

## شبیه‌سازی سیلاب بر روی مخروط افکنه به روش شاخص‌های ژنومورفولوژیکی و مدل هیدرولیکی Hec-Ras (مطالعه موردی شهرک پردیسان قم)

شهرام روستایی\* - استاد گروه ژنومورفولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز.  
داود مختاری - استاد گروه ژنومورفولوژی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز.  
ابوالفضل فرجی منفرد - دانشجوی دکتری مخاطرات ژنومورفولوژیکی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۱۲      تأیید نهایی: ۱۴۰۲/۰۳/۲۵

### چکیده

سیلاب‌ها از جمله مخاطرات طبیعی هستند که هر ساله خسارات بسیار زیادی را بخصوص برای ساکنین مخروط‌افکنه‌ها به بار می‌آورند. تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب از جمله روش‌های متداولی است که جهت نمایش پتانسیل مخاطرات سیلابی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مخروط افکنه به دلیل ویژگی‌های ژنومورفولوژیکی خاص خود، از لحاظ سیلاب به مراتب خطرناک‌تر از سایر نواحی است. در این پژوهش شبیه‌سازی سیلاب بر روی مخروط‌افکنه‌های محدوده پردیسان قم به روش شاخص‌های ژنومورفولوژیکی و مدل هیدرولیکی Hec-Ras انجام گرفت. جهت رسیدن به هدف، از تصاویر میدانی و ماهواره‌ای، گزارش‌ها، نقشه‌های کاربری اراضی و توپوگرافی، بعنوان داده‌های اولیه و از شاخص‌های ژنومورفولوژیکی و مدل هیدرولیکی HEC-RAS بعنوان روش و ابزار کار استفاده شده است. بدلیل گستردگی محدوده مطالعاتی، محدوده به ۱۵ زیرحوضه تقسیم گردید. در ابتدا وجود مخروط‌افکنه‌ها در منطقه شناسایی و سپس مناطق فعال از مناطق غیرفعال با استفاده شاخص‌های ژنومورفولوژیکی مجزا شدند. در گام بعدی مناطق دارای سیلاب ۱۰۰ ساله روی مخروط‌افکنه‌ها با استفاده مدل هیدرولیکی HEC-RAS پهنه‌بندی گردید. نقشه‌های خطر سیل مستخرج از هر کدام از این روش‌ها با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفت. مقایسه‌های صورت گرفته تناقض‌هایی را بین این نقشه‌ها نشان داد که دلایل این است که هر روش بخشی از واقعیت سیل‌گیری را بیان می‌کند؛ نقشه حاصل از شاخص‌های ژنومورفولوژیکی یک دید کلی در خصوص محدوده خطر ارائه می‌دهد، در مقابل مدل هیدرولیکی HEC-RAS جزئیات بیشتری از محدوده خطر به نمایش می‌گذارد. در اقدام بعدی نتایج حاصل از نقشه‌ها با هم همپوشانی و یک نقشه نهایی حاصل شد. نقشه نهایی جزئیات بیشتری از محدوده‌های خطر را برایمان به نمایش می‌گذارد. نتایج مبین این نکته است که علیرغم تازه تأسیس بودن شهرک پردیسان، نه تنها عملیات مکانیابی جهت بنای شهرک به درستی صورت نگرفته، بلکه عملیات اصلاحی در بالادست نیز بر شدت سیلاب افزوده است. پیشنهاد بر این است در جهت توسعه آتی شهر، دیدگاه جامع‌نگرانه و منطقی در بحث مکان‌یابی و همچنین اصلاح مسیر سیلاب در حفظ پایداری محیطی صورت پذیرد.

واژگان کلیدی: سیلاب، شاخص‌های ژنومورفولوژیکی، Hec-ras، مخروط‌افکنه، پردیسان قم.

## مقدمه

در حال حاضر، سیلابها یکی از بررگترین تهدیدات امنیتی اجتماعی و توسعه پایدار هستند که برآورد می‌شد هر ساله زندگی ۲۰-۳۰۰ میلیون انسان را تحت تاثیر قرار دهد (هیرابایاشی و کانا، ۲۰۰۹، ۹). در واقع سیلابها از ویرانگرترین و پرهزینه‌ترین مخاطرات طبیعی هستند که به‌عنوان یک نگرانی در بیشتر بخش‌های جهان به شمار می‌آیند (ویلی و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۲، ۳۴۸). همچنان ایجاد کننده مخاطرات ژئومورفیکی از طریق تغییرات یر شکل مجرا و انتقال رسوب می‌باشند. تحلیل اثر سیلابها بر روی مورفولوژی مجرا و انتقال رسوب، یکی از توجهات اصلی ژئومورفولوژی رودخانه‌ای بوده است (وهل<sup>۳</sup>، ۲۰۰۰، ۳۶). سیلابی که در مخروط افکنه شکل می‌گیرد، به دلیل وابستگی به اقلیم، زمین شناسی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی از تنوع بالایی برخوردار می‌باشند. بنابراین مطالعه و بررسی راجع به سیل‌گیری در هر مخروط افکنه حالت کاملا اختصاصی داشته و از نتایج بررسی یک مخروط افکنه نمی‌توان برای مخروط افکنه‌های دیگر استفاده کرد (ستاد مدیریت بحران امریکا: ۲۰۰۳). از این رو سیلابی که در مخروط افکنه شکل می‌گیرد، بسیار خطرناک تر از سیلاب رودخانه‌ای است. برنامه بیمه ملی سیلاب ایالات متحده امریکا<sup>۴</sup>، سیلاب مخروط افکنه را به عنوان سیل رخ داده در سطح یک مخروط افکنه آبرفتی یا شکل زمینی مشابه که از سرچشمه در اوج سرچشمه می‌گیرد و با جریان‌های با سرعت بالا، فرآیندهای فعال فرسایش، انتقال رسوب و رسوب‌گذاری و مسیرهای پیش‌بینی نشده جریان مشخص می‌شود، تعریف می‌کند. هر نقطه در مخروط افکنه فعال ممکن است در خطر جاری شدن سیل قرار گیرد و جاری شدن سیل در طول زمان تغییر می‌کند، این کار باید در تجزیه و تحلیل خطر سیل در نظر گرفته شود. همچنین هر گونه تغییر و انسداد مسیر جریان در سطوح مخروط افکنه در بالادست، می‌تواند تغییر گسترده در طول مسیر جریان و همچنین نحوه نهشته‌گذاری در پایین دست مخروط افکنه‌ها منجر شود. واژه فعال به مناطقی از مخروط افکنه اطلاق می‌شود که پدیده‌های رسوبگذاری، فرسایش و ناپایداری مسیرهای جریان در آن جا امکان پذیر باشد. اگر جریان سیلاب و رسوبگذاری در ۱۰۰ سال گذشته، در مناطقی از مخروط افکنه رخ داده باشد، به روشنی می‌توان چنین محدوده‌ای را فعال دانست. چنین نتیجه‌گیری را می‌توان از روی داده‌های تاریخی، عکس‌ها، عکس‌های هوایی گرفته شده در زمان‌های مختلف و داده‌های مهندسی و ریخت‌شناسی به دست آورد (داودی<sup>۵</sup>، ۱۹۷۹، ۱۴۰۷).

مدل‌های پخش سیلاب ابزار مفید برای مدیریت دشت سیلابی هستند. این توانایی بر پیش‌بینی سیلاب در کاهش پتانسیل خسارت سیلاب به صورت حفاظت از کاربری‌های اراضی اطراف رودخانه، بالا بردن سطح آگاهی مردمان ساکن در اطراف دشت سیلابی و جلوگیری از ساخت و سازها در محدوده ممنوعه دشت سیلابی بسیار مفید بوده است (دی بالداسار<sup>۶</sup>، ۲۰۱۲، ۲۰). در این میان نقشه پهنه بندی سیلاب برای دوره‌های بازگشت مختلف یکی از متداولترین نقشه‌هایی است که برای نمایش پتانسیل مخاطرات در دشت سیلابی مورد استفاده قرار می‌گیرد. جهت شناخت و بررسی پهنه‌بندی خطر سیلاب می‌توان از مدل هیدرولیکی HEC-RAS استفاده کرد. نرم افزار HEC-RAS، سیستم تحلیل رودخانه انجمن مهندسين ارتش آمریکا می‌باشد، که توسط مرکز مهندسی هیدرولوژی تهیه شده است. از این نرم افزار بمنظور انجام محاسبات هیدرولیکی یک بعدی و دوبعدی برای شبکه کاملی از کانال‌های طبیعی و مصنوعی می‌توان استفاده نمود. همچنین ترسیم محدوده سیلاب با استفاده از داده‌های ژئومورفولوژی می‌تواند به نوعی ایرادهایی که در مدل هیدرولیکی HEC-RAS مثل اندازه سلولی نقشه زمینه RAS و ابزارهای سخت افزاری سیستم پردازش وجود دارد را پوشش دهد.

1. Hirabayashi & Kanae

2. Wilby et al

3. Wohl

4. NFIP

5. Dawdy

6. Di Baldassarre

برای مسأله سیلاب، تحقیقات و بررسی‌های متعددی از طرف سایر محققین صورت گرفته است. نیکرو (۱۳۹۴، ۸۷) به کمک مدل Mike Flood سیلاب را شبیه‌سازی و کنترل سیلاب توسط دیواره‌های طولی و سرریز در مخروط‌افکنه‌ها در بندرعباس را نشان داد. جمالی و همکاران (۱۳۹۴، ۵۱) به تحلیل فضایی مخاطرات ژئومورفولوژی تو سعه شهر در حریم رودخانه خشک شیراز پرداختند. همچنین آبروش (۱۳۹۵، ۵) در پهنه‌بندی سیلاب در محدوده پردیسان قم با رویکرد مکان‌گزینی پایگاه امداد و نجات با استفاده از دو روش فازی و تحلیل شبکه (ANP) پرداخت و مشخص کرد که روش تحلیل شبکه (ANP) نتایج قابل قبولی را ارائه می‌دهد. شیخ علیشاهی (۱۳۹۵، ۷۸) به تحلیل مناطق سیل گیر با تلفیق سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی با مدل HEC-RAS در حوضه آبریز منشاد در استان یزد پرداخت. روستایی و همکاران (۱۳۹۶، ۱۰۸) در تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب حوضه آبخیز نکارود با استفاده از مدل GIS/RS و SCS-CN، که استفاده توامان این دو روش نتایج بهتری در پهنه‌بندی سیلاب حوضه‌های آبخیز می‌دهد. پوراحمد و همکاران (۱۳۹۶، ۵۹) با استفاده از مدل‌های آنروپی شانون، هلدرن و جینی در شهر قم نشان دادند که گسترش فیزیکی شهر، بصورت پراکنده و غیرمتراکم بوده و زمینه را برای رشد اسپرال و بدون برنامه شهر آماده نموده است. ملایی و همکاران (۱۳۹۸، ۲۳) برای نقشه‌برداری ریسک سیلاب در مخروط‌افکنه فریزی در خراسان رضوی، مدل‌های هیدرولیک و داده‌های ژئومورفولوژی را استفاده و سپس نتایج حاصل از مدل برنامه مخروط‌افکنه را با خروجی از مدل‌های دیگر مانند HEC-RAS ترکیب کردند. هوس<sup>۱</sup> (۲۰۰۵، ۱۴۳۱) در استفاده از زمین‌شناسی برای بهبود مدیریت خطرات ناگهانی در مخروط‌افکنه (لوقلین، نوادا)، نشان داد که ارزش به کارگیری مدل آژانس مدیریت فدرال (FEMA) برای توصیف خطرات سیلاب آبرفتی و حمایت از استدلال برای تعیین مطالعات زمین‌شناسی در فرایند نظارتی را تأیید می‌کند. پلیتر<sup>۲</sup> (۲۰۰۵، ۱۱۴۷) خطر جاری شدن سیل در مخروط‌افکنه با استفاده از مدل‌سازی عددی، نقشه‌برداری درست و سنجش از دور، را ارزیابی و اعلام کرد که با ترکیب این نقشه با نقشه‌های زمین‌شناسی، جاری شدن سیل مخروط‌افکنه را می‌تواند ارزیابی کرد. هاشمی نیا و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۸، ۱۱۶۰) با بررسی بهبود روش‌های برآورد خطر سیل در مخروط‌افکنه‌های آبرفتی با استفاده از یک روش هیدرولیکی، زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی، به طراحی خطرات سیلاب آبرفتی پرداختند. همچنین سالاری و همکاران (۱۳۹۶، ۴۱۹) در مکان‌گزینی جهات مناسب توسعه شهری. غفاری زرین و همکاران (۱۳۹۷، ۳۳) محدوده‌های مناسب برای توسعه در شهر کلاله. سوتانتا<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۰۹، ۷) در برنامه‌ریزی کاربری زمین در کاهش خطر پذیری بلایا. ژا<sup>۵</sup> (۲۰۱۲، ۳۱۱) تصمیمات منطقی درباره کاهش خسارات سیل. فیض نیا (۲۰۱۵، ۱۱۵۹) با بررسی خطرناک‌ترین مناطق مواجه با خطر سیل در مخروط‌افکنه کردان کرج. بو چن<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۷، ۳۳۸) مدل‌سازی سیل با استفاده از روش LiDAR برای سند سیلاب آیوا. هان و جیا<sup>۷</sup> (۲۰۱۷، ۱۰۷) به بررسی تغییرات کالبدی شهری و توسعه شهری در فوشان چین تحقیقاتی را انجام داده‌اند.

شهرک پردیسان که منطقه ۸ قم نیز به شمار می‌رود، با سرعت زیادی در حال گسترش است و جمعیتی بالغ بر ۱۱۰ هزار نفر در این شهرک سکونت دارند. سیلاب از جمله بلیه‌هایی است که پردیسان را در چالش روبه‌رو کرده است. بعنوان نمونه در فروردین سال ۸۸ شاهد بارندگی شدید و سیلاب در استان بودیم. به موجب این، خسارات زیادی به جاده‌ها، زمین‌های کشاورزی و مسکونی، قنات‌ها، راه‌های مواصلاتی و دام‌های اهالی منطقه وارد گردید. قرارگیری این منطقه از شهر قم در محدوده سیلابی و آسیب پذیر بودن آن، ضرورت دارد تا مطالعات جامع در این مکان صورت بگیرد.

1. Hose

2. Pelletier

3. Hasheminia and etal

4. Sutanta

5. Jha

6. Bo Chen

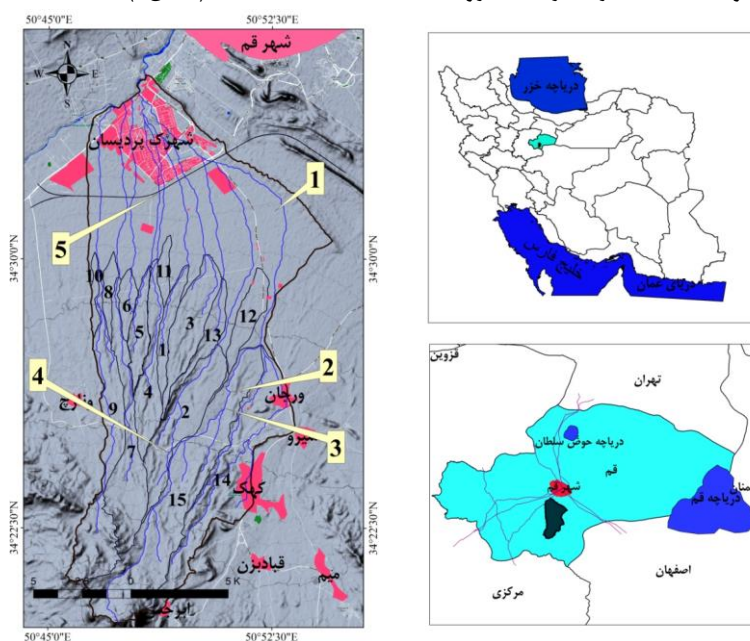
7. Han and Jia

برخورداری از شیب، آب و هوای مطبوع، دسترسی به جاده‌های مواصلاتی و همچنین فضای هموار در توسعه شهری، اهمیت دارد که توسعه آبی این منطقه به صورت منطقی و اصولی مورد مطالعه قرار گیرد. اخیراً مسئولین استانی در تلاش هستند که مجوز ۵۶۰ هکتاری در منطقه پردیسان جهت توسعه فیزیکی شهر را بگیرند، لذا می‌طلبند تحقیقات و اقدامات بهینه در فضای جغرافیایی پردیسان انجام گیرد. هدف از این تحقیق، پاسخ به این سوال که آیا توسعه شهر قم در محدوده مورد مطالعه بر مبنای ویژگی‌های جغرافیایی صورت گرفته است یا خیر؟ برای پاسخ به این سوال نیاز است به ارزیابی وضعیت شهرک پردیسان در محدوده سیلاب پردازیم. در شکل‌گیری چشم‌انداز کنونی پردیسان متغیرهایی مثل تکتونیک، اقلیم، زمین‌شناسی و پوشش گیاهی در طول هزاران و یا میلیون سال نقش داشته‌اند. عوامل ذکر شده با تأثیر بر شیب، دبی جریان و مواد آواری حاصل از حوضه‌ها، مسیر عبور جریان و محدوده خطر سیلاب را مشخص می‌کنند که در این تحقیق مبنای کار قرار می‌گیرند.

### روش تحقیق

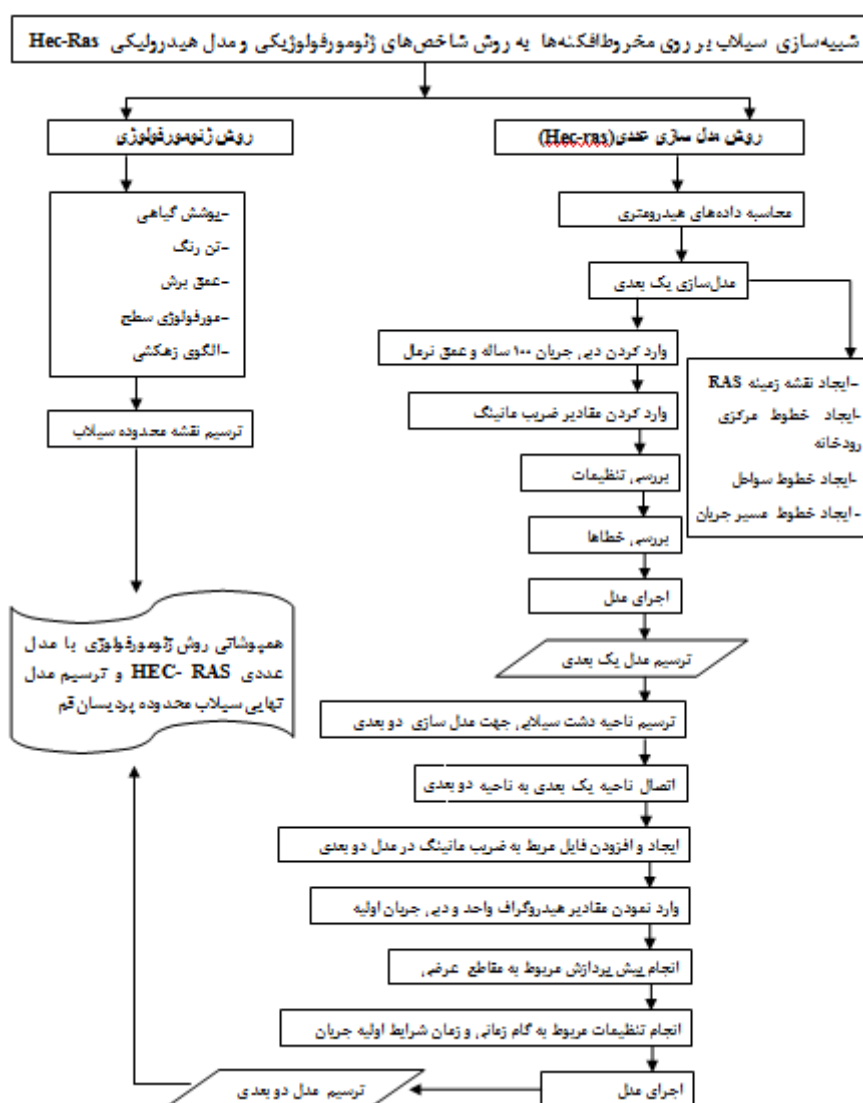
#### موقعیت محدوده

منطقه مورد مطالعه در محدوده رودخانه قمرود (در محدوده شهر قم) قرار گرفته است. مرتفع‌ترین نقطه محدوده پردیسان ۲۲۵۰ و پایین‌ترین نقطه ۹۸۷ متر از سطح دریا است. از نظر موقعیت جغرافیایی منطقه مورد نظر در طول جغرافیایی  $34^{\circ}14'14''$  غربی و  $50^{\circ}54'17''$  شرقی و عرض جغرافیایی  $34^{\circ}18'50''$  جنوبی و  $34^{\circ}34'15''$  شمالی قرار دارد. وسعت محدوده مورد نظر ۲۲۲۸۶ هکتار است که توسط کوه‌های کم ارتفاع احاطه شده است. آبادی‌ها و شهرک پردیسان، ورجان و کهک از مراکز جمعیتی حوضه مطالعاتی می‌باشند و همچنین شهرک پردیسان بین مسیر ارتباطی قم - کاشان و قم - کهک قرار گرفته است. شیب کلی منطقه جنوب به شمال است، که قسمت جنوبی عمدتاً نهشته‌های مخروط‌افکنه‌های قدیمی و قسمت شمالی نهشته‌های جدید هستند. مخروط‌افکنه‌های قدیمی به شدت توسط فرایندهای آبی عارضه‌دار شده و حوضه‌های آبخیزی برای مخروط‌افکنه‌های جدید شده‌اند. (شکل ۱).



شکل شماره ۱: موقعیت محدوده مورد مطالعاتی (منبع، نویسنده، ۱۴۰۰).

اتخاذ اقدامات و مکانیسم مورد نیاز در بهبود فضای مورد نظر تحقیق امری مطلوب بحساب می‌آید. بدین منظور از منابع کتابخانه‌ای و داده‌های میدانی مختلفی استفاده شد. تصاویر ماهواره‌ای، گزارش‌ها، نقشه‌های کاربری اراضی (۱:۲۵۰۰۰ مقیاس) و توپوگرافی (DEM ۵ متری) محدوده از سازمان آب منطقه‌ای و منابع طبیعی استان قم از جمله منابع مهم استفاده شده در این تحقیق هستند. بدلیل گستردگی منطقه، محدوده را به ۱۵ زیرحوضه تقسیم کردیم. در این تحقیق از دو روش کیفی و کمی استفاده شده است. در روش کیفی با استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژی محدوده‌های خطر سیلاب مشخص گردید، در روش کمی با استفاده از داده‌های عددی در محیط نرم افزار HEC-RAS نقشه خطر سیلاب ۱۰۰ ساله ترسیم و در نهایت نتایج حاصل از هر دو روش با هم همپوشانی و یک نقشه نهایی ارائه گردید. در شکل (۲) مراحل کلی تحقیق ارائه شده است.



شکل شماره ۲: مراحل کلی تحقیق (منبع: نویسنده)

جهت بررسی و مقایسه محدوده‌های سیلابی در ابتدا نیاز به تحلیل وضعیت کنونی منطقه داریم. برای این کار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه پوشش گیاهی، نقشه شبکه آبراه‌های و بازدید میدانی تحلیل محدوده خطر بر روی مخروط‌افکنه‌ها انجام گرفت. به طور کلی در مخروط‌افکنه‌های جدید، الگوی زهکشی توزیعی یا شاخه شاخه و در مواردی متقاطع است، بنا بر عقیده فوکوس (۱۹۸۶)، این امر نتیجه غلبه حالت‌های سیلابی در مخروط‌افکنه‌های جوان است (بهرامی، ۱۳۸۷، ۷۰) در صورتی که بخش‌های غیرفعال به خاطر دوران طولانی از سیلاب در امان بوده‌اند، به صورت کانال‌های همگرا به سمت پایین دست به شکل شبکه درختی ایجاد می‌شود. شاخص تن رنگ نیز مناطق حساس و فعال را از مناطق غیرپایدار تفکیک می‌کند. به طوری که مناطق فعال که کمتر فرصت قرارگیری در معرض هوازدگی شیمیایی را دارند، دارای تن روشن و مناطق که دوره‌هایی متممادی در معرض هوازدگی قرار دارند، دارای رنگ متمایل به تیره دارند. مورفولوژی سطوح مخروط‌افکنه‌ای در محدوده‌های خطر سیلاب به صورت مجرا و پشته است که عاملی برای تفکیک از مناطق غیرفعال سیلابی محسوب می‌شود. پوشش گیاهی همسان و بیشتر جوامع گیاهان یکساله و عموماً فاقد گیاه محدوده‌هایی هستند که قبلاً در معرض سیلاب قرار گرفته‌اند و در آینده نیز این خطر می‌تواند دوباره بوجود آید (شکل ۳). با در نظر گرفتن شاخص‌های مورد نظر محدوده اولیه خطر سیلاب در محدوده شهرک پردیسان ترسیم گردید (شکل ۴). شاخص‌های (جدول ۱) ارائه شده می‌توانند یک طرح کلی از وضعیت کنونی را برای ما به نمایش بگذارند که اصولاً همراه با ایرادها و نقایصی هم هست. برای نمایش بهتر و دقیق‌تر نیاز به مدل‌های ریاضی داریم.

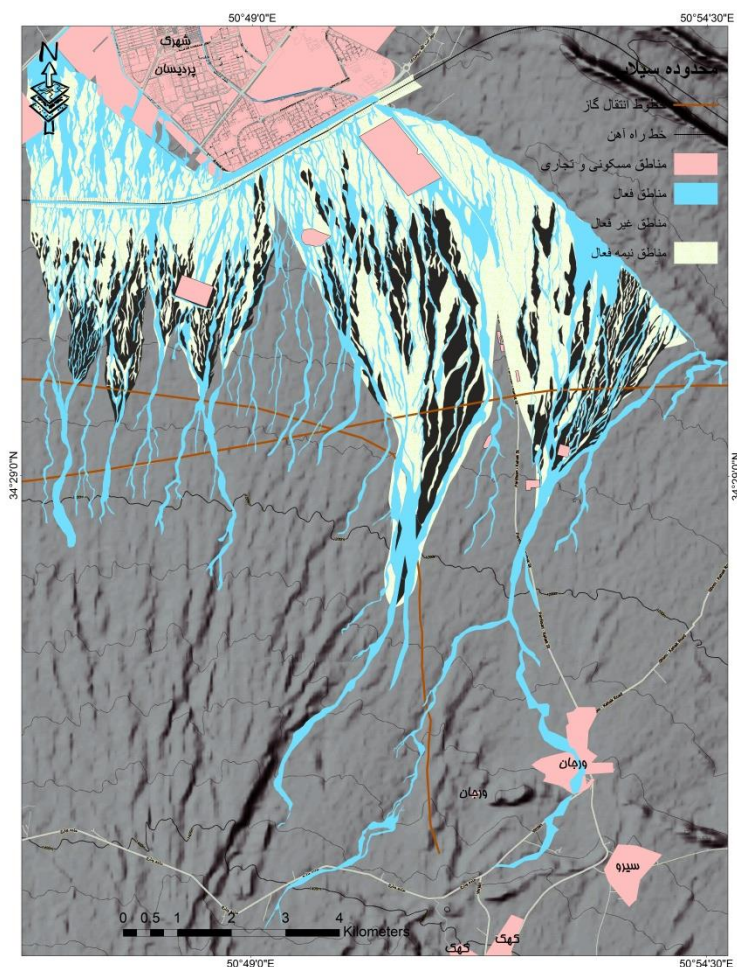
جدول شماره ۱: شاخص‌های ژئومورفولوژی (منبع: بهرامی، ۱۳۹۰، ۶۳)

| نوع                                   | فعال (جدید)                       | غیر فعال (قدیمی)                    |
|---------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| مشخصه مخروط‌افکنه                     |                                   |                                     |
| الگوی زهکشی                           | توزیعی، متقاطع، شاخه شاخه         | همگرا، شاخه درختی، موازی            |
| مورفولوژی سطح                         | مجرا، پشته                        | دره، رشته                           |
| عمق برش                               | کمتر از یک متر                    | بیش از یک متر                       |
| تن رنگ تصاویر ماهواره ای یا عکس هوایی | روشن                              | متمایل به تیره                      |
| پوشش گیاهی                            | همسان و بیشتر جوامع گیاهان یکساله | جوامع گیاهی متغیر و بالغ (چند ساله) |



شکل شماره ۳: نمایی از سطوح سیلابی و همچنین نمایی دور از شهرک پردیسان موقعیت شماره ۱ (منبع، نویسنده، ۱۳۹۹).





شکل شماره ۴: محدوده مناطق فعال و غیر فعال در سطوح مخروط افکنه ای (منبع، نویسنده، ۱۴۰۰).

قبل از وارد شدن به مدل سازی سیلاب نیاز است داده‌های هیدرومتری از منطقه مورد مطالعه تهیه شود. برای این منظور ابتدا به استخراج این داده‌ها می‌پردازیم. در مطالعات هیدرومتری هر منطقه نیاز می‌باشد که از اطلاعات جمع‌آوری شده توسط ایستگاه‌های هیدرومتری استفاده کرد. در این مطالعه به علت فقدان ایستگاه هیدرومتری در محدوده مورد مطالعه برای تجزیه و تحلیل عوامل و پارامترهای مورد نیاز، از روش‌های تجربی جهت برآورد دبی‌های حداکثر سالانه در دوره برگشت‌های مختلف استفاده شده است.

در این مطالعه جهت محاسبه دبی حداکثر سیل از روش استدلالی<sup>۱</sup> استفاده شده است. این روش معمولاً در حوضه‌های کوچک با مساحت تا حدود ۱۰۰۰ هکتار و یا کمی بیشتر به کار می‌رود و در آن فرض شده که باران با شدت ثابت و در تمامی سطح حوضه می‌بارد. رابطه (۱)، روش استدلالی است که به صورت زیر بیان می‌شود (مهدوی، ۱۳۷۸، ۴۰۱)؛

رابطه (۱)

$$CIAQ = \frac{1}{360}$$

که در آن:

<sup>۱</sup> Rational

$Q =$  دبی اوج سیل به متر مکعب بر ثانیه با دوره برگشتی برابر با دوره برگشت رگبار،  $C =$  ضریب رواناب سطحی که از جدول (۲) به دست می‌آید،  $I =$  حداکثر شدت بارندگی به میلی‌متر بر ساعت و در زمان تمرکز است که از منحنی‌های شدت - مدت - فراوانی قابل استخراج می‌باشد،  $A =$  مساحت حوضه به هکتار می‌باشد.

در روش استدلالی فرض بر این می‌باشد که مدت بارندگی برابر زمان تمرکز حوضه باشد. یعنی حداکثر شدت بارانی که مدت آن برابر زمان تمرکز حوضه است در فرمول لحاظ می‌شود (علیزاده، ۱۳۹۱، ۵۸۹). بنابراین برای تعیین شدت بارندگی متناسب با زمان تمرکز، از محاسبات زمان تمرکز در قالب گزارش فیزیوگرافی و برآورد شدت بارندگی از مطالعات هواشناسی منطقه مورد مطالعه استفاده شده است (مطالعه فیزیوگرافی و هواشناسی پردیسان، ۱۳۸۸) مقادیر شدت بارندگی و عمق بارندگی متناسب با زمان تمرکز برای دوره برگشت‌های مختلف در جدول (۲) بر حسب میلی‌متر در ساعت آمده است.

به منظور تعیین بارندگی حداکثر با تداوم زمانی کمتر از ۲۴ ساعته به دلیل آن که داخل محدوده مطالعاتی ایستگاه‌های ثابت وجود نداشته و ایستگاه‌های مجاور نیز دارای گراف‌های محدودی می‌باشند و بعضاً فاصله زیادی تا محدوده مطالعاتی دارند، بنابراین از روابط (۲) و (۳) استفاده گردیده است (علیزاده، ۱۳۹۱، ۲۱۳). این رابطه به صورت زیر می‌باشد:

$$P = (0.4525 + 0.2471 \ln(T - 06))(0.371 + 0.0618t^{0.44})P_{10}^1$$

رابطه (۳)

$$P_{10}^1 = e^{0.8} \times X^{1.1374} \times Y^{-0.3072}$$

$$0.25 \leq t \leq 20$$

$$2 \leq T \leq 100$$

که در آن:  $t =$  مدت تداوم بارندگی (ساعت)،  $T =$  دوره بازگشت (سال)،  $P_{10}^1 =$  مقدار بارندگی یک ساعته با دوره بازگشت ده سال (میلی‌متر)،  $X =$  متوسط حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته (میلی‌متر)،  $Y =$  متوسط بارندگی سالانه در یک دوره مشاهداتی (میلی‌متر) است. مقادیر متوسط حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته (میلی‌متر) و متوسط بارندگی سالانه در یک دوره مشاهداتی (میلی‌متر) از داده‌های آماری سازمان منابع طبیعی استان قم (۱۳۹۵) استخراج گردید (جدول ۳). شایان ذکر است که روابط فوق برای تعیین مقدار بارندگی در زمان تداوم بین ۱۵ دقیقه تا ۲۰ ساعت ارائه شده است. لذا میزان بارندگی ۱۵ دقیقه تا ۶ ساعته با فاصله زمانی ۱۵ دقیقه از یکدیگر برای محدوده مطالعاتی و واحدهای آن محاسبه گردید و همچنین با توجه به رابطه ( $I = P/t$ ) شدت بارش‌های کوتاه مدت در زمان‌های مذکور برآورد گردید که نتایج در جداول شماره (۲) ارائه شده است.

جدول شماره ۲: داده‌های شدت بارندگی، ضریب رواناب، دبی اوج سیل ۱۰۰ ساله (منبع، نویسنده، ۱۴۰۰).

| حوضه | I(mm/hr) | C    | Q(m3/s) |
|------|----------|------|---------|
| p1   | ۱۵,۱۴    | ۰,۴۹ | ۷,۳۱    |
| p2   | ۱۵,۹۲    | ۰,۵۳ | ۲۹,۸۶   |
| p3   | ۱۵,۰۰    | ۰,۵۳ | ۲۰,۳    |
| p4   | ۱۵,۶۴    | ۰,۵۳ | ۱۷,۷    |
| p5   | ۱۵,۲۱    | ۰,۵۳ | ۹,۴     |
| p6   | ۱۵,۶۴    | ۰,۴۹ | ۵       |
| p7   | ۱۶,۶۲    | ۰,۵۳ | ۳۱,۵    |
| p8   | ۱۴,۷۱    | ۰,۴۹ | ۳,۹     |
| p9   | ۱۶,۹۷    | ۰,۵۳ | ۵۰      |
| p10  | ۳,۶۶     | ۰,۴۹ | ۰,۶۲    |



|     |       |      |       |
|-----|-------|------|-------|
| p11 | ۱۴,۶  | ۰,۴۹ | ۳,۲۲  |
| p12 | ۱۴,۸  | ۰,۴۹ | ۹,۷۲  |
| p13 | ۱۵,۱  | ۰,۵۳ | ۸,۲۴  |
| P14 | ۱۶,۹۰ | ۰,۵۳ | ۵۸,۲  |
| P15 | ۱۶,۹۰ | ۰,۵۳ | ۷۷,۱۲ |

### هیدروگراف واحد مصنوعی

برای تحلیل شدت، مقدار و تداوم سیلاب جهت برنامه‌های هشدار سیل نیاز به نمودار هیدروگراف جریان داریم. در واقع هیدروگراف نموداری است که تغییرات دبی رواناب را نسبت زمان نشان می‌دهد. یکی از روش‌ها برای استخراج هیدروگراف واحد در حوضه‌های بدون آمار استفاده می‌شود روش موسوم به هیدروگراف بی بعد SCS است. در این روش مختصات نقاط هیدروگراف واحد از جدول بدون بعد که در آن مقادیر نسبت زمان ( $t/tp$ ) در مقابل نسبت دبی هیدروگراف ( $Q/Qp$ ) داده شده بدست می‌آید. برای بدست آوردن مختصات نقاط هیدروگراف از روی ( $t/tp$ ) و ( $Q/Qp$ ) لازم است مقادیر  $tp$  و  $Qp$  در دست باشند تا از روی آنها مقادیر  $t$  و  $Q$  بدست آید.  $tp$  و  $Qp$  از رابطه‌های زیر بدست می‌آید (علیزاده، ۱۳۹۱، ۶۱۷).

رابطه (۴)

$$Qp = \frac{0.208A}{Tp}$$

رابطه (۵)

$$tp = \frac{D}{2} + ti$$

که  $D$  تداوم مورد نیاز برای بارندگی (ساعت)،  $t$  زمان تأخیر حوضه (ساعت)،  $A$  مساحت حوضه (کیلومتر مربع)،  $Qp$  دبی پیک هیدروگراف واحد بر حسب متر مکعب در ثانیه برای یک میلی متر رواناب است و  $tp$  زمان رسیدن به دبی پیک می‌باشد. در روش SCS مدت بارندگی ( $D$ ) که هیدروگراف واحد برای ساخته می‌شود بستگی به زمان تمرکز داشته و از فرمول زیر بدست می‌آید؛

رابطه (۶)

$$D = 0.133Tc$$

برای بدست آوردن زمان تأخیر که در اکثر مطالعات هیدرولوژی به روش SCS زمان تأخیر از معادله زیر تخمین زده می‌شود؛

رابطه (۷)

$$ti = Tc/1.66$$

$Tc$  زمان تمرکز بارش است که در روش SCS به روش تأخیری از فرمول زیر استفاده می‌شود (صفوی، ۱۳۸۸، ۱۳۷).

رابطه (۸)

$$Tc = 0.000142L^{0.8} \left( \frac{25400}{CN} - 228.6 \right)^{0.7} S^{-0.5}$$

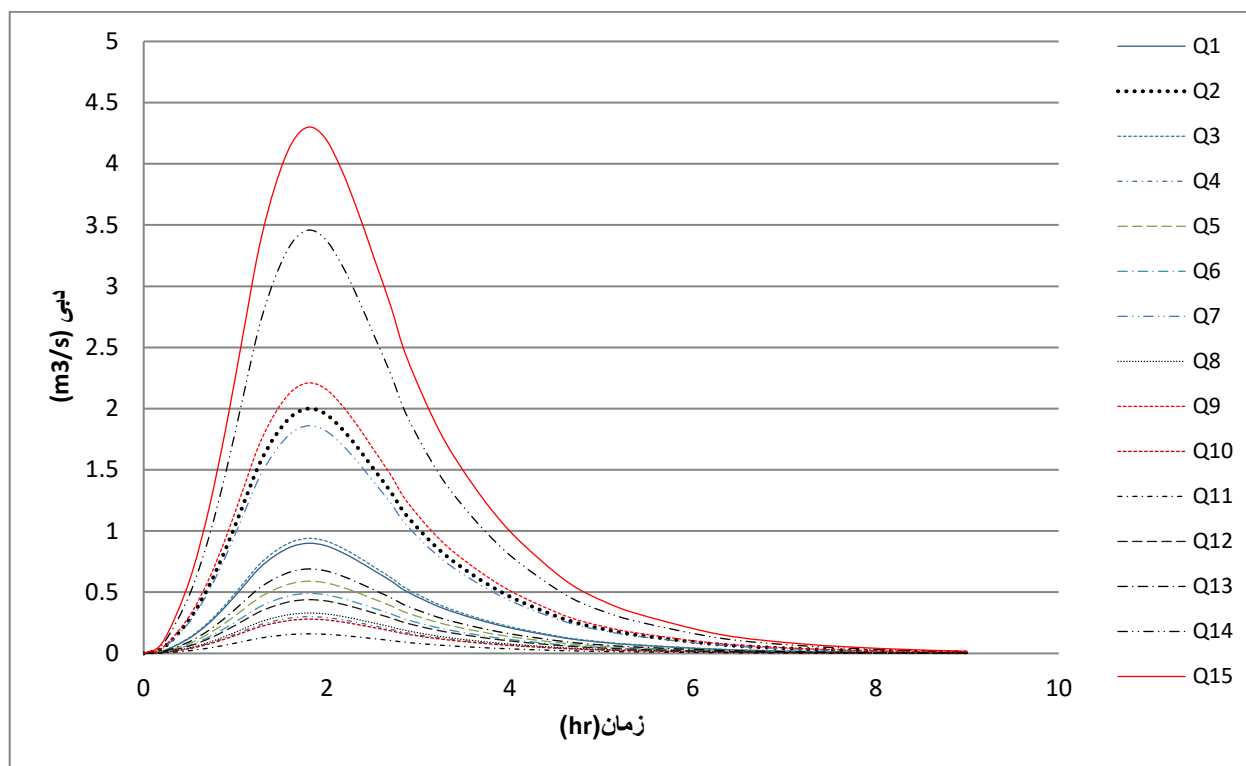
که  $L$  طول آبراهه به متر،  $S$  شیب آبراهه اصلی به درصد است. مقدار  $CN$  بین صفر تا ۱۰۰ متغیر است. در  $CN$  برابر صفر هیچ گونه روانابی از بارندگی حاصل نیامده و در  $CN$  برابر ۱۰۰ کل بارش در سطح زمین جریان یافته و ارتفاع رواناب برابر ارتفاع بارندگی خواهد بود. شماره منحنی ( $CN$ ) از روی مشخصات خاک، نوع بهره‌برداری از زمین و شرایط رطوبت قبلی خاک تعیین می‌شود. در مطالعه حاضر جهت تعیین  $CN$  ابتدا نقشه‌های کاربری اراضی، پوشش گیاهی در محیط

GIS تلفیق شده (مهندسی مشاور فنون آب هستی، ۱۳۸۸) و مقادیر مناسب CN تعیین گردید. سپس با اضافه کردن لایه مربوط به واحدهای هیدرولوژیکی حوضه مقادیر متوسط CN برای هر یک از واحدهای هیدرولوژیکی بدست آمده است (جدول ۳).

جدول شماره ۳: پارامترها برای هیدروگراف سیلاب (منبع، نویسنده، ۱۴۰۰).

| حوضه‌ها | S (%) | L (m)  | CN    | Tc (hr) | A (km <sup>2</sup> ) | Tp (hr) | Qp (m <sup>3</sup> /s) | Ti (hr) | D (hr) | Q (m <sup>3</sup> /s) | Y (mm) | X (mm) | Cross sections | Cell   |
|---------|-------|--------|-------|---------|----------------------|---------|------------------------|---------|--------|-----------------------|--------|--------|----------------|--------|
| p1      | ۱۷,۷۶ | ۱۰۸۷۰  | ۸۱,۶۵ | ۱,۲۵    | ۱۷,۶۵                | ۰,۸۳    | ۴,۴۲                   | ۰,۷۵    | ۰,۱۶۶  | ۷,۳۱                  | ۲۲۰    | ۲۲,۳   | ۱۰۷            |        |
| p2      | ۷,۵۴  | ۱۰۹۰۰  | ۷۷,۶  | ۲,۱۸    | ۱۴                   | ۱,۴۵    | ۲                      | ۱,۳۱    | ۰,۲۹   | ۲۹,۸۶                 | ۱۸۷    | ۱۹,۰   | ۶۵۰            |        |
| p3      | ۷,۳   | ۹۶۷۱   | ۷۹    | ۳,۰۴۴   | ۹,۲۱                 | ۲,۰۳    | ۰,۹۴                   | ۱,۸۳    | ۰,۴۰۴  | ۲۰,۳                  | ۱۷۴    | ۱۷,۶   | ۸۱             |        |
| p4      | ۵,۷   | ۷۹۰۶   | ۸۰    | ۲,۸۳    | ۷,۸                  | ۱,۸     | ۰,۹                    | ۱,۷     | ۰,۳۷۶  | ۱۷,۷                  | ۱۷۶    | ۱۷,۸   | ۱۸۷            |        |
| p5      | ۸,۷   | ۷۶۸۴   | ۸۰,۵  | ۲,۱۹    | ۴,۱۸                 | ۱,۴۶    | ۰,۵۹                   | ۱,۳۲    | ۰,۲۹۲  | ۹,۴                   | ۱۷۷    | ۱۸,۰   | ۷۶             |        |
| p6      | ۲,۹۸  | ۳۹۶۹   | ۷۹    | ۱,۴۸    | ۲,۳۱                 | ۰,۹۸    | ۰,۳۹                   | ۰,۸۹    | ۰,۱۹۷  | ۵                     | ۱۷۲    | ۱۷,۴   | ۱۱۵            |        |
| p7      | ۱۰,۹۶ | ۱۶۱۲۱  | ۸۲    | ۲,۱۶    | ۱۲,۹۲                | ۱,۴۴    | ۱,۸۶                   | ۱,۳     | ۰,۲۸۷  | ۳۱,۵                  | ۱۹۷    | ۲۰,۰   | ۱۷۶            |        |
| p8      | ۲,۶۱  | ۴۷۵۰   | ۷۹,۴  | ۱,۸۱    | ۱,۹۴                 | ۱,۲۱    | ۰,۳۳                   | ۱,۰۹    | ۰,۲۴   | ۳,۹                   | ۱۷۰    | ۱۷,۲   | ۲۵۲            |        |
| p9      | ۱۲,۵۴ | ۱۸۱۰۴  | ۸۱,۵  | ۲,۲۵    | ۱۵,۹۵                | ۱,۵     | ۲,۲۱                   | ۱,۳۵    | ۰,۲۹۹  | ۵۰                    | ۲۰۲    | ۲۰,۵   | ۱۳۶            |        |
| p10     | ۴     | ۴۷۷۷   | ۸۱,۰۷ | ۱,۳۹    | ۱,۲۵                 | ۰,۹۳۱   | ۰,۲۸                   | ۰,۸۳۹   | ۰,۱۸۵  | ۰,۶۲                  | ۱۷۱,۵  | ۱۷,۴   | ۴۲             |        |
| p11     | ۳,۸۴  | ۳۸۶۰   | ۷۸,۷۳ | ۱,۲۹    | ۱,۶۳                 | ۰,۸۵    | ۰,۱۶                   | ۰,۷۷    | ۰,۱۷۷  | ۳,۲۲                  | ۱۶۸    | ۱۷,۰   | ۸۴             |        |
| p12     | ۲,۱۱  | ۷۷۹۱   | ۷۵    | ۳,۴     | ۴,۸                  | ۲,۲۷    | ۰,۴۳۹                  | ۲,۰۵    | ۰,۴۵۳  | ۹,۷۲                  | ۱۷۲    | ۱۷,۴   | ۱۴۸            |        |
| p13     | ۷,۰۴  | ۷۶۳۳,۵ | ۷۶,۸  | ۱,۷     | ۳,۷۲                 | ۱,۱۲    | ۰,۶۹                   | ۱,۰۱    | ۰,۲۲۴  | ۸,۲۴                  | ۱۷۶    | ۱۷,۸   | ۲۱۶            |        |
| P14     | ۱۲,۵  | ۱۶۸۰۸  | ۸۱    | ۲,۱۶    | ۲۴                   | ۱,۴     | ۳,۵                    | ۱,۳     | ۰,۲۸۷  | ۵۸,۲                  | ۲۰۱    | ۲۰,۴   | ۵۷۶            |        |
| P15     | ۱۲,۵  | ۱۹۰۶۸  | ۸۱    | ۲,۳۹    | ۳۱                   | ۱,۶     | ۴,۳                    | ۱,۴۴    | ۰,۳۱۸  | ۷۷,۱۲                 | ۲۰۱    | ۲۰,۴   | ۲۳۳            |        |
| میانگین | ۷,۸۷۲ | .....  | ۷۹,۶۲ | ۲,۱۰۲   | .....                | .....   | .....                  | .....   | .....  | .....                 | ۱۸۴,۳  | ۱۸,۶۸  | .....          |        |
| مجموع   | ..... | ۱۴۹۹۱۳ | ..... | .....   | ۱۵۲,۴                | .....   | .....                  | .....   | .....  | ۳۴۶,۳                 | .....  | .....  | ۳۰۷۹           | ۲۳۸۲۹۹ |

ابعاد هیدروگراف واحد به تفکیک واحدهای هیدرولوژیکی در جدول شماره (۳) آورده شده است. همچنین نمودار هیدروگراف‌های واحد هر حوضه نیز در شکل شماره (۵) آمده است. با توجه به نمودار، حوضه‌های p15 و p14 و p9 و p7، بیشترین حجم سیلاب را وارد مخروط‌افکنه‌ها می‌کنند. برای همین باید توجه بیشتری در مباحث توسعه شهری در خروجی این حوضه‌ها مبذول داشت.



شکل شماره ۵: نمودار هیدروگراف از هر کدام از حوضه‌های مطالعاتی (منبع، نویسنده، ۱۴۰۰).

### مدل‌سازی با نرم‌افزار hec-ras

بعد بدست آوردن داده‌های هیدرولوژی از روابط موجود اقدام به شبیه‌سازی سیلاب از محدوده مورد تحقیق می‌کنیم. برای شبیه‌سازی ریاضی و عددی هر نوع پدیده فیزیکی، بایستی مراحل به شرح زیر طی شود (عزیزیان و صمدی (۱۳۹۶)، ۳۰)؛

- ۱- تعریف هندسی مورد نظر و قلمرو فیزیکی ۲۱- انتخاب پدیده‌های فیزیکی مورد بررسی ۳- تولید شبکه ۲، ۴- تشخیص و تعریف شرایط مرزی ۳، ۵- ارزیابی و صحت‌سنجی مدل ۴

با تلاش‌های صورت گرفته توسط مهندسين ارتش ایالت متحده آمریکا مدل یک بعدی hec-ras به مدل دوبعدی که توانایی شبیه‌سازی دو بعدی جریان را دارا می‌باشد، ارتقاء یافته است. در مدل جدید، مدل در حالت یک بعدی، دو بعدی (حل معادلات موج دینامیک یا معادلات موج پخشیدگی) و یا تلفیقی از هر دو حالت قابل اجراست.

### مراحل اجرای مدل

#### مدل یک‌بعدی

قبل از انجام هر محاسبه‌ای توسط مدل بر روی یک سطح جریان یک‌بعدی و دو بعدی بایستی ابتدا مدل هندسی سطح زمین ایجاد گردد. فایل مورد نظر برای ایجاد مدل هندسی سطح زمین نقشه توپوگرافی ۵متری تهیه شده توسط سازمان منابع طبیعی استان قم (۱۳۹۵) می‌باشد. پس از ایجاد مدل هندسی، مدل یک‌بعدی برای همه کانال‌های اصلی ایجاد

1. physical Domain

2. Mesh Generation

3. Define Boundary CCondition

4. Evaluation & Calibrasion

گردید. برای این منظور زیر لایه های رودخانه ها، خطوط سواحل، تعیین مسیر جریان، مقاطع عرضی<sup>۱</sup> و سطوح ناشی از درون یابی مقاطع عرضی استخراج شد.

نوع جریان می‌تواند به طور کلی زیربحرانی، فوق بحرانی و یا مختلط باشد. در رودخانه‌های کوهستانی معمولاً جریان فوق بحرانی است و در رودخانه‌های سیلاب دشتی نوع جریان زیر بحرانی می‌باشد (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۷، ۶). با توجه به اینکه رودخانه‌های ما در بخش کوهستان قرار دارند نوع جریان فوق بحرانی در نظر گرفته شد. همچنین ضریب زبری مانینگ بستر ۰,۰۴ و کناره‌ها رودخانه‌ها ۰,۰۵ با استفاده از نقشه کاربری اراضی و بازدید میدانی برای هر یک از مقاطع عرضی و بر اساس جدول کاون<sup>۲</sup> در مدل یک‌بعدی لحاظ گردید (سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ۱۳۹۴، ۸۹).

مسئله‌ای که در مدل یک‌بعدی مطرح است نحوه ایجاد مقاطع عرضی می‌باشد. مقاطع عرضی اضافی را در مکان‌هایی باید قرار داد که مدل نتواند در چندین مرحله زمانی همگرا شود. با این حال، اگر مقاطع عرضی خیلی نزدیک به هم قرار گیرند، آنگاه حل عددی باعث شیب موج می‌شود و مدل در قسمت بالارونده موج سیلاب مسیریابی شده ناپایدار می‌شود. به طور کلی، برای شرایط نواحی انتقالی، تغییر شیب عمودی، جریان فوق بحرانی به مقاطع عرضی اضافی نیاز است (به عنوان مثال، مقاطع نزدیکتر به هم). بهتر است از هندسه واقعی زمین (خطوط منحنی میزان) برای ساخت مقاطع اضافی به جای صرفاً درون‌یابی مقطع استفاده شود.

پس از انجام مدل‌سازی یک بعدی جریان در سیلابدشت به دلایل زیر ضرورت مدل‌سازی دو بعدی جریان سیلابی اهمیت می‌یابد: ۱- پهنه سیلابدشت رودخانه در برخی مقاطع از بازه مورد مطالعه وسیع بوده و فرض اساسی یک بعدی بودن جریان در طول رودخانه را زیر سوال خواهد برد ۲- به تبع تغییر ماهیت جریان به حالت دو بعدی (البته حداقل دو بعدی در پلان) تغییرات سرعت نیز در دو بعد خواهد بود.

### مدل دوبعدی

پس از ساخت مدل هندسی مربوط به کانال اصلی، باید آن را با مدل هندسی مربوط به کل محدوده مطالعاتی (سیلابدشت) تلفیق و یک مدل یکپارچه و مناسب برای مدل‌سازی هیدرولیکی بدست آید. مدل HEC-RAS6 برای شبیه‌سازی جریان از الگوریتم حل مبتنی بر روش حجم محدود استفاده می‌نماید. مزیت اصلی این روش قابلیت کاربرد آن در شبکه محاسباتی ساختار یافته و ساختار نیافته می‌باشد.

در ایجاد شبکه محاسباتی نیاز به وارد نمودن ابعاد سلولی مورد نظر است. برای ایجاد شبکه محاسباتی از ابعاد طولی (DX) و عرضی (DY) ۲۰\*۲۰ فوت استفاده شد. ابعاد انتخاب شده جزئیات بیشتری از محدوده مناطق سیلابی را به نمایش می‌گذارد. در مجموع شبکه محاسباتی ایجاد شده برای کل دشت سیلابی ۲۳۸۲۹۹ سلول و همچنین مقاطع عرضی ایجاد شده نیز ۳۰۷۹ مقطع می‌باشد. همانطور که برای مدل یک بعدی از ضریب مانینگ استفاده گردید، برای سیلابدشت نیز از ضریب مانینگ مورد استفاده قرار می‌گیرد. نقشه کاربری اراضی برای محاسبه ضریب مانینگ در ناحیه دو بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای این منظور یک لایه پلیگونی یا رستری حاوی اطلاعات در مورد هر کدام از کاربری‌ها در بستر GIS ایجاد شد و با استفاده از جدول (۴) ضریب زبری مشخصی را نسبت می‌دهیم. در ادامه نقشه کاربری اراضی به مدل هندسی اضافه می‌گردد.

1. Cross sections

2. Cowan

جدول شماره ۴: ضریب مانینگ در محدوده مدل دوبعدی (گروه مهندسين ارتش آمریکا<sup>۱</sup>، ۲۰۲۱، ۳۷)

| ۱ | کاربری اراضی            | ضریب زبری |
|---|-------------------------|-----------|
| ۲ | فضای باز                | ۰,۰۳۵     |
| ۳ | زمین‌های کشاورزی        | ۰,۰۵      |
| ۴ | مراتع                   | ۰,۰۴      |
| ۵ | زمین بایرسنگی، شن، ماسه | ۰,۰۳      |
| ۶ | باغ با تراکم متوسط      | ۰,۱۲      |

پس از ایجاد لایه راقومی سطح زمین بین آن و فایل های هندسی موجود ارتباط برقرار گردید. برای اتصال یک آبراهه یک بعدی به یک سطح جریان دوبعدی، در پایین دست آخرین مقطع عرضی آبراهه یک بعدی، در راستای شرط مرزی بالادست سطح دو بعدی ارتباط برقرار گردید. در این نوع شرط مرزی، جریان در هر گام زمانی از آبراهه یک بعدی به سطح دو بعدی وارد می‌شود. زمانی که آبراهه یک بعدی به سطح دو بعدی متصل می‌گردد، بایستی شرایط اولیه را برای هر دو بخش تعریف نمود. شرایط اولیه برای سطح دو بعدی می‌تواند یکی از حالت های خشک، تراز سطح آب و یا استفاده از نتایج اجرای قبلی مدل باشد.

برای اجرای مدل در هر حالت غیرماندگار نیاز به دو شرط مرزی بالادست و پایین دست است. برای شرط مرزی بالادست از یک هیدروگراف با دبی اوج‌های مختلف فوت مکعب بر ثانیه، با زمان پایه ۷:۴۵ دقیقه و گام زمانی ۵ ثانیه و برای شرط مرزی پایین دست از حالت عمق نرمال<sup>۲</sup> با مقادیر مختلف برای هر حوضه استفاده شده است. جهت معرفی شرایط مرزی در پایین دست مدل، از شیب متناظر با عمق نرمال استفاده شده که بر مبنای آن عمق نرمال جریان محاسبه می‌گردد. مقادیر عمق نرمال از شیب سطح آب که عمدتاً برآورد مناسبی از شیب اصطکاک است که مورد استفاده قرار گرفت (جلی فرد و همکاران، ۱۳۸۷، ۲۱۸). برای شروع محاسبات بایستی مقادیر دبی در لحظه شروع مشخص باشد و به همین خاطر در بخش شرایط اولیه<sup>۳</sup> مقادیر عددی بر حسب فوت مکعب بر ثانیه بعنوان دبی اولیه برای هر یک از حوضه‌ها وارد گردید. شرایط ورودی میزان دبی سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله برای هر یک از حوضه‌ها در نظر گرفته شده است (جدول ۲). پایداری مدل به گام زمانی محاسباتی بسیار حساس است. علاوه بر این، یک گام زمانی مناسب، شکل هیدروگراف را به دقت ثبت می‌کند. یک گام زمانی که خیلی بزرگ باشد منجر به انتشار عددی می‌شود (یعنی تضعیف پیک) و یک گام زمانی بسیار کوچک می‌تواند منجر به بی‌ثباتی مدل شود، زیرا لبه اصلی موج سیل تا جایی که باعث ایجاد نوسان می‌شود، شیب‌دار می‌شود. یک گام زمانی که بیش از حد طولانی است نیز ممکن است منجر به زمان های طولانی مدت غیر منطقی شود. برای تعیین (تقریباً) گام زمانی خود، یک قانون عملی این است که گام زمانی محاسباتی را برابر با زمان افزایش هیدروگراف ورودی/۲۴ تعریف کنیم. همچنین از روش آزمون و خطا می‌توان برای آزمایش مراحل مختلف زمانی محاسباتی استفاده کرد تا بینیم بزرگترین مرحله زمانی چه کار می‌کند و در عین حال نتایج دقیق و حداقل خطاهای همگرایی را ارائه می‌دهد (گروه مهندسين ارتش آمریکا، ۲۰۱۶، ۵۲۱).

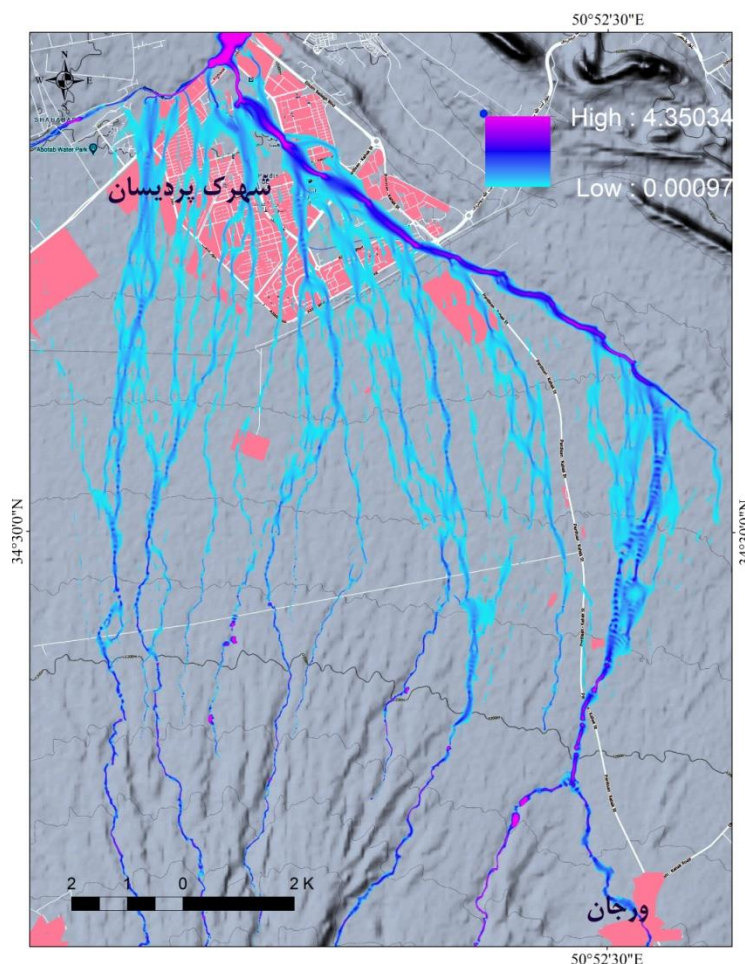
در مدل hec-ras برای حل معادلات سنت-ونانت در محدوده دوبعدی از معادلات Full Momentum و Diffusion Wave استفاده می‌گردد. به هنگام استفاده از روش Diffusion Wave دقت شد در انتخاب گام زمانی و مکانی مناسب برای مدل‌سازی بعمل آید. برای اجرای مدل و پارامترهای خروجی گام زمانی مناسب برای شبیه

1. U.S. Army Corps of Engineers

2. Normal Depth

3. Initial Conditions

سازی، گام زمانی برای تولید هیدروگراف و گام زمانی مناسب برای تولید پارامترهای خروجی (مانند عمق و سرعت) انتخاب شد. پس از اجرای مدل نتایج به صورت یک بعدی و دو بعدی در شکل (۶) قابل مشاهده است.



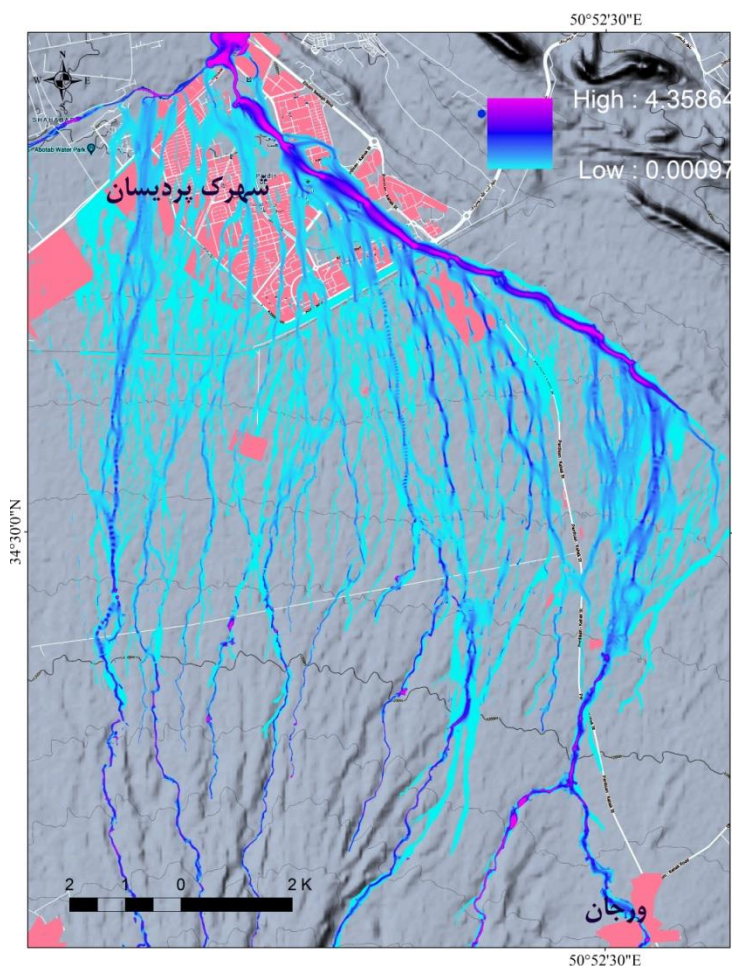
شکل شماره ۶: نقشه مدل‌سازی (بعدی ۱ و بعدی ۲ سیلاب ۱۰۰ ساله محدوده پردیسان (منبع، نویسنده، ۱۴۰۰).

### ترکیب نقشه‌ها

نقشه‌های تهیه شده با شاخص‌های ژئومورفولوژیکی و مدل هیدرولیکی Hec-ras هر کدام بر اساس داده‌ها و روش‌های موجود تهیه شده و با توجه به اینکه کمبودها و نقایص در هر روش و مدلی می‌تواند وجود داشته باشد و برای ارائه نتایج مطلوب، نقشه‌های حاصل از هر دو روش با هم دیگر تلفیق و یک نقشه نهایی شکل گرفت (شکل ۷).

برای همپوشانی، ابتدا لایه پلوگونی مدل ژئومورفولوژیکی را در محیط GIS به فرم رستری تبدیل کردیم و برای ارائه نتایج بهتر، اندازه سلولی مدل ژئومورفولوژیکی را نیز مطابق با مدل هیدرولیکی Hec-ras قرار دادیم، سپس هر دو مدل را با هم ادغام و در نتیجه نقشه پهنه‌بندی سیلاب پردیسان شکل گرفت. با همپوشانی نقشه سیل بر روی محدوده پردیسان مشخص گردید که بخش اعظم شهرک پردیسان بر روی محدوده سیلاب قرار گرفته و از آنجایی که بیش از دو دهه از تاریخ تأسیس پردیسان نمی‌گذرد، شرایط پیش آمده تأمل بر انگیز است. در حال حاضر مسئولان استانی در جهت گسترش فضای شهر در حال رایزنی برای تصرف ۵۶۰ هکتار از اراضی محدوده پردیسان هستند. برای این منظور ضرورت پیدا می‌کند، مطالعات به‌روز و تخصصی در محدوده پردیسان انجام گیرد. همه ساله ما شاهد آبرگرفتی در محله‌های شهرک پردیسان هستیم که قسمت اعظم آورده آب مربوط به بالادست پردیسان است. برای این منظور شهرداری و سازمان آب

منطقه‌ای، اداره کل راه و شهرسازی با همکاری سایر سازمان‌ها وظیفه دارند اقدامات اصلاحی را در بالادست پردیسان برای اصلاح مسیر سیلاب در جهت پایداری محیط انجام دهند.



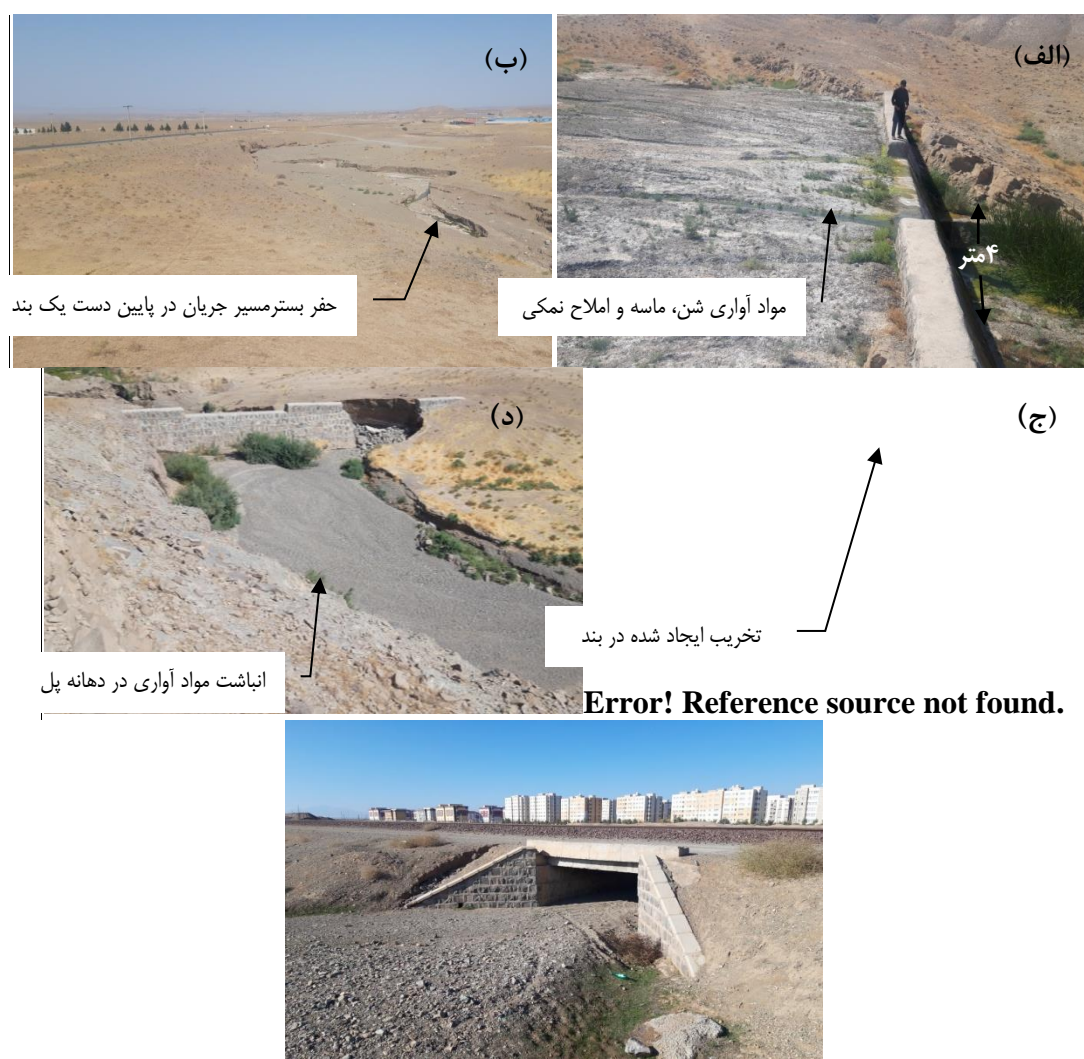
شکل شماره ۷: نقشه نهایی حاصل همپوشانی نقشه سیلاب ژئومورفولوژی و مدل هیدرولیکی Hec-ras (منبع، نویسنده، ۱۴۰۰).

### تشدید سیلاب با دخالت عوامل انسانی

بنابر گزارش سازمان منابع طبیعی استان قم (۱۳۹۵) از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ جمعا ۴۲ سازه (از جمله سنگ ملاتی، گابیون، تورکینست، بند خاکی) به ارزش ۳۷ میلیارد ریال در بالادست محدوده پردیسان به موجب کنترل سیلاب و رواناب ایجاد شده است. یک مسئله‌ای که در اینجا مطرح است، در خصوص طراحی و نظارت در حین و بعد از اجرای سازه است. از آنجاییکه یکی از اهداف این پروژه، تثبیت آبراهه‌ها و جلوگیری از خروج رسوبات است. با بررسی میدانی ملاحظه گردید، اقدامات و نظارت موجود کارساز نبوده و چه بسا در اکثر حالات شرایطی نامطلوب در وضعیت هیدرولیک آبراهه‌ها ایجاد کرده است. طراحی موجود به شکلی انجام شده تا وضعیت پرش جریان در مقطع طولی را شاهد باشیم (شکل ۸-الف). در این وضعیت رواناب قدرت و سرعت بیشتری به خود گرفته و باعث فرسایش کف و حاشیه بستر در ادامه مسیر شده و مواد آواری حاصل آمده به همراه جریان رواناب، نیرو بیشتری بر بستر و حاشیه مسیر جریان وارد می‌کند. این وضعیت می‌تواند زودتر از تقویم موجود در سیستم مخروط‌افکنه‌ای، دست به تغییر گسترده در مخروط‌افکنه بزند و نتیجه آن ناپایداری در مسیر جریان و مخروط‌افکنه است.



علاوه بر طراحی، نظارت بر اجرای سازه نیز اهمیت فراوان دارد. با توجه به جنس سازند ها و مواد آواری حاصل از فعل و انفعالات شرایط محیطی در حوضه آبخیز، باعث پر شدن سریع این مخازن شده و در واقع به نوعی کارکرد خودش را از دست داده است. جریان آواری به همراه پرش ایجاد شده در مسیر جریان، باعث ناپایداری در مسیر جریان می گردد. لذا ضرورت دارد علاوه بر اصلاح طراحی سازه، شرایط نظارتی نیز در مخازن انجام گیرد (شکل ۸-ب). یک نمونه از سازه ایجاد شده شکل (۸-ج)، مشاهده می شود که عدم وجود طراحی مناسب و نظارت در روند ایجاد سازه، سبب حفر شدید بستر و پایه سازه و در نهایت منجر به تخریب بند شده است و همچنین وضع پیش آمده در پایین دست، بنا بر ادعای اهالی باعث از بین رفتن محصولات کشاورزی گردیده است. همچنین پلهایی نیز جهت عبور رواناب و سیلاب احتمالی در مسیر جریان طراحی شده‌اند. با بررسی میدانی و مراجعت به موقعیت پلهای مشخص گردید که ورودی اکثر پلهای از مواد آواری حاصل از جریانهای سیلابی انباشته شده و شرایط را برای عبور سیلابهای آتی با مشکل مواجه ساخته است (شکل ۸-د). شرایط پیش آمده باعث هدر رفت منابع و هزینه‌های انجام شده در کنترل سیلاب و تثبیت مواد آواری شده و گاهی بر شدت آن نیز افزوده است. در مجموع شرایط موجود مبین این نکته است که طراحی شهری و متعاقب آن مطالعه و اصلاح مسیر با ویژگی‌های جغرافیایی منطقه همخوانی نداشته و چشم‌انداز ناپایداری بر فضای جغرافیایی محدوده حاکم گردیده است.



شکل شماره ۸: تصویر (الف) - پر شدن بند (موقعیت شماره ۲). تصویر (ب) حفر بستر مسیر جریان در اثر پرش طولی مقطع رودخانه (موقعیت شماره ۴) - (ج) - تخریب قسمتی از بند (موقعیت شماره ۳ در نقشه شماره ۱)، (د) - انباشت مواد آواری در دهانه پل (منبع، نویسنده، ۱۴۰۰).

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش شبیه‌سازی سیلاب بر روی مخروط‌افکنه‌ها به روش شاخص‌های ژئومورفولوژیکی و مدل هیدرولیکی Hec-Ras در محدوده شهرک پردیسان قم موضوع تحقیق است. پردیسان قم به لحاظ موقعیت قرارگیری در سطوح مخروط‌افکنه‌ای، پتانسیل بالایی برای مواجه شدن با سیلاب را دارد. بدین جهت به پهنه‌بندی سیلاب با روش‌های مذکور پرداختیم. شبیه‌سازی سیلاب با هر کدام از روش‌های کیفی و کمی دارای معایبی است. ترسیم نقشه سیل با روش کیفی ساده ولی در عین حال می‌تواند با معایبی همراه باشد و در نهایت طرح کلی از محدوده سیلاب ارائه می‌دهد. مدل سازی عددی با نرم‌افزار Hec-ras با اینکه وقت گیر و دارای پیچیدگی زیادی است، اما جزئیات بیشتری برای ما به نمایش می‌گذارد. در این مدل به لحاظ عددی بودن باید سعی شود، مقاطع عرضی در مدل به درستی لحاظ شود و گرنه مدل ناپایدار می‌شود. از طرفی باید سایر پارامترها از جمله شرایط مرزی، شرایط اولیه، گام زمانی و سایر تنظیمات بخصوص در مدل دوبعدی بدرستی انجام بگیرد در غیر این صورت، نتیجه درستی مدل ارائه نخواهد داد. در مجموع شبکه محاسباتی

ایجاد شده برای کل دشت سیلابی با ابعاد طولی (DX) و عرضی (DY)  $20 \times 20$  فوت  $238299$  سلول و همچنین مقاطع عرضی ایجاد شده برای ۱۵ حوضه آبخیز مورد مطالعه  $3079$  مقطع می‌باشد که حجم بالای کار را نشان می‌دهد. چنین نقشه‌هایی می‌تواند در مطالعات تفصیلی نیز به کار برده شود. مسائل و مشکلات توسعه شهری در منطقه پردیسان و همچنین سایر مناطق با وضعیت مشابه می‌تواند وجود داشته باشد که بعد از ترسیم نقشه پهنه خطر سیل، با ارائه راهکارهایی می‌توان آسیب‌پذیری را به حداقل رساند، از جمله راهکارهای مورد نظر؛ مشخص کردن محدوده پهنه سیلابی حوضه پردیسان و امکان تفکیک اراضی در معرض خطر سیل و تسهیل در نرخ‌گذاری برای بیمه نمودن مناطق حاشیه رودخانه، امکان برآورد مقدار خسارت وارده به زمین‌های حریم رودخانه در اثر سیلاب‌های مشاهده‌ای و همچنین سیلاب‌های طراحی بر مبنای دوره بازگشت‌های مشخص، امکان مکانیابی برای ایجاد تاسیسات زیر بنایی ایمن در مقابل مخاطرات طبیعی. امکان نصب علائم هشدار دهنده در مناطق ناامن و همچنین کمک به توسعه و ایجاد سیستم‌های هشدار سیل می‌توان اشاره کرد.

علیرغم تازه تأسیس بودن شهرک پردیسان، عملیات مکانیابی جهت بنای شهرک به درستی انجام نگرفته و یا اینکه دیدگاه جامع‌نگرانه و سیستمی بر مکانیابی فضای شهری محقق نشده است. نتیجه این اقدام خسارات مالی و از بین رفتن امکانات زیربنایی و شهری شده است. مشکل وقتی حادتر و جدی می‌شود که عملیات اصلاحی در بالادست پردیسان به درستی انجام نگرفته باشد که این اوضاع سبب افزایش خسارات و آسیب به زمین‌های کشاورزی شده است. البته مسئولان استانی در جهت طرح مسکن ملی، قصد دارند  $560$  هکتار از اراضی بالادست شهرک پردیسان را تصرف کنند، لذا پیشنهاد می‌شود شرایط سیلابی منطقه را در اولویت تصمیمات خود قرار دهند. در مجموع شرایط موجود مبین این نکته است که طراحی شهری و متعاقب آن مطالعه و اصلاح مسیر با ویژگی‌های جغرافیایی منطقه همخوانی نداشته و چشم‌انداز ناپایداری بر فضای جغرافیایی محدوده حاکم گردیده است.

## منابع

- آبروش، ز.، یمانی، م.،  $1395$ ، پهنه‌بندی خطر سیل در منطقه پردیسان قم با رویکرد مکان‌گزینی پایگاه امداد و نجات، رشته هیدروژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- بهرامی، ش.، بهرامی، ک.،  $1390$ . ارزیابی تکنیک‌های ژئومورفولوژی جهت شناسایی مخروط‌افکنه‌های قدیمی و جدید به منظور تعیین مناطق مستعد سیل خیزی در چهار مخروط‌افکنه در زاگرس چین خورده، جغرافیا و توسعه، دوره ۴۳، شماره ۲۲، صص ۵۱-۷۰.
- بهرامی، ش.، یمانی، م.، علوی پناه، س. ک.،  $1387$ . تحلیل مورفومتری و مورفولوژی شبکه زهکشی در مخروط آتشفشانی تفتان، جغرافیای طبیعی، شماره ۶۵، صص ۶۱-۷۲.
- پور احمد، ا.، مهدی، ع.، مهدیان بهنمیری، م.،  $1396$ . مطالعه و بررسی روند و گسترش کالبدی- فضایی شهر قم با استفاده از مدل‌های آنتروپی شانون، هلدرن و جینی، جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، دوره هفتم، شماره ۴، صص ۵۹-۷۶.
- جبلی‌فرد، س.، امیدوار، آ.، نجفی‌جیلانی، ع.،  $1387$ . ترجمه کتاب «سیستم تحلیل رودخانه»، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، چاپ سوم.
- جمالی، م.، مقیمی، ابراهیم، جعفر پور، ز.، کردوانی، پرویز،  $1394$ . تحلیل فضایی مخاطرات ژئومورفولوژی توسعه شهر در حریم رودخانه خشک کلان شهر شیراز، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال دوم، شماره ۳، صص ۵۱-۶۱.
- رضایی‌مقدم، م. ح.، یاسی، مهدی، نیکجو، م. ر.، رحیمی، م.،  $1397$ . پهنه‌بندی و تحلیل مورفولوژیکی سیلاب‌های رودخانه قرسو با استفاده از مدل هیدرودینامیکی Hec- ras، جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره هفتم، شماره بیست و پنج، ۱-۱۵.
- روستایی، ش.، علیزاده گرجی، غ. ر.، موسوی، ر.،  $1396$ . تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب حوضه آبخیز نکا رود با استفاده از مدل GIS/RS و SCS-CN، پژوهش‌های کمی، سال ششم، شماره ۱، صص ۱۰۷-۱۱۸.

- سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور. (۱۳۹۴). راهنمای تعیین ضریب زبری هیدرولیکی رودخانه ها (دفتر استانداردهای فنی، مهندسی، اجتماعی و زیست محیطی آب و آبفا).
- سالاری، م.، نیری، هادی،، امانی، خ.، گنجائیان، ح.، ۱۳۹۶. ارزیابی ژئومورفولوژیکی تنا سب زمین برای گسترش کالبدی شهر سنج با اعمال مناطق ممنوعه، دوره ۵، شماره ۱، صص ۱۲۷-۱۴۵.
- شیخ علیشاهی، نجمه،، جمالی، ع. ا.، حسن زاده نفوتی، م.، ۱۳۹۵. پهنه بندی سیل با استفاده از مدل هیدرولیکی تحلیل رودخانه، حوضه آبریزمنشاد استان یزد، فضای جغرافیایی، دوره ۱۶، شماره ۵۳، صص ۷۷-۹۶.
- صفوی، ح.، ۱۳۸۸. هیدرولوژی مهندسی، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه اصفهان، اصفهان.
- عزیزیان، ا.، صمدی، ا.، ۱۳۹۶. شبیه سازی دوبعدی سیلاب در محیط عددی HEC-RAS6. چاپ اول، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی قزوین، قزوین.
- عزیززاده، ا.، ۱۳۹۱. اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ سی و چهارم، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.
- غفاری‌زرین م. ر.، نورالهی بسطام، ا.، بشاش سفرچی، م.، ۱۳۹۷. توان سنجی اکولوژیکی زمین جهت شناسایی مناطق مستعد توسعه، دهستان آق سو شهر کالته، رویکردهای نوین در مهندسی عمران، دوره ۲، شماره ۳۳، ۱-۵۴.
- ملایی، ز.، داوری، ک.، انصاری، ح.، ۱۳۹۱. بررسی پدیده سیل گیری با استفاده از ویژگی های ژئومورفولوژی و هیدروژئومورفولوژی، پایان نامه کارشناسی ارشد، مهندس آب، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ملایی، ز.، داوری، ک.، انصاری، ح.، فرید حسینی، ع.، ها شمی‌نیا. س. م.، ۱۳۹۸. تهیه نقشه ریسک سیلاب با استفاده مدل هیدرولیکی و اطلاعات ژئومورفولوژیکی، مخروطافکنه فریزی در استان خراسان رضوی، پژوهش آب ایران، دوره ۱۳، شماره ۱، صص ۱۹-۲۸.
- منابع طبیعی استان قم؛ ۱۳۹۵. نقشه توپوگرافی ۵ متری محدوده پردیسان استان قم.
- مهدوی، م.، ۱۳۷۸. هیدرولوژی کاربردی، جلد ۲، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران،
- مهندسین مشاور فنون آب هستی، ۱۳۸۸. گزارش مطالعات هیدرولوژی، هواشناسی و کاربری اراضی حوضه پردیسان قم.
- نیکرو، پ.، کاویانپور، م. ر.، پورحسن، م. ع.، ۱۳۹۴. بررسی کاهش خسارت سیل در مخروطافکنه‌ها در بندر عباس، انجمن علوم و مهندسی منابع آب، دوره ۱۱، شماره ۱، صص ۸۷-۹۱.
- *Chen, B. Witold F. K. Goska, R. Nathan, Y., 2017. Using LiDAR surveys to document floods: A case study of the 2008 Iowa flood, Journal of Hydrology, 553(1), 338-349.*
- *Dawdy, D., 1979. Flood frequency estimates on alluvial fans, Journal of Hydraulic Engineering, 105: 1407-1412.*
- *Di Baldassarre, G. (2012). Floods in a changing climate: Inundation modelling (Vol. 3). Cambridge University Press.*
- *Feiznia, S. and Darvishi, N., 2015. Flood Hazard Zonation using the Fema Instructions Case Kurdan Alluvial Fan, Journal of Earth Science & Climatic Change. 18(4), pp1159-1171.*
- *Han, Y and Jia, H., 2017. "Simulating the spatial dynamics of urban growth with an integrated modeling approach: A case study of Foshan, China", Ecological Modelling, 353(23), pp, 107-116.*
- *Hashemina, S. M. Mollaei, Z, Davary, K. Faridhosseini, A. and Pourmohamad, Y., 2018. Enhancing flood hazard estimation methods on alluvial fans using an integrated hydraulic, geological and geomorphological approach. Natrhal hazard and eard system sciences, 18(4), pp1159-1171.*
- *Hirabayashi, Y., & Kanae, S. (2009). First estimate of the future global population at risk of flooding. Hydrological research letters, 3(6)9.*

- *Hose, k.,2005. using geology to improve flood hazard manegment on alluvial fans an example from Laughlin, Nevada, jornal of the American water resources association.41(6), pp1431-1447.*
- *Jha. A, Robin Bloch,R. Lamond.J ., 2012. "cities and Flooding, A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century", published by World Bank .*
- *Pelletier, J. Larry, M. Philip, A. Pearthree, H. Karen, J. E. Kirk. R. V., 2005. An integrated approach to flood hazard assessment on alluvial fans using numerical modeling, field mapping, and remote sensing . GSA Bulletin.117 (9), pp1167-1180.*
- *Sutanta, H., Rajabifard, A., & Bishop, I. D.,2009. An Integrated Approach for Disaster Risk Reduction Using Spatial Planning and SDI Platform", Proceedings of the Surveying & Spatial Sciences Institute Biennial International Conference. Adelaide: urveying & Spatial Sciences Institute.p7*
- *U.S. Army Corps of Engineers (2016). River Analysis System Users Manual. Version5.0. California.*
- *U.S. Army Corps of Engineers. (2021). 2D Modeling User's Manual, Version 6.0 California.*
- *Wilby, R. L., & Keenan, R.(2012). Adapting to flood risk under climate change. Progress in Physical Geography, 36(3), 348-378*
- *Wohl, E. E. (Ed.).(2000). Inland flood hazards: human, riparian, and aquatic communities. Cambridge University Press.*