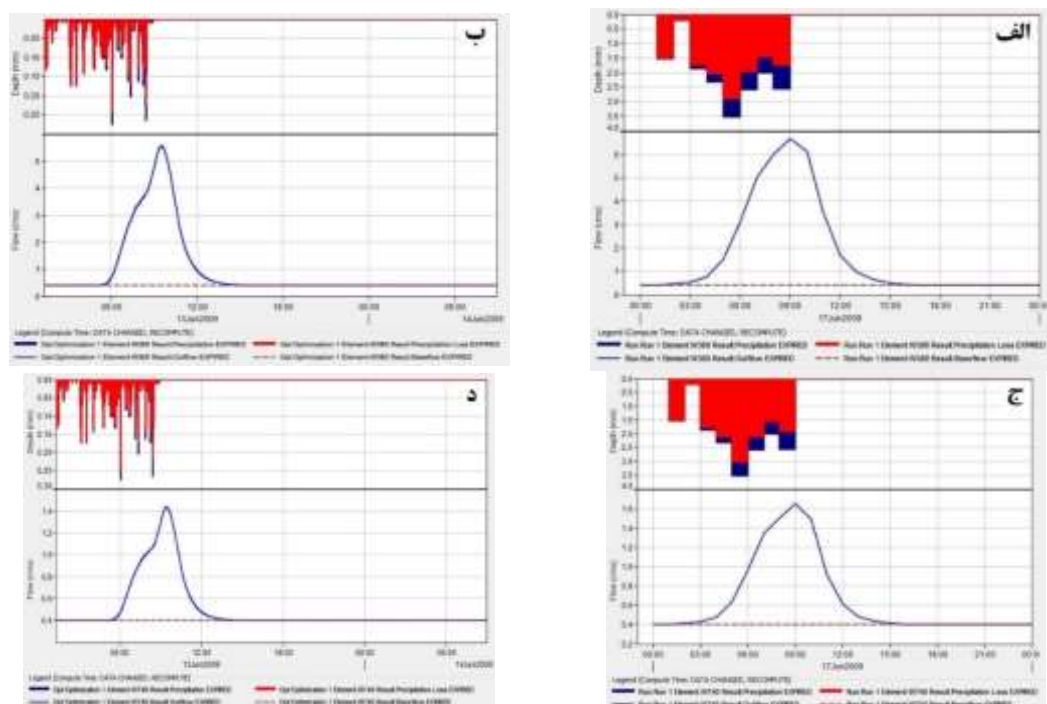
### نتایج شبیه‌سازی بارش - رواناب

پس از ورود داده‌های فضایی به مدل HEC-HMS نسبت به تعیین سایر پارامترهای مدل اقدام گردید. در این پژوهش از شماره منحنی SCS برای تلفات، از روش هیدروگراف واحد SCS برای تبدیل، از ثابت ماهانه برای دبی پایه و از روش ماسکینگام برای روندیابی سیل استفاده به عمل آمد. این روش‌ها به تفصیل در منابع مربوطه تبیین شده‌اند (به عنوان مثال: مرکز مهندسی هیدرولوژیک، ۲۰۱۶). شکل (۳) شماتیک حوضه آبریز زنونچای در چارچوب HEC-HMS، مدل‌های حوضه‌ای، هواشناسی، مشخصات کنترل و داده‌های سری‌های زمانی را نشان می‌دهد. پس از اجرای مدل نسبت به کالیبره کردن و بهینه‌سازی نتایج مدل اقدام گردید. برای تخمین پارامترها در نرم‌افزار HEC-HMS از فرایند بهینه‌سازی<sup>۱</sup> که فرایندی تکرار شونده است، استفاده می‌شود. در این فرایند برای کمینه کردن میزان اختلاف هیدروگراف محاسباتی و مشاهداتی، یک تابع هدف در عنصری که در آن هیدروگراف مشاهداتی وجود دارد، بکار می‌رود و این تابع به گونه‌ای تعریف می‌شود که اگر مقدار هیدروگراف محاسباتی و مشاهداتی در عنصر مورد نظر کاملاً برابر شوند، مقدار آن برابر صفر شود. همچنین، برای این تابع هدف، قیود به گونه‌ای تعریف می‌شوند که مقادیر پارامترهای تخمین زده شده در محدوده مجاز باشند. در این فرایند بهینه‌سازی از دو روش بهینه‌سازی یک و چندمتغیره با شروع از مقداری مشخص و تعیین شده توسط کاربر استفاده می‌شود و مبنای توقف آن، رسیدن مقدار تابع هدف به حد مشخص و یا انجام شدن تعداد تکرارهای مشخص است (مدرسی و عراقی نژاد، ۱۳۹۶: ۱۹۷). به عنوان نمونه، هیدروگراف سیلاب برای زیرحوضه W32 در پایین-دست و زیرحوضه W3 در بالادست حوضه مطالعاتی قبل و بعد از بهینه‌سازی در شکل (۴) ارائه شده است. هیدروگراف مشاهداتی و محاسباتی حوضه آبریز زنونچای (شکل ۵) حاکی از دقت مناسب مدل HEC-HMS جهت شبیه‌سازی بارش - رواناب حوضه می‌باشد. جریان پیک مشاهداتی در هیدروگراف مذکور ۵۶/۵ مترمکعب در ثانیه و برای شبیه‌سازی شده ۶۰/۰ مترمکعب در ثانیه می‌باشد. بنابراین یک اختلاف ۳/۴ مترمکعبی یا ۶/۱ درصدی بین دبی‌های پیک مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مشاهده می‌گردد. نتایج این مدل می‌تواند پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبریز زنونچای را برآورد نماید.

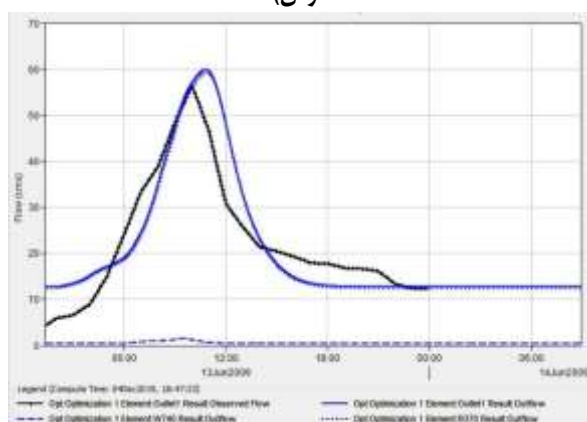


شکل ۳: شماتیک حوضه آبریز زنونچای در مدل HEC-HMS

<sup>۱</sup> - Optimization



شکل ۴: هیدروگراف‌های زیرحوضه‌های موردی W3 (الف: قبل و ب: بعد از کالیبره نمودن) و W32 (ج: قبل و د: بعد از کالیبره نمودن)



شکل ۵: هیدروگراف خروجی مشاهداتی و محاسباتی حوضه آبریز زونزچای بعد از کالیبره نمودن مدل

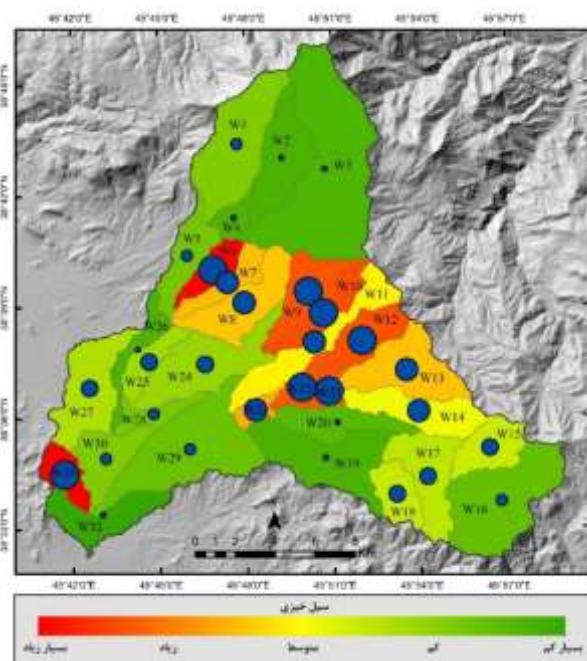
در جدول (۳) دبی‌های پیک سیلاب‌های حوضه آبریز زونزچای به ازای بارش‌های با دوره بازگشت مختلف ارائه شده است. بر این اساس، دبی‌های پیک در زیرحوضه‌های W3، W13 و W29 از مقادیر بالاتری برخوردار هستند. به عنوان مثال مقادیر دبی‌های پیک در این زیرحوضه‌ها برای بارش ۲۰ میلی‌متری در حدود ۵/۶، ۵/۲ و ۴/۷ مترمکعب در ثانیه می‌باشد. مقایسه مقادیر دبی و مساحت زیر حوضه‌ها همبستگی ضعیفی را بین مساحت و حجم دبی‌های پیک نشان می‌دهد. به عنوان مثال، مساحت زیرحوضه‌های فوق‌الذکر به ترتیب برابر با ۳۷/۹، ۱۳/۵ و ۲۲/۷ کیلومترمربع است و علی‌رغم اختلافات زیاد در مساحت زیرحوضه‌ها، اختلاف دبی پیک آنها بسیار کم است. بدیهی است که علاوه بر مساحت، حجم دبی وابسته به سایر متغیرهای فیزیکی حوضه از قبیل زمان تمرکز، زمان تاخیر، شماره منحنی و غیره است. با محاسبه نسبت حجم دبی‌های پیک و مساحت زیرحوضه‌ها می‌توان پتانسیل تولید رواناب و سیل‌خیزی زیرحوضه‌های منطقه مطالعاتی را تعیین نمود. در شکل (۶) سیل‌خیزی زیرحوضه‌های مطالعاتی ارائه گردیده است. با توجه به موارد گفته شده و با مراجعه به نتایج شبیه‌سازی بارش- رواناب حوضه آبریز زونزچای می‌توان نتیجه گرفت که:

- هر چند در حالت کلی زیرحوضه‌های با مساحت زیاد دارای دبی اوج بالاتری هستند ولی همبستگی قوی بین مساحت زیرحوضه‌ها و مقدار دبی پیک برقرار نیست. این امر به خوبی نشان می‌دهد که نقش سایر فاکتورهای حوضه‌ای در میزان تولید و نحوه انتقال رواناب تولید شده از اهمیت بالایی برخوردار است. در این زمینه، شیب، کاربری اراضی، پوشش گیاهی و شکل زیرحوضه‌ها به دلیل تاثیر زیاد بر پارامترهایی از قبیل نفوذپذیری و تلفات بارش، زمان تاخیر و زمان تمرکز از اهمیت بالایی برخوردار هستند.

- اغلب زیرحوضه‌های پایین‌دست از توان تولید رواناب اندکی برخوردار هستند. شیب پایین، نفوذپذیری بالا و وجود اراضی کشاورزی کربندی شده و باغات از مهم‌ترین دلایل افزایش تلفات و کاهش رواناب‌های ناشی از بارش است. این درحالی است که اغلب زیرحوضه‌های قسمت‌های میانی از بالاترین میزان تولید رواناب برخوردار بوده و به دلیل زمان تمرکز و زمان تاخیر کمتر، دبی اوج در این زیرحوضه‌ها بالاست.

- اگر با استفاده از نسبت حجم دبی پیک و مساحت زیرحوضه مربوطه، حوضه آبریز زنونچای به پنج کلاس سیل‌خیزی طبقه‌بندی شود می‌توان سیل‌خیزترین زیرحوضه‌ها را شناسایی نمود. بر این اساس، زیرحوضه‌های W10، W6، W31، W12، W9، W22، W21، W23، W7، W13 و W8 به ترتیب سیل‌خیزترین زیرحوضه‌های منطقه مطالعاتی به شمار می‌آیند. تمامی این زیرحوضه‌ها به استثنای زیرحوضه W31 در قسمت‌های میانی حوضه آبریز زنونچای واقع شده‌اند. این زیرحوضه‌ها از پوشش حفاظتی و گیاهی بسیار پایینی برخوردار هستند که در ترکیب با متغیرهایی مانند شیب زیاد، سهم زیادی از بارش به طور مستقیم تبدیل به رواناب می‌شود. این امر ضرورت توجه به اقدامات آبخیزداری در زیرحوضه‌های مذکور را به منظور کاهش مخاطرات فرسایش و سیل گوشزد می‌کند.

- پیک سیلاب حوضه آبریز زنونچای برای بارش‌های با دوره بازگشت ۲ ساله (حدود ۱۵ میلی‌متر) در حدود ۴۲ مترمکعب در ثانیه است که تا ۱۲۹ مترمکعب در ثانیه برای بارش‌های با دوره بازگشت ۱۰ ساله (۳۰/۴ میلی‌متر) افزایش می‌یابد. این مقدار دبی خطر چندانی را متوجه مناطق مسکونی موجود در دشت سیلابی نمی‌سازد. با این حال، دبی پیک سیلاب برای بارش‌های با دوره بازگشت ۵۰ ساله و بالاتر به حدود ۲۰۰ مترمکعب در ثانیه و بیشتر از آن بالغ می‌شود که در صورت عدم رعایت حریم رودخانه و مخصوصاً در قسمت‌های پایین‌دست می‌تواند تبدیل به مخاطره‌ای جدی شود. منشا این سیلاب‌ها قسمت‌های بالادست و میانی حوضه مطالعاتی می‌باشد.



شکل ۶: پهنه‌بندی سیل‌خیزی حوضه آبریز زنونچای

جدول ۳: مقادیر دبی بیک سیلاب‌های حوضه آبریز زنونز چای (مترمکعب در ثانیه) با دوره‌های بازگشت مختلف (سال)

زیرحوضه	ساله ۲	ساله ۳	ساله ۵	ساله ۱۰	ساله ۲۵	ساله ۵۰	ساله ۱۰۰	ساله ۲۰۰	سیل‌خیزی
W1	۳/۲۵	۴/۰۱	۵/۷۵	۸/۴۳	۱۱/۵۸	۱۳/۴۹	۱۴/۹۸	۱۶/۱۲	کم
W2	۲/۳۱	۲/۳۲	۲/۸۲	۳/۸۳	۵/۱۳	۵/۹۵	۶/۶۰	۷/۱۱	بسیار کم
W3	۴/۶۵	۵/۶۱	۸/۰۶	۱۱/۹۱	۱۶/۴۹	۱۹/۲۷	۲۱/۴۶	۲۳/۱۳	بسیار کم
W4	-/۹۴	-/۸۰	-/۸۴	۱/۰۴	۱/۳۵	۱/۵۶	۱/۷۴	۱/۸۷	بسیار کم
W5	۱/۶۴	۱/۹۲	۲/۵۶	۳/۵۹	۴/۸۲	۵/۵۶	۶/۱۴	۶/۵۸	کم
W6	۱/۳۹	۲/۷۰	۴/۴۱	۶/۴۹	۸/۶۵	۹/۸۷	۱۰/۸۰	۱۱/۴۹	بسیار زیاد
W7	۱/۳۴	۲/۱۱	۳/۲۲	۴/۶۷	۶/۲۴	۷/۱۵	۷/۸۴	۸/۳۷	زیاد
W8	۲/۳۶	۴/۵۰	۷/۳۰	۱۰/۷۲	۱۴/۲۸	۱۶/۲۹	۱۷/۸۳	۱۸/۹۷	زیاد
W9	۲/۱۱	۴/۵۳	۷/۵۲	۱۱/۱۳	۱۴/۸۴	۱۶/۹۳	۱۸/۵۰	۱۹/۶۸	بسیار زیاد
W10	۱/۴۵	۲/۹۰	۴/۷۰	۶/۸۲	۸/۹۹	۱۰/۲۰	۱۱/۱۲	۱۱/۸۰	بسیار زیاد
W11	۲/۳۴	۴/۳۴	۶/۸۹	۱۰/۰۶	۱۳/۲۷	۱۵/۲۴	۱۶/۶۷	۱۷/۷۴	زیاد
W12	۲/۰۴	۴/۱۰	۶/۷۹	۱۰/۰۸	۱۳/۴۹	۱۵/۴۲	۱۶/۸۹	۱۷/۹۹	بسیار زیاد
W13	۲/۸۵	۵/۲۲	۸/۴۶	۱۲/۵۸	۱۶/۹۵	۱۹/۴۵	۲۱/۳۶	۲۲/۷۹	زیاد
W14	۲/۱۰	۳/۵۳	۵/۵۱	۸/۰۸	۱۰/۸۴	۱۲/۴۳	۱۳/۶۵	۱۴/۵۶	زیاد
W15	۱/۹۴	۲/۴۲	۳/۴۲	۴/۹۶	۶/۷۶	۷/۸۵	۸/۷۰	۹/۳۴	متوسط
W16	۴/۱۶	۴/۳۱	۵/۶۱	۷/۹۸	۱۰/۹۸	۱۲/۸۵	۱۴/۳۴	۱۵/۴۹	کم
W17	۲/۵۵	۳/۳۰	۴/۸۰	۷/۰۰	۹/۵۳	۱۱/۰۴	۱۲/۲۲	۱۳/۱۲	متوسط
W18	۱/۶۲	۱/۹۱	۲/۶۵	۳/۸۳	۵/۳۳	۶/۰۹	۶/۷۶	۷/۲۸	متوسط
W19	۲/۹۲	۳/۰۰	۳/۸۱	۵/۲۹	۷/۱۷	۸/۳۴	۹/۲۸	۱۰/۰۰	بسیار کم
W20	۱/۶۰	۱/۷۲	۲/۱۶	۲/۹۴	۳/۹۰	۴/۵۰	۴/۹۸	۵/۳۴	بسیار کم
W21	-/۸۰	۱/۰۰	۱/۳۵	۱/۸۵	۲/۴۰	۲/۷۲	۲/۹۸	۳/۱۷	بسیار زیاد
W22	۱/۰۸	۱/۸۱	۲/۷۹	۴/۰۴	۵/۳۶	۶/۱۲	۶/۶۹	۷/۱۳	بسیار زیاد
W23	-/۸۲	۱/۱۱	۱/۵۷	۲/۲۳	۲/۹۶	۳/۳۹	۳/۷۲	۳/۹۸	زیاد
W24	۲/۶۱	۴/۰۰	۶/۰۶	۸/۷۳	۱۱/۶۲	۱۳/۲۹	۱۴/۵۸	۱۵/۵۴	متوسط
W25	۱/۱۷	۱/۵۲	۲/۰۷	۲/۸۷	۳/۷۷	۴/۳۰	۴/۷۱	۵/۰۳	متوسط
W26	۱/۰۴	۱/۱۳	۱/۳۴	۱/۷۴	۲/۲۳	۲/۵۴	۲/۷۸	۲/۹۶	بسیار کم
W27	۲/۳۳	۳/۸۰	۵/۸۶	۸/۴۷	۱۱/۲۴	۱۲/۸۳	۱۴/۰۵	۱۴/۹۶	متوسط
W28	-/۹۸	۱/۱۰	۱/۴۰	۱/۸۸	۲/۴۴	۲/۷۹	۳/۰۶	۳/۲۷	کم
W29	۳/۵۷	۴/۷۰	۶/۷۴	۹/۶۳	۱۲/۹۱	۱۴/۸۵	۱۶/۳۵	۱۷/۵۰	کم
W30	۱/۶۴	۲/۱۳	۲/۹۵	۴/۱۶	۵/۵۳	۶/۳۵	۶/۹۹	۷/۴۷	کم
W31	۱/۱۱	۲/۷۱	۴/۷۲	۷/۱۵	۹/۶۶	۱۱/۰۷	۱۲/۱۴	۱۲/۹۳	بسیار زیاد
W32	۱/۵۳	۱/۴۰	۱/۶۳	۲/۲۰	۲/۹۷	۳/۴۷	۳/۸۸	۴/۱۹	بسیار کم

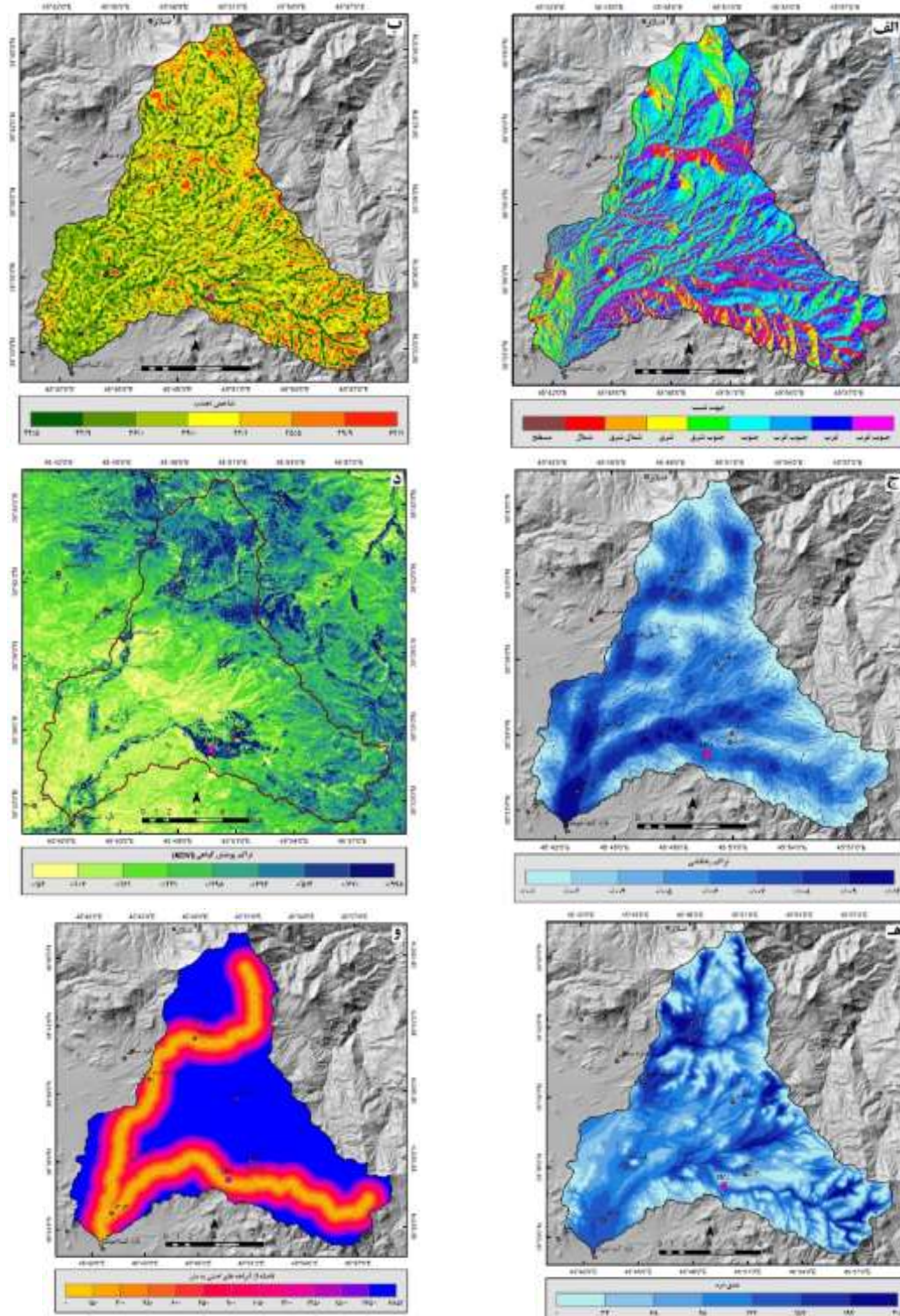
### تهیه نقشه خطر وقوع سیلاب با استفاده از منطق فازی

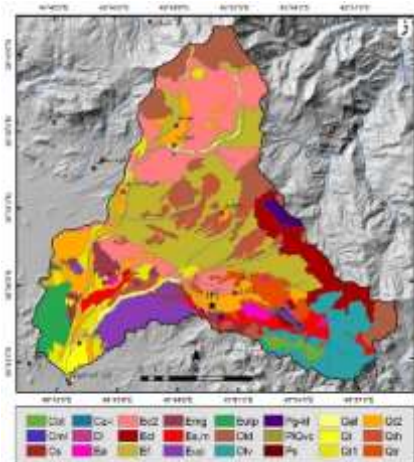
در این قسمت از پژوهش نتایج حاصل از روی هم‌گذاری فازی لایه‌های موضوعی موثر بر خطر سیل‌گیری حوضه آبریز زنونز چای ارائه می‌شود. برای تهیه نقشه مذکور از ۱۰ متغیر مهم موثر بر خطر سیل‌گیری استفاده به عمل آمد. اکثر این متغیرها ژئومورفولوژیکی بوده و نقش عمده‌ای در خطر وقوع سیلاب حوضه ایفا می‌کنند. با توجه به اینکه متغیرهای مربوطه دارای واحدها و مقیاس‌های اندازه‌گیری مختلفی می‌باشند نسبت به استاندارد کردن آنها اقدام گردید. بدین منظور از توابع عضویت فازی استفاده به عمل آمد. تاثیر هر کدام از این متغیرها و نوع تابع فازی مورد استفاده به صورت خلاصه در جدول (۴) ارائه شده است. توزیع فضایی هر کدام از متغیرهای جدول مذکور در شکل‌های (۲) و (۷) ارائه شده است.

جدول ۴: تاثیر گذاری و نوع تابع عضویت متغیرهای موثر بر سیل گیری حوضه آبریز زنونزچای

متغیر	توضیحات	نحوه تاثیر گذاری بر سیل	تابع عضویت فازی
ارتفاع	تهیه شده از روی تصاویر DEM مربوط به ماهواره ALOS-PALSAR	با توجه به انتقال رواناب‌های تولید شده در قسمت‌های مرتفع به سمت اراضی پست و استقرار سکونتگاه‌های منطقه در نواحی کم‌ارتفاع دارای اثر معکوسی بر سیلاب است.	تابع خطی کاهنده
شیب	تهیه شده از روی DEM منطقه	با توجه به پتانسیل بالای پخش سیلاب در اراضی کم‌شیب و مکان‌گزینی بخش عمده‌ای از سکونتگاه‌ها و تاسیسات منطقه در این اراضی دارای اثر معکوسی است.	تابع خطی کاهنده
جهت شیب	تهیه شده از روی DEM منطقه	در پژوهش حاضر نقش این متغیر به صورت تاثیر آن بر ذوب ناگهانی برف و یخ ارتفاعات و مشارکت آن در دبی رودخانه است.	تعریف کاربر
تحذب سطح	تهیه شده از روی DEM منطقه	با افزایش تحذب از میزان سیل‌گیری منطقه کاسته می‌شود بنابراین دارای اثر معکوس است.	تابع خطی کاهنده
تراکم زهکشی	استخراج شبکه زهکشی از روی DEM منطقه و تهیه لایه تراکم زهکشی	با افزایش تراکم زهکشی بر میزان سیل‌گیری افزوده می‌شود بنابراین دارای اثر مستقیم است.	تابع خطی افزایشی
عمق دره	تهیه شده از روی DEM منطقه	با افزایش عمق دره و هدایت رواناب‌ها به این نواحی بر میزان سیل‌گیری افزوده می‌شود. بنابراین دارای اثر مستقیم است.	تابع خطی افزایشی
فاصله از رودخانه	استخراج شبکه زهکشی از روی DEM منطقه و ایجاد لایه فاصله از آبراهه‌های اصلی	خطر سیلاب در مناطق مجاور رودخانه‌ها بیشتر است و بنابراین دارای اثر معکوس است.	کوچک فازی
واحدهای سنگ-شناختی	استخراج شده از روی نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰	بر اساس نفوذپذیری اثرات آن معکوس و براساس پتانسل تولید رواناب اثرات آن مستقیم است.	بزرگ فازی
NDVI	استخراج شده از روی تصاویر ماهواره‌ای Sentinel-2	با افزایش تراکم پوشش گیاهی از میزان خطر سیلاب کاسته می‌شود. بنابراین دارای اثرات معکوس است.	خطی کاهنده
کاربری اراضی	استخراج شده از روی تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث	بر اساس نفوذپذیری اثرات آن معکوس و براساس پتانسل تولید رواناب اثرات آن مستقیم است.	بزرگ فازی





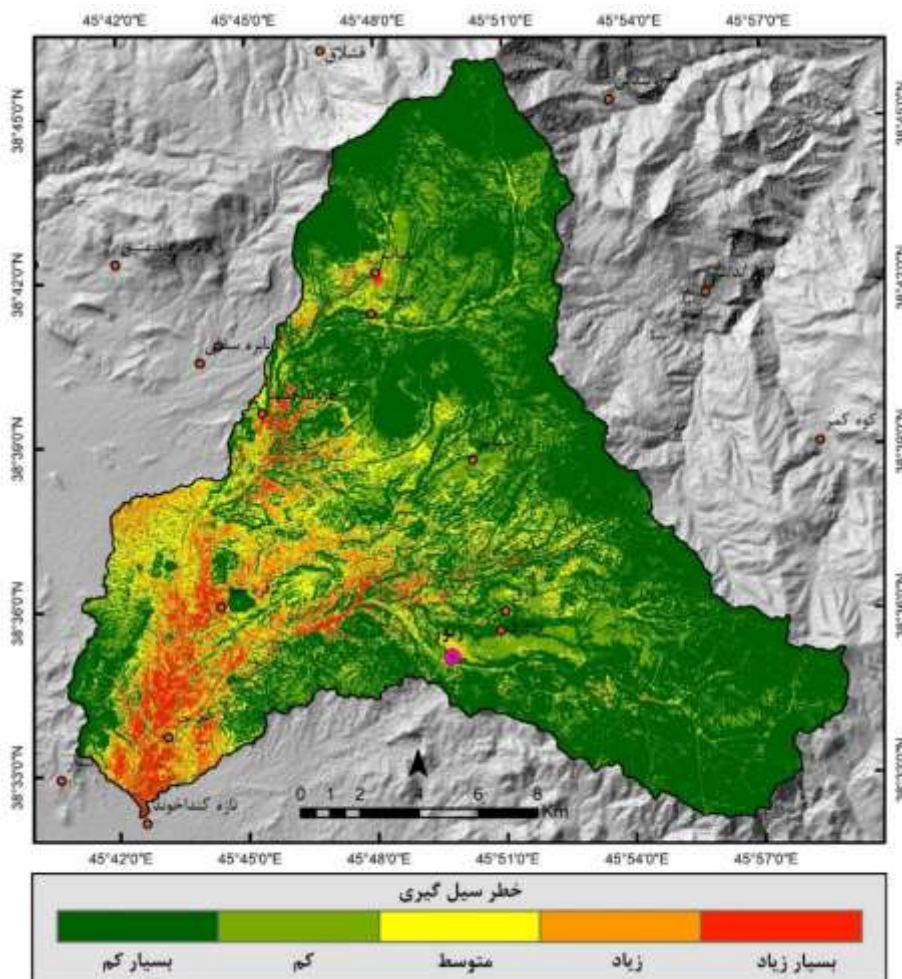


شکل ۷: توزیع فضایی الف: جهت شیب؛ ب: تحدب سطح زمین؛ ج: تراکم زهکشی؛ د: NDVI؛ ه: عمق دره؛ و: فاصله از آبراهه- های اصلی؛ ز: سازندهای زمین‌شناسی در سطح حوضه آبریز زنونزچای

هدف پژوهش تعیین کننده‌ی نوع تابع فازی مورد استفاده به منظور ترکیب و روی هم گذاری لایه‌های موضوعی است. در کاربست «و» فازی یا اشتراک منطقی، حداقل یا مینیموم درجه عضویت به کار گرفته می‌شود. به همین دلیل، در بین تمامی لایه‌های موضوعی اثرگذار بر سیلاب، حداقل ارزش هر پیکسل را برداشت نموده و در لایه نهایی یا نقشه خطر سیلاب اعمال می‌نماید. در نتیجه تقریباً کل منطقه در کلاس خطر سیلاب بسیار پایین قرار می‌گیرد. در ضرب فازی نیز تمامی ۱۰ لایه‌ی موثر در سیلاب با یکدیگر ضرب می‌شوند. به همین دلیل ارزش‌های لایه نهایی به سمت صفر تمایل پیدا می‌کند و نتایج این عملگر نیز تا حد زیادی مشابه عملگر اشتراک می‌باشد. در واقع، دو عملگر مزبور حساسیت بسیار بالایی در تهیه نقشه خطر وقوع سیلاب اعمال می‌کنند. دو اپراتور «یا» فازی و جمع جبری فازی برعکس دو اپراتور فوق می‌باشند و با اعمال این دو عملگر تقریباً کل حوضه آبریز زنونزچای در کلاس خطر بسیار بالای سیلاب واقع گردید. همانند OR بولین (اجتماع منطقی<sup>۱</sup> که در آن مقادیر عضویت خروجی بوسیله مقادیر ماکزیمم هر لایه ورودی تعیین می‌گردد) است. اپراتور «یا» فازی (اجتماع)، حداکثر درجه عضویت اعضا را استخراج می‌کند. در جمع جبری فازی نیز ارزش پیکسل‌ها در لایه نهایی پهنه‌بندی سیلاب به سمت یک تمایل پیدا کرد. در نتیجه، عملگرهای فوق در پهنه‌بندی خطر سیلاب از دقت بسیار پایینی برخوردار می‌باشند. با این حال، اپراتور گامای فازی ترکیبی از اپراتورهای جمع جبری فازی و ضرب فازی به حساب می‌آید (اوری بیگ<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۸) و به نحو مطلوبی می‌تواند در خصوص پهنه‌بندی خطر سیلاب در سطح حوضه آبریز مطالعاتی مورد استفاده قرار گیرد. در شکل (۸) نقشه پهنه‌بندی سیلاب حوضه آبریز زنونزچای با استفاده از عملگر گامای فازی ارائه گردیده است.

<sup>1</sup>- logical union

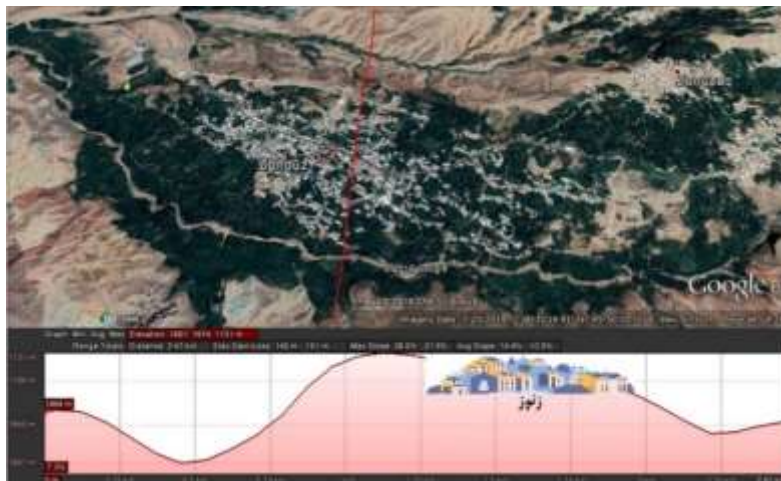
<sup>1</sup> Avery Bick



شکل ۸: پهنه‌بندی خطر سیل‌گیری حوضه آبریز زونوزچای با استفاده از گامای فازی

نتایج نشان می‌دهد که در حدود ۳/۵ درصد از سطح حوضه آبریز زونوزچای در کلاس با خطر بسیار زیاد، ۷/۳ درصد در کلاس خطر زیاد، ۱۰/۴ درصد در کلاس خطر متوسط، ۱۷/۹ درصد در کلاس خطر بسیار کم و ۶۰/۹ درصد در کلاس خطر بسیار کم واقع شده است. در واقع، بخش اعظمی از حوضه آبریز مطالعاتی در قسمت‌های بالادست در کلاس خطر بسیار کم و کم واقع شده‌اند. دلیل اساسی این امر را می‌توان به ارتفاع بالا، شیب تند، تراکم پوشش گیاهی بالا، تحب بالا، تراکم زهکشی پایین و عمق کم دره‌ها نسبت داد. پهنه‌های در معرض سیلاب عمدتاً در قسمت‌های پایین دست و همچنین اطراف آبراهه‌های اصلی در قسمت‌های میانی حوضه مطالعاتی توزیع شده‌اند. بخش اعظمی از این پهنه‌ها منطبق بر دشت سیلابی مجاور دو آبراهه اصلی حوضه مطالعاتی می‌باشند. وجود اراضی کم‌شیب که پخش سیلاب را مساعدت می‌کنند، ارتفاع نسبی پایین که محل هدایت رواناب‌های بالادست می‌باشند، مجاورت با رودخانه‌های اصلی، به هم پیوستن دو آبراهه اصلی حوضه در پایین دست حوضه آبریز مطالعاتی، مقادیر پایین شاخص تحب و به عبارت دیگر مقعر بودن سطح زمین که امکان سیل‌گرفتنی را مهیا می‌سازد، مقادیر بالای تراکم زهکشی که در واقع محل پیوستن آبراهه‌های منطقه و راس مخروط افکنه زونوزچای می‌باشد و مقادیر بالای عمق دره از مهم‌ترین عوامل موثر بر توزیع پهنه‌های سیل‌گیر در قسمت‌های پایین دست حوضه می‌باشند. هر چند از نظر کاربری اراضی، پوشش گیاهی و حضور سازندهای نفوذپذیر شرایط مساعدی از نظر وقوع سیلاب برقرار نیست اما تاثیر این متغیرها در مقایسه با سایر متغیرهای موثر خنثی شده است. مکان‌گزینی اغلب سکونتگاه‌های منطقه در مجاورت آبراهه‌های اصلی منطقه خطرات ناشی از سیلاب را تا حد زیادی افزایش می‌دهد. در این رابطه بخش عمده‌ای از مهم‌ترین سکونتگاه منطقه، یعنی شهر زونوز، در کلاس خطر کم واقع شده

است. این امر به دلیل مکان‌گزینی بخش عمده‌ای از این شهر بر روی یک میاناب می‌باشد (شکل ۹). این در حالی است که برخی از سکونتگاه‌های منطقه به طور کامل در داخل دره‌ها و دشت‌های سیلابی واقع شده‌اند. در این رابطه، هرزند جدید به دلیل مکان‌گزینی در داخل دره در معرض مخاطره سیلاب، مخصوصاً سیلاب‌های با دوره بازگشت بالا (۵۰ ساله و بالاتر)، قرار گرفته است (شکل ۱۰).



شکل ۹: مکان‌گزینی هسته شهر زنون بر روی یک میاناب باعث کاهش خطر سیلاب در سطح شهر شده است



شکل ۱۰: مکان‌گزینی بخش عمده‌ای از روستای هرزند جدید در داخل دره و مجاورت رودخانه

### نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به ارزیابی خطر سیلاب در سطح حوضه آبریز زنونچای پرداخته شد. در راستای مدیریت خطر سیلاب تفکیک دو مفهوم سیل‌خیزی و سیل‌گیری از اهمیت بالایی برخوردار است که در بیشتر موارد به صورت دو مفهوم متضاد مطرح می‌باشند. برای ارزیابی سیل‌خیزی حوضه مطالعاتی از مدل HEC-HMS بهره گرفته شد. شبیه‌سازی بارش-رواناب می‌تواند منجر به شناسایی پهنه‌های سیل‌خیز در سطح حوضه مطالعاتی شود. در این رابطه، بر اساس نسبت حجم دبی پیک به مساحت حوضه، حوضه مطالعاتی به پنج کلاس سیل‌خیز طبقه‌بندی گردید. در حالت کلی، قسمت‌های پایین-دست حوضه مطالعاتی به دلیل حجم زیاد تلفات بارش از سیل‌خیزی بسیار پایینی برخوردار هستند. برعکس، قسمت‌های میانی و بخش‌هایی از بالادست حوضه به دلیل وجود شرایط مساعدی از قبیل فقدان پوشش حفاظتی، شیب‌های تند و نفوذپذیری اندک خاک از تولید رواناب و پتانسیل سیل‌خیزی بالایی برخوردار می‌باشند. رواناب‌های انتقال یافته از این پهنه‌ها، مخصوصاً در ارتباط با بارش‌های شدید و طولانی‌مدت، علاوه بر فرسایش خاک می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری را در قسمت‌های پایین‌دست به بار آورد.

به منظور تهیه نقشه خطر سیل‌گیری حوضه آبریز زوزچای از روی هم‌گذاری فازی لایه‌های موضوعی مرتبط بهره گرفته شد. بر این اساس، در حدود ۱۱ درصد از سطح حوضه مطالعاتی در کلاس خطر زیاد و بسیار زیاد واقع شده‌اند. این پهنه‌ها عمدتاً در قسمت‌های پایین‌دست و مجاورت رودخانه‌های اصلی منطقه قرار دارند. سیلاب‌های رودخانه‌ای مخصوصاً در محل راس مخروط‌افکنه زوزچای و محل به‌هم‌پیوستن آبراهه‌های اصلی حوضه مطالعاتی می‌توانند بسیار خطرآفرین باشند.

## منابع

- امیراحمدی، ا.، و شیران، م.، ۱۳۸۸. کاربرد مدل *HEC-HMS* در تحلیل حساسیت متغیرهای ژئومورفولوژی موثر بر سیلاب دشت کرون، فصلنامه علمی- پژوهشی جغرافیا و توسعه، دوره ۷، شماره ۱۶، صص ۱۷۳-۱۵۳.
- جعفرنیا، ج.، و امامقلی‌زاده، ص.، ۱۳۹۲. برآورد سیلاب حوضه آبریز رودخانه تالار (زیرحوضه کسلیان) با استفاده از مدل *HEC-HMS*، کنفرانس ملی مدیریت سیلاب.
- حجازی‌زاده، ز.، حسینی، ع.ر.، و شادفر، ص.، ۱۳۹۵. مکان‌یابی سطوح موثر بر دبی اوج سیل به منظور برنامه‌ریزی و مهار سیل با استفاده از مدل *HEC-HMS* (مطالعه موردی حوضه آبخیز طالقان)، جغرافیا (فصلنامه علمی- پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران)، دوره جدید، سال چهاردهم، شماره ۵۱، صص ۳۱-۴۱.
- حسین‌زاده، م.م.، و ایمنی، س.، ۱۳۹۵. مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبخیز قوچک - رودک با استفاده از مدل *HEC-HMS*، پژوهش‌های دانش زمین، سال هفتم، شماره ۲۵، صص ۳۱-۴۳.
- شریفی پیچون، م.، و پرنون، ف.، ۱۳۹۷. ارزیابی و تحلیل فضایی سیل‌گیری رودخانه قره‌سود با استفاده از منطق فازی در محیط *GIS*، مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هفتم، شماره ۱۵، صص ۱۷-۳۰.
- طاهری تیزرو، ع.، پاکدل خسمخی، ح.، معروفی، ص.، و وظیفه دوست، م.، ۱۳۹۵. تلفیق مدل‌های *HEC-HMS* و *GLDAS* در تخمین رواناب مناطق فاقد آمار، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، دوره ۲۳، شماره ۴، صص ۱۱۸-۱۰۱.
- مدرسی، ف.، و عراقی‌نژاد، ش.، ۱۳۹۶. آموزش کاربردی مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبخیز در *HEC-HMS*، انتشارات نشر نوآور.
- مرادنژادی، م.، جورغلامی، م.، و ملکیان، ا.، ۱۳۹۴. بررسی کارایی مدل هیدرولوژیک *HEC-HMS* در شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب حوضه‌های آبخیز جنگلی (مطالعه موردی: جنگل خیرود)، نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب (مجله منابع طبیعی ایران)، دوره ۶۸، شماره ۳، صص ۶۳۹-۶۲۵.
- مؤمنی، م.، ۱۳۷۸. مباحث نوین تحقیق در عملیات، چاپ دوم، تهران، دانشکده‌ی مدیریت دانشگاه تهران.
- Alcántara-Ayala, I. and Goudie, A. S., 2010. *Geomorphological Hazards and Disaster Prevention*. Cambridge University Press.
- Avery Bick, I., Bardhan, R. and Beaubois, T., 2018. *Applying fuzzy logic to open data for sustainable development decision-making: a case study of the planned city Amaravati*. *Natural Hazards, Volume 91, Issue 3, pp 1317-1339*.
- Badilla, R. A., 2008. *Flood Modelling in Pasig-Marikina River Basin*. Thesis. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Netherlands.
- Chadee, D.D., Sutherland, J.M. and Agard, J., 2014. *Flooding and climate change, sectorial impacts and adaptation strategies for the Caribbean region*. Nova Science Publishers, Inc.
- Esri., 2019. *ArcGIS Desktop Help*.
- Few, R., Ahern, M., Matthies, F. and Kovats, S., 2004. *Floods, Health and Climate Change: A Strategic Review*. Tyndall Centre Working Paper 63.
- Hongming, H., Zhou, J., Peart, M. R., Chen, J. and Zhang, Q., 2012. *Sensitivity of hydrogeomorphological hazards in the Qinling Mountains, China, Quaternary International, v. 282, p. 37-47*.

- Hydrologic Engineering Center., 2013. HEC-GeoHMS, geospatial hydrologic modeling extension. US Army Corps of Engineers.
- Hydrologic Engineering Center., 2016. Hydrologic modeling system HEC-HMS. US Army Corps of Engineers.
- Jia, J., Wang, X., A. M. Hersi, N., Zhao, W. and Liu, Y., 2019. Flood-risk zoning based on analytic hierarchy process and fuzzy variable set theory. *Natural Hazards Review* 20(3): 2-8.
- Jiang, W., Deng L., Chen, L., Wu, J. and Li, J., 2009. Risk assessment and validation of flood disaster based on fuzzy mathematics. *Progress in Natural Science* 19, 1419-1425.
- Kafle T., Hazarika, M., Shrestha, K., Prathumchai, K. and Samarakoon, L., 2006. Integration of remote sensing and GIS with flood simulation model for flood hazard mapping in the Bagmati River, Nepal. *Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Symposium on New Technologies for Urban Safety of Mega Cities in Asia, Phuket, Thailand.*
- Khanna, R. K., Agrawal, C. K. and Kumar, P., 2006. Remote Sensing and GIS applications in flood management. *Proceedings of the India Disaster Management Congress, New Delhi.* pp. 11.
- Martin, O., Rugumayo, A. and Ovcharovichova, J., 2012. Application of HEC HMS/RAS and GIS tools in flood modelling: a case study for river Sironko- Uganda. *Global journal of engineering, design & technology*, Vol. 1(2): 19-31.
- Meyer, V., Haase, D. and Scheuer, S., 2009. A Multicriteria Flood Risk Assessment and Mapping Approach. In: *Flood Risk Management: Research and Practice.* Allsop, W., Samuels, P., Harrop, J. and Huntington, S. (Editors). Taylor and Francis Group, London, pp. 1687-1693.
- Pradhan, B., 2009. Flood susceptible mapping and risk area delineation using logistic regression, GIS and remote sensing. *Journal of Spatial Hydrology.* Vol. 9, No.2, 1-18.
- Rashetnia, Samira., 2016. Flood Vulnerability Assessment by Applying a Fuzzy Logic Method: A Case Study from Melbourne. Thesis submitted in fulfilment of the requirements for the degree of Master of Engineering, College of Engineering and Science, Victoria University, Melbourne, Australia.
- United States General Accounting Office (GAO)., 2004. Flood Map Modernization. Report GAO-04-417. <http://www.gao.gov/cgi-bin/getrpt?GAO-04-417>.
- van der Sande, C. J., de Jong, S. M. and de Roo A. P. J., 2003. A segmentation and classification approach of IKONOS-2 imagery for land cover mapping to assist flood risk and flood damage assessment. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 4, Issue 3, Pages 217-229.
- Wallingford, H. R., 2007. GIS -based Multicriteria Analysis as Decision Support in Flood Risk Management. Report number T10-07-07, FLOODsite Consortium, UK. Available on: [www.floodsite.net](http://www.floodsite.net) (Last accessed on 25 April 2010).
- World Water Assessment Programme (WWAP)., 2006. The 2<sup>nd</sup> UN World Water Development Report: Water, a Shared Responsibility. UNESCO and Berghahn Books. Paris and New York.