

پهنه‌بندی سیلاب در نواحی شهری با استفاده از مدل هیدرولوژیکی و اطلاعات میدانی (مطالعه موردی؛ سیل بردسیر، استان کرمان)

رضا حسن‌زاده^{۱*}، مهدی هنرمند^۲، مهدیه حسینجانی‌زاده^۱، صدیقه محمدی^۱

۱. استادیار گروه اکولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و

فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

۲. دانشیار گروه اکولوژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری

پیشرفته، کرمان، ایران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۹/۰۸/۱۶، تاریخ تصویب ۱۳۹۹/۱۲/۲۸)

چکیده

در تحقیق حاضر نقش مدل‌های هیدرولوژیکی در GIS و اطلاعات میدانی به عنوان اطلاعات مردمی در پهنه‌بندی سیلاب و آب‌گرفتگی ناشی از وقوع سیل در شهر بردسیر، در استان کرمان، بررسی شده است. به منظور انجام تحقیق پیش رو، اطلاعات لازم شامل اطلاعات مکانی، توپوگرافی، هیدرولوژی و کاربری اراضی و همچنین، اطلاعات میدانی از طریق پرسشنامه و مصاحبه رودررو با مردم ساکن در منطقه مطالعاتی گردآوری شد. سپس، نقشه محدوده آب‌گرفتگی در شهر با استفاده از مدل HEC-RAS و اطلاعات میدانی تهیه شد که به ترتیب مساحت ۱/۱۳ و ۲/۲۵ کیلومتر مربع آب‌گرفتگی مناطقی از شهر بردسیر را نشان می‌دهند. مقایسه نقشه محدوده آب‌گرفتگی تولیدشده توسط مدل و اطلاعات میدانی با اطلاعات واقعی، به ترتیب صحت کلی ۵۹/۱۶ درصد و ۸۰/۰۷ درصد است که صحت بیشتر اطلاعات میدانی در تعیین محدوده آب‌گرفتگی در منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. اما با ترکیب خروجی مدل با اطلاعات میدانی، صحت نقشه ترکیبی در مقایسه با داده‌های واقعی به ۸۰/۲۷ درصد افزایش یافت که این مطلب نشان‌دهنده تأثیر اطلاعات میدانی در مدیریت خطر سیل است و اگر محققان هیدرولوژی اطلاعات میدانی وقوع سیلاب‌های گذشته در محدوده مطالعاتی را گردآوری کرده و آن‌ها را در طراحی مقاطع عرضی و محدوده پهنه آبرگیر رودخانه استفاده کنند، بی‌شک نتایج حاصل از مدل‌های هیدرولوژیکی واقعی‌تر و کاربردی‌تر خواهند بود. بنابراین، نتایج این تحقیق نشان‌دهنده اهمیت کاربرد اطلاعات میدانی در ترکیب با مدل‌های هیدرولوژیکی به‌منظور کمک به برنامه‌ریزان مدیریت شهری و مدیریت سیل در مناطق تحت تأثیر است.

کلیدواژه‌گان: آب‌گرفتگی، اطلاعات میدانی، بردسیر، سیل، کرمان، HEC-RAS.

مقدمه

تغییرات اقلیمی و دخالت انسان در طبیعت سبب افزایش شدت و رخداد سیل در جهان و وقوع سیل‌های سهمگین در برخی از کشورها و افزایش خسارت‌ها به سازه‌ها، زیرساخت‌ها و تلفات انسانی شده است [۱ و ۲]. سازمان‌های بین‌المللی، ملی و محلی سعی می‌کنند از راه افزایش اطلاع‌رسانی و آگاه‌سازی مردم، خسارت‌های ناشی از سیل را کاهش دهند [۳]. بیشتر این اطلاع‌رسانی از طریق ارائه نقشه‌های سیل‌خیزی و سیل‌گیری در منطقه به مردم انجام می‌شود. این نقشه‌ها بیشتر برای انجام سناریوهای پیش‌بینی وقوع سیل‌گرفتگی، برنامه‌ریزی‌های کاهش وقوع سیل، پاسخ‌گویی سریع، ارزیابی خسارت‌های ناشی از وقوع سیل احتمالی، ارزیابی‌های زیست‌محیطی در منطقه استفاده می‌شوند [۴]. چنین نقشه‌هایی بیشتر به صورت سنتی با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی و توپوگرافیکی تهیه می‌شوند. با توجه به ماهیت تغییرپذیری منطقه و همچنین، شبیه‌سازی پارامترهای مد نظر، نتایج به دست آمده دقت و صحت کمی دارند. بنابراین، درک صحیح از وضعیت توپوگرافیکی و هیدرولوژیکی منطقه و خصوصیات فیزیکی و وضعیت زمانی-مکانی پارامترهای تأثیرگذار می‌تواند در تولید نقشه‌های خطر سیل و همچنین توسعه معیارهای کاهش خطر سیل کارکرد اساسی داشته باشد [۵]. بر اساس تحقیقات انجام‌شده، برای انجام ارزیابی خطر سیل و برنامه‌ریزی به منظور کاهش خسارت‌ها، کاربرد مدل‌های هیدرولوژیکی تحت سیستم اطلاعات جغرافیایی^۱ توانسته است تا حدود زیادی کارشناسان را در رفع مشکل یاری کند.

سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند در تولید، تحلیل و ترکیب اطلاعات مکانی مؤثر باشد [۶] و مدل‌های هیدرولوژیکی برای ایجاد محیطی استاندارد به منظور استفاده بهینه و آسان از توابع هیدرولوژیکی، توسعه زبانی مشترک بین متخصصان این امر و تبادل اطلاعات مکانی هیدرولوژیکی طی دهه‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ توسعه یافتند. مهم‌ترین این مدل‌های هیدرولوژیکی برای شبیه‌سازی سیلاب، بارش و رواناب شامل^۲ HEC-RAS [۷]،^۳ HEC-HMS [۸] و^۴ HEC-FAD [۷]،^۵ WMS [۱۰] و^{۱۱} MIKE هستند.

از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین این مدل‌ها برای ارزیابی سیل‌خیزی و آب‌گرفتگی، HEC-RAS به همراه افزونه HEC-GeoRAS است [۱۲ و ۱۳]. این مدل بر مبنای محاسبات هیدرولیکی رودخانه میزان جریان آب در بستر رودخانه در حالت جریان ماندگار و غیرماندگار را شبیه‌سازی می‌کند و از آن برای تحلیل مناطق متعددی در جهان استفاده شده است. برای پهنه‌بندی سیلاب و میزان آب‌گرفتگی در محدوده رودخانه زارمرد (منطقه بالادست رودخانه تجن) [۱۴]، برای استخراج مقاطع عرضی رودخانه Tisza در مجارستان [۱۵]، نقشه سیل‌خیزی شهر لندن [۱۶]، تحلیل خطر منطقه سنگام در ایالت پرایاگراج هندوستان [۱۷]، پهنه‌بندی خطر سیل در منطقه گرگان‌رود [۱۸] و رودخانه قزل‌اوزن [۱۹]، رودخانه اترک [۲۰] و حوضه آبریز منشاد [۲۱]، نکارود [۲۲] و رودخانه مارون [۲۳] از مدل‌های هیدرولیکی HEC-RAS و HEC-GeoRAS استفاده شده است. بر اساس مطالعات گذشته، تلفیق GIS با مدل‌های هیدرولوژیکی ارزیابی خطر سیل می‌تواند محققان را در ارزیابی، کنترل، پیش‌بینی خطرات و خسارت‌های ناشی از سیل با توجه به عمق، سرعت و انرژی جریان سیل یاری رساند.

راه دیگر مدیریت سیل، استفاده از اطلاعات میدانی^۶ که به اصطلاح به اطلاعات مردمی^۷ شهرت یافته‌اند، است. اطلاعات مردمی اطلاعاتی هستند که توسط مردم به صورت داوطلبانه در مناطق آسیب‌دیده و خارج از آن در مورد وضعیت حادثه و میزان آسیب با استفاده از شبکه اینترنت و سیستم‌های ارتباطی گزارش می‌شوند [۲۴]. اطلاعات مردمی در واقع اطلاعات تولیدشده توسط مردمی هستند که نه آموزش دیده‌اند و نه تحت نظارت سازمانی هستند [۲۵ و ۲۶]. از واژه‌های مرتبط می‌توان به نئوژئوگرافی [۲۷]، تولید نقشه توسط فردی بدون آموزش‌های تخصصی و اشتراک آن با سایر افراد، و اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه [۲۸]، گزارش داوطلبانه در مورد یک حادثه یا مکان، نیز اشاره کرد.

کاربرد اطلاعات مردمی در مدیریت بلایای طبیعی مانند زمین‌لرزه‌های ژاپن در سال ۲۰۱۱ [۲۹] و هائیتی در سال ۲۰۱۰ [۳۰] و توفان حاره‌ای فلورسن در سال ۲۰۱۸ [۳۱]

1. Geographical Information System (GIS)
2. Hydrologic Engineering Center-River Analysis System
3. Hydrologic Engineering Center- Hydrologic Modeling System
4. Hydrologic Engineering Center-Flood Damage Analysis
5. Watershed Modeling System

6. Survey Data
7. Crowd Sourcing

از مرکز بحران است [۳۱]. بر اساس مطالعات اهمیت و ارزش اطلاعات مردمی به‌عنوان ابزاری در مدیریت و پاسخ‌گویی به بحران محرز است که کارکرد مهم مردم در جمع‌آوری و ارسال گزارش‌ها دربارهٔ وضعیت وقوع بلا و میزان خسارت‌ها را نشان می‌دهد [۳۸].

بنابراین، ادغام اطلاعات مردمی به‌عنوان دانش عمومی برآمده از متن جامعهٔ درگیر در حادثه با سایر اطلاعاتی که از مبادی رسمی کسب می‌شود (مانند مدل‌های هیدرولوژیکی HEC-RAS)، به مدیران بحران در تصمیم‌گیری و تصمیم‌سازی منطقی کمک شایانی می‌کند. توسعهٔ تکنولوژیکی امروزه این امکان را به مردم می‌دهد تا اطلاعات لازم را در ارتباط با وقوع بلایای طبیعی، چگونگی گسترش آن، میزان خسارت‌های واردشده و میزان ارقام امدادی مورد نیاز را حتی قبل از حضور تیم‌های ارزیاب در منطقه با سایرین و سازمان‌های درگیر به اشتراک بگذارند [۳۹]. بنابراین، تهیهٔ نقشهٔ سیل‌گرفتنی با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-RAS و اطلاعات مردمی و تلفیق نتایج حاصل از این مدل با نتایج حاصل از اطلاعات مردمی برای دستیابی به نتیجهٔ بهتر در ارزیابی خطر سیل و تعیین محدودهٔ آب‌گرفتگی در منطقهٔ مطالعاتی از انگیزه‌های اصلی این انجام تحقیق است.

مواد و روش‌ها

روش‌های کمی و کیفی برای انجام تحقیق مورد توجه هستند و در این مطالعه از نگرش کمی در زمینهٔ انجام تحلیل‌های آماری-مکانی و از نگرش کیفی در زمینهٔ انجام مصاحبه و جمع‌آوری اطلاعات از مردم و کارشناسان استفاده شده است.

منطقهٔ مطالعه‌شده

شهر بردسیر واقع در ۶۵ کیلومتری جنوب غربی شهر کرمان در طول جغرافیایی ۵۶ درجه ۳۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی قرار دارد (شکل ۱). این شهر به دلیل وقوع سیل در تاریخ ۳۰ بهمن‌ماه ۱۳۹۵ به‌عنوان منطقهٔ مطالعاتی مد نظر قرار گرفت. این سیل بر اثر وقوع باران‌های سیل‌آسا طی روزهای ۲۹ و ۳۰ بهمن ۱۳۹۵ در منطقهٔ بردسیر بر اثر شکستن چهار سد خاکی رخ داد. این سدهای خاکی

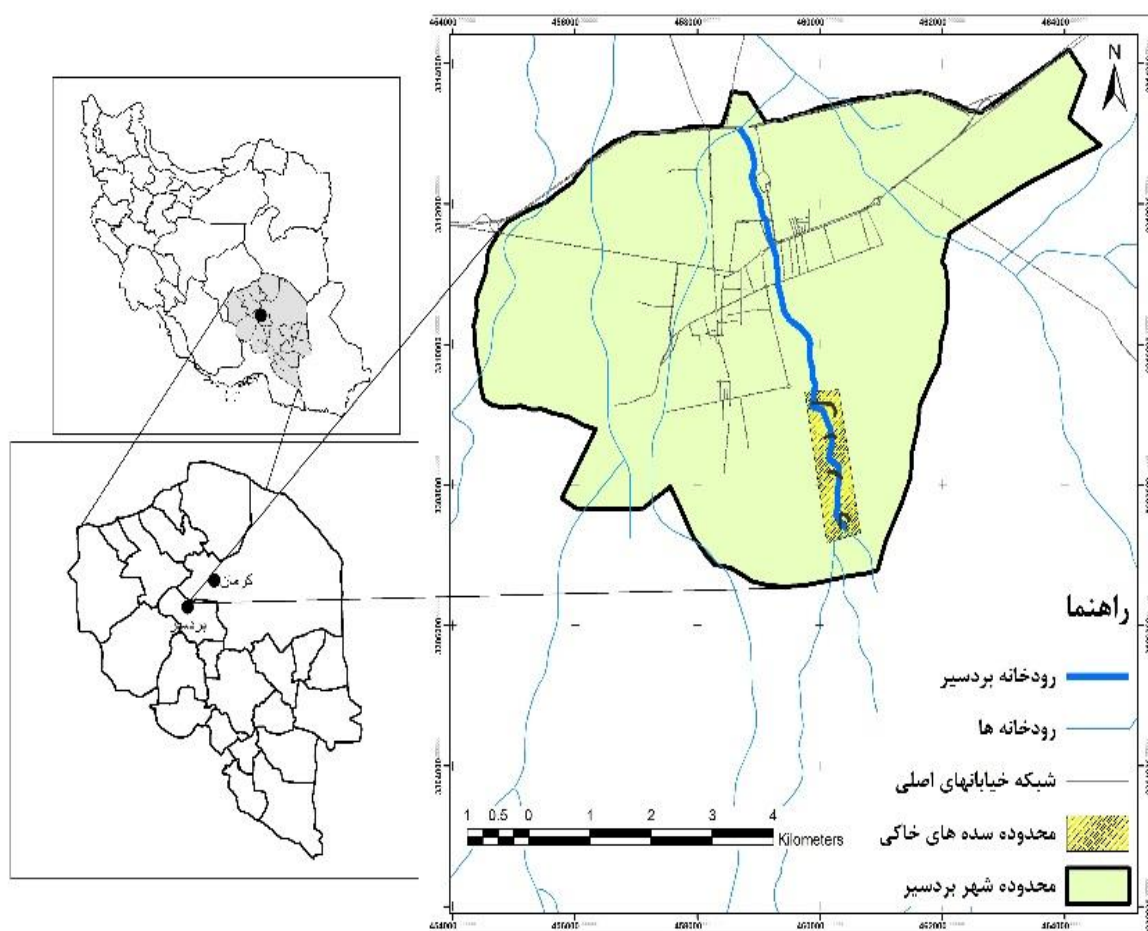
به اثبات رسیده است. این اطلاعات در ارزیابی میزان تخریب سازه‌ها [۳۲ و ۳۳]، اطلاعات دسترسی‌پذیری راه‌ها و همچنین، پاسخ‌گویی به بحران [۳۰ و ۳۴] و اطلاع‌رسانی در ارتباط با اقدام مورد نیاز آسیب‌دیدگان [۲۹] نقش‌آفرینی کرده‌اند. مردم از طریق وب‌سایت‌های عمومی و تخصصی مانند Wikimapia, Tomnod, Person Finder, Ushahidi، پیامک تلفن همراه، شبکه‌های اجتماعی مانند Twitter و Facebook و همچنین، ارسال ایمیل این اطلاعات را به یک سرور مرکزی ارسال کرده‌اند [۳۰ و ۳۴]. روش‌هایی که مردم به‌صورت داوطلبانه می‌توانند در تولید و اشتراک‌گذاری اطلاعات جغرافیایی سهیم باشند، شامل موارد زیر می‌شود: تعیین مختصات یک مکان با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS)، نشان‌گذاری یک مکان روی نقشه‌ای در اینترنت، کشیدن یک لایهٔ اطلاعاتی روی یک نقشه در اینترنت، کامنت‌گذاری روی یک مکان بر یک نقشه، بارگذاری ویدئو و عکس در ارتباط با یک مکان یا حادثه و ارسال اطلاعات از طریق پیامک، ایمیل، شبکه‌های اجتماعی در مورد یک مکان یا حادثه [۳۰ و ۳۴].

در زمینهٔ ارزیابی سیل‌گیری پوسر و درانش [۳۵] میزان آب‌گرفتگی شهر ایلنبرگ در آلمان بر اثر طغیان رودخانهٔ الب را با استفاده از اطلاعات مردمی بررسی کردند. آن‌ها این اطلاعات را از طریق تماس تلفنی با مردم منطقه حدود ۶ ماه پس از وقوع سیل جمع‌آوری کردند و پس از مقایسهٔ نقشهٔ تولیدشده از این اطلاعات با نقشه‌ای که توسط کارشناسان تهیه شده بود، اطلاعات مردمی را کاربردی دانستند. در مطالعهٔ دیگری میدلتون و همکاران [۳۶] با جمع‌آوری توثیق‌های ارسالی مردم در شبکهٔ توییتر دربارهٔ توفان حاره‌ای سندی در آمریکای شمالی در سال ۲۰۱۲ طی ۴۸ ساعت از شروع این توفان، دریافتند که مردم ۱۸ هزار گزارش را هنگام وقوع این توفان بیشتر در ارتباط با نواحی آب‌گرفته، خسارت به سازه‌ها، راه‌ها، پارک‌ها و سواحل ارسال کرده‌اند. تراکم توثیق‌ها در مکان‌هایی که بیشترین آسیب را توسط توفان دیده بودند، بسیار بیشتر از سایر مناطق بود [۳۷]. تحلیل اطلاعات مردمی ارسالی در شبکهٔ USGS طی توفان حاره‌ای فلورسن در سال ۲۰۱۸ نیز نشان‌دهندهٔ تمایل مردم در مناطق تحت تأثیر توفان در اشتراک‌گذاری اطلاعات در مقایسه با سایر مکان‌های دور

اطلاعات مورد نیاز

اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل هیدرولیکی در GIS اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل هیدرولوژیکی -HEC RAS در GIS شامل شیپ فایل رودخانه‌ها، توپوگرافی، محدوده شهری، راه‌های اصلی و فرعی، خیابان‌ها و کوچه‌ها، سازه‌های شهر بردسیر هستند (جدول ۱). این داده‌ها پس از اخذ در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی ویرایش و اطلاعات ضروری در فرمت شیپ فایل آماده‌سازی شد.

به‌صورت متوالی پشت سر هم بنا شده بودند و در بالادست شهر بردسیر و در مجاورت روستای حنیفه قرار داشتند. این سیل باعث آب‌گرفتگی شبکه معابر (خیابان‌ها و کوچه‌ها) و برخی از مدارس و سازمان‌های شهر بردسیر شد و همچنین، خسارت‌هایی به خانه‌های مسکونی (شکل ۲) در محله‌های شهرک فرهنگیان، بوستان شورا، بلوار امامزاده، بلوار ۲۲ بهمن، خیابان معلم، طاهرآباد و فخرآباد وارد کرد [۴۰].



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه‌شده



شکل ۲. شواهد آب‌گرفتگی خانه‌های مسکونی در بعضی از محله‌های شهر، سازمان‌ها، مدارس، خیابان‌ها و کوچه‌های شهر (۴۱ و ۴۲).

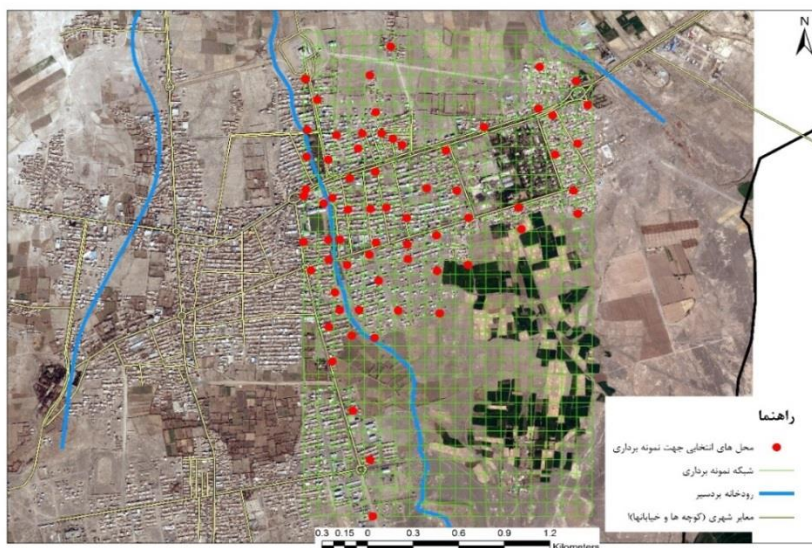
جدول ۱. اطلاعات مورد نیاز

| ردیف | نام لایه | تهیه‌کننده | مقیاس |
|------|--|---|---------|
| ۱ | رودخانه‌ها و مسیل‌ها | اداره کل آب منطقه‌ای استان کرمان | ۱:۲۵۰۰۰ |
| ۲ | راه‌های اصلی و فرعی | سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمان | ۱:۲۵۰۰۰ |
| ۳ | معابر شهری (کوچه‌ها و خیابان‌ها) | اداره کل راه و شهرسازی استان کرمان | ۱:۲۰۰۰ |
| ۴ | توپوگرافی | سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمان | ۱:۲۵۰۰۰ |
| ۵ | DEM | سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمان | ۳۰ متر |
| ۶ | محدوده شهری | شهرداری بردسیر | ۱:۲۰۰۰ |
| ۷ | سازه‌های شهری | اداره کل راه و شهرسازی استان کرمان | ۱:۲۰۰۰ |
| ۸ | کاربری اراضی | منابع طبیعی استان کرمان و تصاویر ماهواره‌ای لندست | ۱:۲۵۰۰۰ |
| ۹ | آمار ایستگاه باران‌سنجی و هیدرومتری موجود در منطقه | اداره کل آب منطقه‌ای استان کرمان | |

اطلاعات میدانی: جمع‌آوری اطلاعات مردمی بر اساس پرسشنامه

اطلاعات میدانی در این تحقیق شامل جمع‌آوری اطلاعات از مردم و ساکنان منطقه در ارتباط با شدت حادثه و میزان خسارت‌های وارد شده به اموال و زیرساخت‌های شهری هستند که به عنوان اطلاعات مردمی برای بررسی میزان تأثیرگذاری این اطلاعات در پهنه‌بندی سیلاب در نظر

گرفته شده‌اند. گروه تحقیقاتی برای جمع‌آوری این اطلاعات درست روز ۳۰ بهمن‌ماه رأس ساعت ۱۰ صبح در شهر بردسیر حاضر شدند و بر اساس شبکه نمونه‌برداری (شکل ۳) و همچنین، پرسشنامه طراحی شده (شکل ۴) و از طریق مصاحبه با ۶۶ نفر از مردم محلی اطلاعات لازم برای ارزیابی سیل و آب‌گرفتگی مناطق مختلف شهر جمع‌آوری شد.



شکل ۳. شبکه نمونه برداری برای دریافت اطلاعات از مردم در شهر بردسیر و بازدید میدانی

کد پرسشنامه:

بنام خدا

دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان

فرم جمع آوری اطلاعات - سیل و آبگرفتگی معابر (شهر بردسیر)



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه سنجش، علمی، صنعتی و فناوری پیشرفته

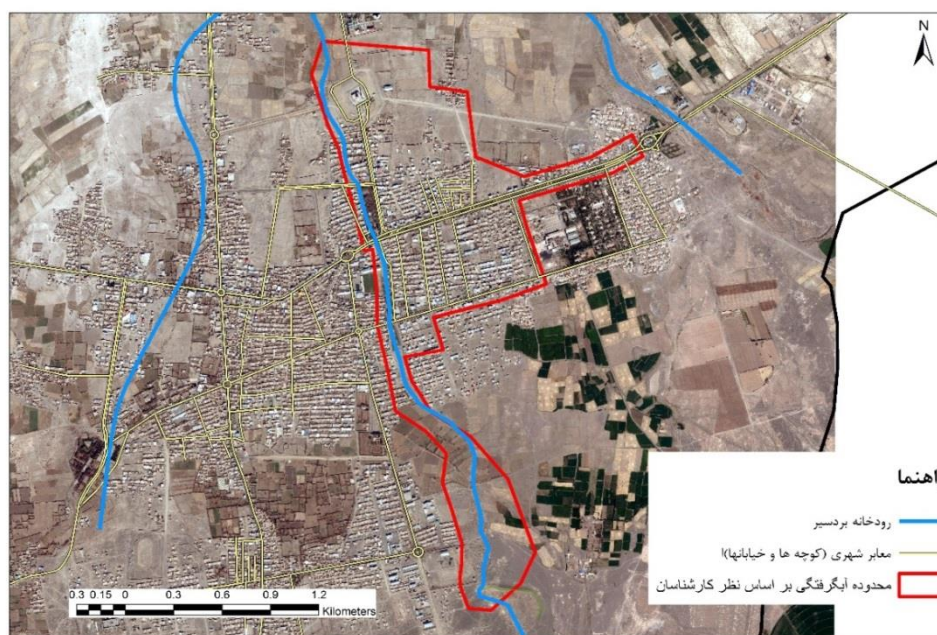
- ۱- اطلاعات شخصی: جنس: تحصیلات: سن:
- ۲- چگونه از وقوع سیل مطلع شدید؟
- ۳- آیا محله خیابان کوچه شما در معرض سیل قرار گرفت؟
- ۴- عمق آبگرفتگی چقدر بود؟ (سانتیمتر: ۰ تا ۵: کم - ۵ تا ۱۰: متوسط - ۱۰ تا ۱۵: زیاد - بیش از ۱۵: خیلی زیاد) در محله خیابان کوچه خانه
- ۵- آیا خانه شما در معرض سیل قرار گرفت؟
- ۶- آیا خسارتی به خانه شما وارد شد؟
چه خسارتی وارد شد؟
به چه میزانی وارد شد؟
- ۷- کمک رسانی به چه صورت انجام شد؟
چه زمانی؟
چه امکاناتی؟
- نیازهای اساسی شما چه بود؟
- ۸- آیا می دانستید در معرض خطر سیل هستید؟
- ۹- برای آگاه شدن از مخاطرات اطراف چه روشی مناسب می باشد؟
۱- برگزاری جلسات در محله ۲- چاپ بروشور ۳- کارگاه آموزشی
۴- گروه های شبکه های مجازی ۵- اینترنت
۶- پیشنهاد شما چه می باشد؟
- ۱۰- آدرس خانه: پلاک کوچه خیابان شهر
- ، ۷: ، X:
- ۱۱- توضیحات:

شکل ۴. پرسشنامه طراحی شده

حاصل از مصاحبه با کارشناسان شهرداری و فرمانداری بردسیر و سازمان آب منطقه‌ای استان کرمان تهیه شده است (شکل ۵). این نقشه به‌عنوان پایه‌ای برای مقایسه با نتیجه حاصل از مدل‌های هیدرولوژیکی به کار گرفته شده است. مساحت محدوده سیل‌گرفتگی بر اساس داده‌های واقعی حدود ۲/۲۸ کیلومترمربع و بیشتر در بخش شرقی شهر است.

جمع‌آوری داده‌های واقعی

این داده‌ها در واقع نقشه میزان آب‌گرفتگی معابر شهری و خانه‌های مسکونی و واحدهای تجاری و اداری در شهر بردسیر است. این نقشه نشان‌دهنده وضعیت واقعی پس از وقوع سیلاب در شهر بردسیر است که از طریق بازدید میدانی پس از وقوع سیل و همچنین، تلفیق این اطلاعات با اطلاعات



شکل ۵. نقشه محدوده آب‌گرفتگی ناشی از وقوع سیل بردسیر بر اساس نظر کارشناسان

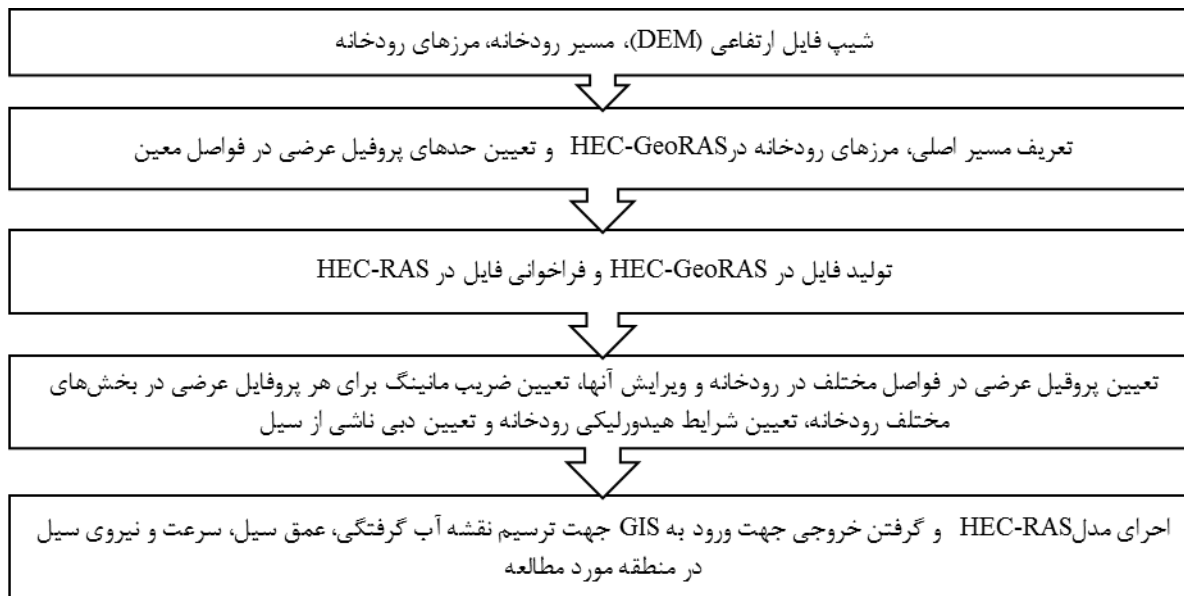
سیلاب و روندیابی در محاسبات لحاظ کند [۴۳]. افزونه HEC-GeoRAS برای استفاده بهینه از محیط GIS برای تولید داده‌های مکانی منظم از جمله مدل ارتفاعی رقومی برای ورود به مدل HEC-RAS توسط اداره مهندسی ارتش آمریکا در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) توسعه یافته است. این داده‌های ورودی شامل شماره مشخصه رودخانه و مقاطع آن - خطوط برشی مقاطع - ایستگاه‌های مرزی مقاطع - طول محدوده پایین‌دست برای ناحیه سمت راست و چپ رودخانه و کانال اصلی رودخانه و ضرایب زبری مقاطع هستند. داده‌های پروفیل سطح آب و سرعت از خروجی‌های حاصل از شبیه‌سازی در HEC-RAS هستند که در HEC-GEORAS فراخوانی شده و برای تجزیه و تحلیل استخراج سیلاب‌دشت و محاسبات محدوده آب‌گرفتگی، تخریب ناشی از سیل و سیستم‌های هشداردهی سیلاب استفاده می‌شوند [۴۴]. اجرای این مدل نیازمند شیپ فایل مسیر و محور

روش‌های تحلیل اطلاعات

روش‌های ارزیابی بر اساس مدل HEC-RAS در GIS از میان روش‌های مؤثر بر ارزیابی آب‌گرفتگی، مدل هیدرولوژیکی سیستم تحلیل رودخانه HEC-RAS [۱۳] بسیار استفاده شده است. مدل HEC-RAS برای انجام محاسبات هیدرولیک و روندیابی جریان رودخانه در حالت جریان ماندگار و غیر ماندگار توسط مرکز سیستم تحلیل رودخانه انجمن مهندسان ارتش آمریکا طراحی شده است. این مدل در حالت جریان ماندگار با در نظر گرفتن یک سیستم کامل از شاخه‌های یک رودخانه (چندشاخه‌ای شدن آبراهه‌ها) و مدل‌سازی پروفیل‌های عرضی بستر رودخانه و پروفایل سطح آب در رژیم‌های جریان زیربحرانی، فوق بحرانی و مختلط، میزان پخش سیلاب در اطراف رودخانه را محاسبه می‌کند. این مدل همچنین می‌تواند اثرات موانع مختلف نظیر پل‌ها، آب‌گذرها، بندها، سازه‌های موجود در دشت سیلابی را در میزان پخش

رودخانه، مرزهای دو طرف رودخانه و دشت‌های سیلابی دو سمت رودخانه است. از مهم‌ترین فایل‌های مورد نیاز نقشه توپوگرافیکی رودخانه است که برای تهیه مقطع عرضی در فواصل مشخص در محدوده مطالعه شده به کار می‌رود.

تعیین ضریب زبری رودخانه و همچنین، میزان دبی مورد نظر نیز از پارامترهای ضروری در اجرای این مدل هستند که پس از اجرا، نقشه میزان آب‌گرفتگی بر اثر سیل با دبی مورد نظر تولید می‌شود (شکل ۶).



شکل ۶. فلوجارت تعیین محدوده آب‌گرفتگی با استفاده از مدل HEC-RAS

روش‌های اعتبارسنجی: روش صحت کلی
برای اعتبارسنجی نتایج حاصل از هر روش، این نتایج با داده‌های واقعی با استفاده از روش صحت کلی مقایسه می‌شوند. بر اساس این روش، ماتریس خطا تولید می‌شود که مقادیر روی قطر اصلی ماتریس میزان شباهت‌های بین طبقات مختلف با داده‌های واقعی را نشان می‌دهد. با جمع این مقادیر و تقسیم آن بر تعداد کل پیکسل‌ها می‌توان میزان صحت کلی نتایج حاصل از هر روش را

طبق رابطه ۱ محاسبه کرد [۴۵] (جدول ۲). در این روش ۵۰۲ نقطه به عنوان مبنای مقایسه در نظر گرفته شدند (شکل ۷).

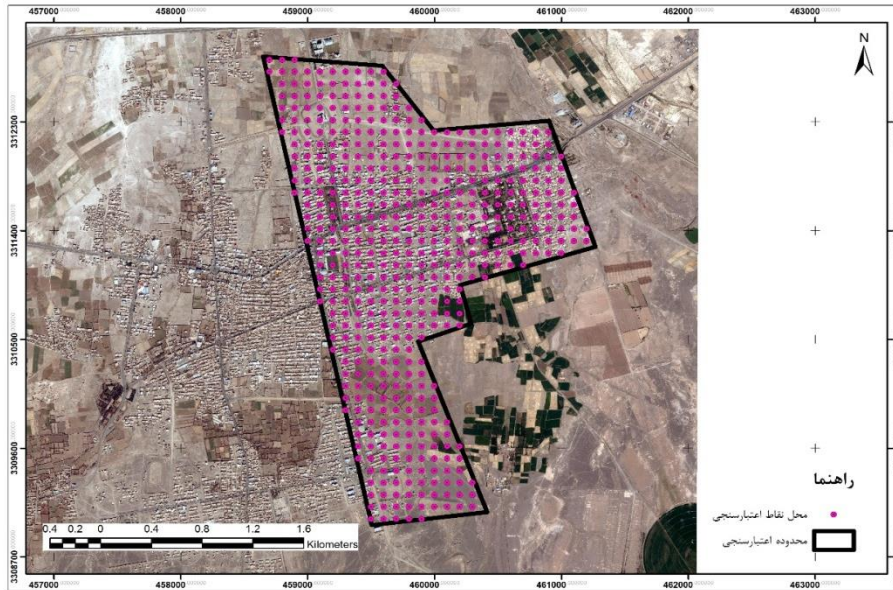
$$Av_Ac = \frac{\sum_{k=1}^q n_{kk}}{n} \times 100 \quad (1)$$

Av_Ac = average accuracy

nkk = تعداد داده‌های صحیح (دارای آب‌گرفتگی) و n = تعداد کل داده‌ها است.

جدول ۲. ماتریس خطا برای مقایسه داده‌های واقعی (Actual Class) با نتایج هر روش (Predicted Class)

| | | Actual Class | | | | Σ |
|-----------------|---|--------------|----------|----------|----------|----------|
| | | A | B | C | D | |
| Predicted Class | A | n_{AA} | n_{AB} | n_{AC} | n_{AD} | n_{A+} |
| | B | n_{BA} | n_{BB} | n_{BC} | n_{BD} | n_{B+} |
| | C | n_{CA} | n_{CB} | n_{CC} | n_{CD} | n_{C+} |
| | D | n_{DA} | n_{DB} | n_{DC} | n_{DD} | n_{D+} |
| | Σ | n_{+A} | n_{+B} | n_{+C} | n_{+D} | n |



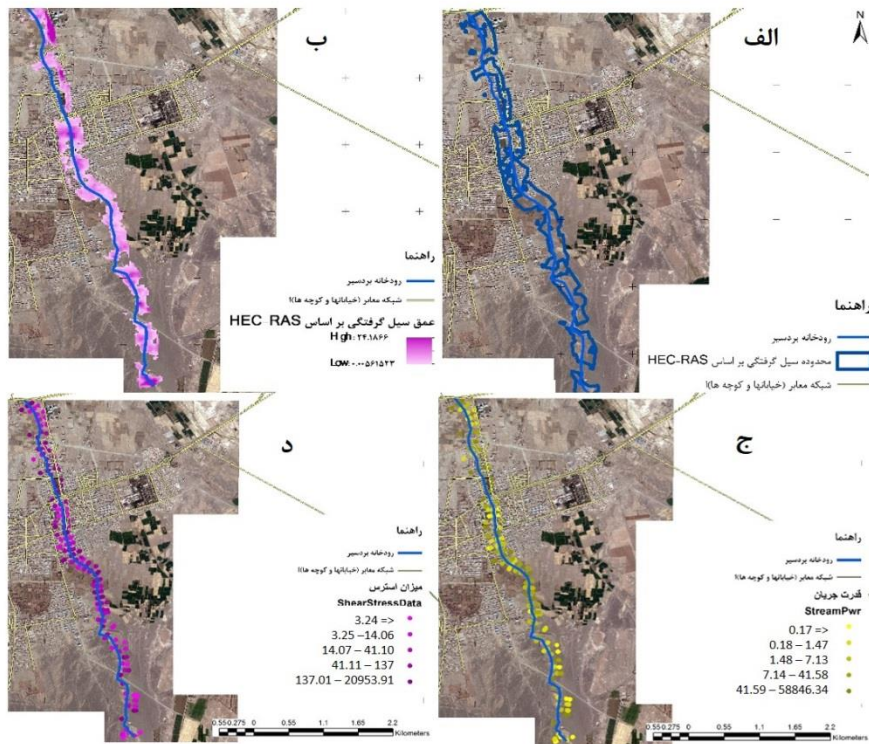
شکل ۷. مکان نقاط مبنای مقایسه در منطقه مطالعاتی

است (شکل ۸ الف). نقشه عمق سیل (شکل ۸ ب)، سرعت جریان (شکل ۸ ج) و تنش وارد شده (شکل ۸ د) نیز از خروجی‌های مدل هستند. مقادیر این پارامترها در بخشی از رودخانه که دچار توسعه شهری شده است، بسیار زیاد هستند.

نتایج

نتایج مدل HEC-RAS

نتایج مدل HEC-RAS نشان‌دهنده محدوده سیل‌گرفتگی بیشتر در مجاورت کانال اصلی رودخانه است که حدود ۱/۱۳ کیلومترمربع از منطقه را فرا گرفته



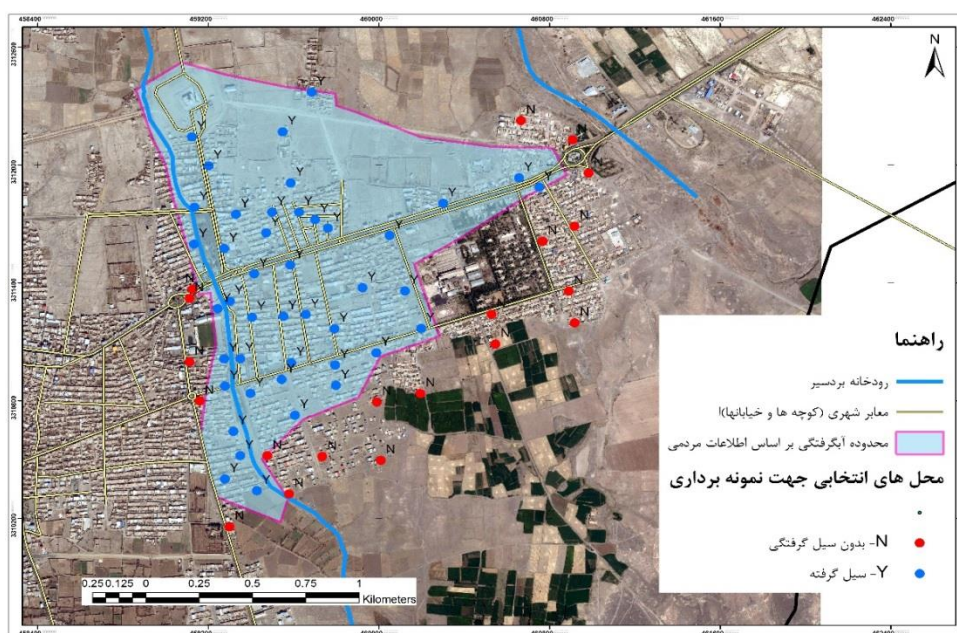
شکل ۸. نتایج مدل HEC-RAS: الف) محدوده آب‌گرفتگی؛ ب) نقشه توزیع عمق آب؛ ج) نقشه توزیع قدرت جریان؛ د) نقشه توزیع قدرت تنش در محدوده آب‌گرفتگی

بر اساس اطلاعات مردمی هستند. این محدوده‌ها بیشتر در بخش شرقی شهر بردسیر قرار گرفته‌اند.

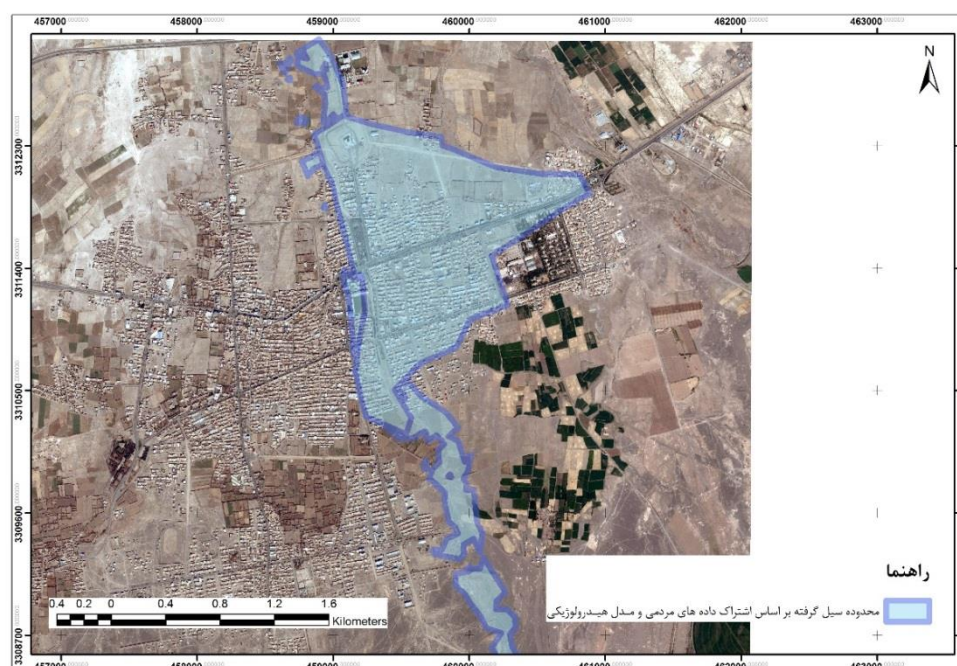
شکل ۱۰ حاصل تلفیق نتایج حاصل از مدل هیدرولوژیکی و اطلاعات مردمی است که محدوده سیل‌گرفتگی در بخش‌های اطراف رودخانه بردسیر و همچنین، بخش شرقی شهر را نشان می‌دهد.

نتایج تحلیل اطلاعات میدانی - جمع آوری اطلاعات مردمی بر اساس پرسشنامه

تحلیل اطلاعات مردمی مشخص می‌سازد که مساحت محدوده سیل‌گرفتگی حدود ۲/۱۵ کیلومترمربع است. در شکل ۹ نقاط آبی نشان‌دهنده محدوده آب‌گرفتگی و نقاط صورتی رنگ مشخص‌کننده محدوده‌های بدون سیل‌گرفتگی



شکل ۹. محدوده آب‌گرفتگی با استفاده از اطلاعات مردمی



شکل ۱۰. ترکیب نتایج مدل هیدرولوژیکی HEC-RAS با اطلاعات مردمی

مقطع عرضی رودخانه دارد، باشد. با ترکیب نتایج مدل با اطلاعات مردمی صحت کلی به حد ۸۰/۲۷ می‌رسد که نشان‌دهنده تأثیر نتایج حاصل از اطلاعات مردمی در افزایش صحت محدوده سیل‌گرفتگی و ارزش اطلاعات مردمی در تهیه نقشه آب‌گرفتگی ناشی از سیل است (جدول ۳).

جدول ۳. محاسبه صحت کلی نتایج هر روش در مقایسه با داده‌های واقعی (۱= آب‌گرفتگی و ۲= عدم آب‌گرفتگی)

| CS | | | داده‌های واقعی |
|--------|---------|-----|----------------|
| جمع کل | ۲ | ۱ | |
| ۲۳۳ | ۶۰ | ۱۷۳ | ۱ |
| ۲۶۹ | ۲۲۹ | ۴۰ | ۲ |
| ۵۰۲ | ۲۸۹ | ۲۱۳ | جمع کل |
| ۸۰/۰۷ | صحت کلی | | |

مقایسه نتایج حاصل از اطلاعات مردمی با داده‌های واقعی نشان‌دهنده صحت کلی ۸۰/۰۷ درصد است. این در حالی است که نتایج مدل HEC-RAS از صحت ۵۹/۱۶ برخوردارند که می‌تواند به دلیل کیفیت اطلاعات توپوگرافیکی و DEM منطقه که نقش کلیدی در تهیه

| HEC-RAS | | | داده‌های واقعی |
|---------|---------|----|----------------|
| جمع کل | ۲ | ۱ | |
| ۲۳۳ | ۱۸۲ | ۵۱ | ۱ |
| ۲۶۹ | ۲۴۶ | ۲۳ | ۲ |
| ۵۰۲ | ۴۲۸ | ۷۴ | جمع کل |
| ۵۹/۱۹ | صحت کلی | | |

| HEC-RAS + CS | | | داده‌های واقعی |
|--------------|---------|-----|----------------|
| جمع کل | ۱ | ۱ | |
| ۲۳۳ | ۳۹ | ۱۹۴ | ۱ |
| ۲۶۹ | ۲۰۹ | ۶۰ | ۲ |
| ۵۰۲ | ۲۴۸ | ۲۵۴ | جمع کل |
| ۸۰/۲۷ | صحت کلی | | |

- توسعه زیرساخت‌های نامتعارف، سدهای خاکی با بدنه ضعیف در بالادست یک منطقه شهری که شکست آنها باعث تخریب سازه‌های شهری و منازل مسکونی شد. این نمونه بارز توسعه‌ای که به ایجاد بحران انجامیده، است.
- عدم آمادگی بستر رودخانه برای پذیرش این حجم آب: رودخانه از بخش مرکز شهر بردسیر عبور می‌کند. اما بخش عمده‌ای از دشت سیلابی آن توسط خانه‌های مسکونی یا توسعه فضای سبز و پارک‌ها و وسایل بازی اشغال شده است. علاوه بر این، بستر رودخانه از رسوبات پر شده است. به‌ویژه در بخش‌هایی که پل‌ها احداث شده‌اند، حجم رسوبات در زیر پل‌ها به اندازه‌ای بود که فقط اجازه عبور حجم بسیار کمی آب را به سمت دیگر می‌داد که این امر سبب لبریز شدن آب و سرازیر شدن آن در خیابان‌های اطراف شد.
- عدم اطلاع‌رسانی به‌موقع و سریع، تعداد زیادی از مردم از وقوع سیل اطلاعی نداشتند که بتوانند خود را برای مقابله با سیل‌گرفتگی واحدهای مسکونی و تجاری آماده سازند.

بحث و نتیجه‌گیری

نقشه خطر سیل و سیل‌خیزی بیشتر برای انجام سناریوهای پیش‌بینی وقوع سیل‌گرفتگی، برنامه‌ریزی‌های کاهش وقوع سیل، پاسخ‌گویی سریع، ارزیابی خسارت‌های ناشی از وقوع سیل احتمالی، ارزیابی‌های زیست‌محیطی در منطقه استفاده می‌شوند. چنین نقشه‌هایی بیشتر به‌صورت سنتی با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی و توپوگرافیکی تهیه می‌شوند که با توجه به ماهیت تغییرپذیر منطقه و همچنین، شبیه‌سازی پارامترهای مد نظر، نتایج به‌دست‌آمده دقت و صحت کمی دارند. بنابراین، درک صحیح از وضعیت توپوگرافیکی و هیدرولوژیکی منطقه و خصوصیات فیزیکی و وضعیت زمانی-مکانی پارامترهای تأثیرگذار می‌تواند در تولید نقشه‌های خطر سیل و همچنین، توسعه معیارهای کاهش خطر سیل نقش اساسی ایفا کند. برای انجام این امر کاربرد همه‌جانبه سیستم اطلاعات جغرافیایی، مدل‌های هیدرولوژیکی و اطلاعات مردمی الزامی است.

با توجه به مطالعات میدانی و مصاحبه‌های مردمی و کارشناسی دلایل اصلی رخداد سیل بردسیر شامل موارد زیر هستند:

۱. بر اساس میزان صحت نتایج خروجی مدل به میزان ۵۹/۱ درصد، استفاده از اطلاعات بزرگمقیاس نواحی شهری در مقیاس ۱:۲۰۰۰ یا حداقل ۱:۱۰۰۰۰ و یا به روزرسانی نقشه‌های با مقیاس بالاتر برای افزایش دقت و صحت نتایج مدل ضروری است.

۲. استفاده از داده‌های دقیق به خصوص داده‌هایی مانند داده‌های توپوگرافی و DEM که نقش اساسی در تولید نقشه سیل‌گیری منطقه و به خصوص تعیین نقاط خسارت‌دیده در منطقه دارند. در این بخش نقشه‌برداری محیط سیلاب‌دشت با جزئیات زیاد با استفاده از نقشه‌برداری زمینی، فتوگرامتری با استفاده از پرنده‌های بدون سرنشین (پهپادها) و استفاده از داده‌های لیدار^۴ راهگشا است.

تلفیق اطلاعات رسمی و غیررسمی نیز از جمله چالش‌های پیش رو در این زمینه است که در این خصوص موارد زیر مهم هستند:

۱. ایجاد درگاه ارزیابی اطلاعات مردمی برای تعیین دقت و صحت اطلاعات ورودی با استفاده از روش‌های فرا ابتکاری یا روش‌های مثلث‌بندی یا روش‌های خود تأییدی اطلاعات مردمی.

۲. اطلاعات غیررسمی فقط کمک‌کننده و تکمیلی هستند مگر اینکه صحت و دقت آن‌ها تأیید شود.

بر اساس مطالعات گذشته، کاربرد اطلاعات مردمی در تلفیق با نتایج حاصل از مدل‌های هیدرولوژیکی می‌تواند مدیران و کارشناسان بحران را در مدیریت بحران مناطق سیلابی یاری رساند.

تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر در قالب طرح پژوهشی شماره ۷/۹۶/۱۳۵۲ با استفاده از اعتبارات پژوهشی - پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران انجام شده که به این وسیله نویسندگان قدردانی خود را ابراز می‌دارند.

بنابراین، در نظر داشتن این موارد در برنامه‌های توسعه نقشه راه برای مدیریت بحران سیلاب نقش اساسی ایفا می‌کند و آنچه باید برای جمع‌آوری سریع و به موقع اطلاعات مردمی در نظر گرفته شود، عبارت‌اند از:

۱. نرم‌افزار کاربردی^۱ جمع‌آوری اطلاعات مردمی قبل، هنگام و بعد از وقوع سیل طراحی شود. این اپلیکیشن باید ساده، تصویری، گزینه‌ای طراحی شود تا همه اقشار مردم بتوانند به راحتی از آن استفاده کنند. پترسون و همکاران (۲۰۲۰) [۴۶] در مطالعه‌ای تأثیر نقشه‌برداری جمعی^۲ به عنوان زیرساخت جمع‌آوری اطلاعات جغرافیایی داوطلبانه را در ارزیابی خطر سیل در تانزانیا در شهر دارالسلام بررسی کرده‌اند که می‌تواند مبنایی برای طراحی نرم‌افزار کاربردی بومی باشد.

۲. تمامی مراحل مدیریت بحران سیلاب شامل مرحله کاهش خطر و پیشگیری از وقوع خسارت‌ها، مرحله پاسخ‌گویی، هشدار سریع سیلاب در منطقه و تخمین خسارت‌ها و محاسبه ارقام امدادی مورد نیاز، مرحله بازسازی و بازتوانی برای جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز در طراحی در نظر گرفته شوند.

۳. ایجاد پایگاه داده در مراکز مدیریت بحران سازمان‌های متولی سیلاب برای دریافت منظم اطلاعات مردمی در هر نقطه از استان که درگیر سیل است.

۴. کاربرد پلتفرم‌های شبکه‌های اجتماعی ایرانی و خارجی برای دریافت اطلاعات مردمی، نیز از جمله اقداماتی است که می‌تواند محیط را برای جمع‌آوری این‌گونه اطلاعات فراهم کند. در مطالعه‌ای میدلتون و همکاران [۳۶] نشان دادند که شبکه توییتر در تعیین نواحی آب‌گرفتگی بر اثر توفان حاره‌ای سندی در آمریکای شمالی در سال ۲۰۱۲ نقش مهمی را ایفا کرده است.

در تدوین سناریوی سیل در هر شهر با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی در نظر گرفتن موارد زیر ضروری است:

3. Unmanned Aerial Vehicle (UAV)
4. Lidar

1. Application
2. Community mapping

منابع

- [1]. Alfieri L, Salamon P, Bianchi A, Neal J, Bates P, Feyen L. Advances in pan-European flood hazard mapping. *Hydrological Processes*. 2014;28(13):4067-77.
- [2]. de Moel H, van Alphen J, Aerts JCJH. Flood maps in Europe – methods, availability and use. *Nat Hazards Earth Syst Sci*. 2009;9(2):289-301.
- [3]. Baker VR. *Geomorphological understanding of floods*. Geomorphology and Natural Hazards: Elsevier; 1994. p. 139-56.
- [4]. Tanoue M, Hirabayashi Y, Ikeuchi H. Global-scale river flood vulnerability in the last 50 years. *Scientific reports*. 2016;6:36021.
- [5]. Schanze J, Zeman E, Marsalek J. *Flood risk management: hazards, vulnerability and mitigation measures*: Springer Science & Business Media; 2007.
- [6]. Longley PA, Goodchild MF, Maguire DJ, Rhind DW. *Geographic Information Systems and Science*. ed. n, editor. Hoboken: Jhon Wiley; 2005.
- [7]. Burnham MW, Dunn CN, Carl RD. *HEC's Flood Damage Analysis (HEC-FDA) Program*. Building Partnerships 2000.
- [8]. Hydrologic Engineering Center (US). *The Hydrologic Modeling System (HEC-HMS)*. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center,; 2001.
- [9]. Scharffenberg WA, Fleming MJ. *Hydrologic modeling system HEC-HMS: user's manual*. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center,, 2006.
- [10]. Shen J, Parker A, Riverson J. A new approach for a Windows-based watershed modeling system based on a database-supporting architecture. *Environmental Modelling & Software*. 2005;20(9):1127-38.
- [11]. Danish Hydraulic Institute (DHI). *A modeling system for Rivers and channels (MIKE 11), Reference manual and User Guide*. Denmark: DHI Water and Environment,, 2007.
- [12]. Hill M. *Flood plain delineation using the HEC-GeoRAS extension for Arcview*. Brigham Young University, 514p. 2001.
- [13]. Demir V, Kisi O. Flood hazard mapping by using geographic information system and hydraulic model: Mert River, Samsun, Turkey. *Advances in Meteorology*. 2016;2016.
- [14]. Solaimani K. Flood forecasting based on geographical information system. *African Journal of Agricultural Research*. 2009;4(10):950-6.
- [15]. Gichamo TZ, Popescu I, Jonoski A, Solomatine D. River cross-section extraction from the ASTER global DEM for flood modeling. *Environmental Modelling & Software*. 2012;31:37-46.
- [16]. Eum H-I, Simonovic SP. *City of London: Vulnerability of Infrastructure to Climate Change*. 2009.
- [17]. Kumar N, Kumar M, Sherring A, Suryavanshi S, Ahmad A, Lal D. Applicability of HEC-RAS 2D and GFMS for flood extent mapping: a case study of Sangam area, Prayagraj, India. *Modeling Earth Systems and Environment*. 2020;6(1):397-405.
- [18]. Eftekhari ar, pourtaheri m, sadeghlou t, sojasi qidari h. Analyzing the Effective Factor in Participatory Flood Management in Rural Area (Case Study: flooded villages of Gorganrud Basin in Golestan Province). *Journal of Rural Research*. 2010;1(2):-.
- [19]. Ghafari G, Amini A. Managing flood plain using GIS: case study of Ghezeloosan river. *Geographical Space*. 2010;10(32):117-34.
- [20]. Eftekhari A, Salajegheh A, Hossini. S. Evaluation of flood zoning based on Manning's roughness coefficient: case study of Atrak river *Natural Geography Journal*. 2011;20:91-106.
- [21]. Sheikh Alishahi N, Jamali, AA., Hassanzadeh., M. Flood zoning by hydrological river model: case study of Menshad watershed, Yazd province. *Geographical Space*. 2016;16(53):77-96.
- [22]. Karimil firoozjaei M, Abdolaho kakroodi A, Jolodar niyaraki M. Preparing a flood risk map based on the flow energy by using geographical information system Case study: Nekaroud River. *Quantitative Geomorphological Research*. 2018;5(4):159-75.
- [23]. Shafiei Motlagh K, Ebadati N. Flood Zoning and Hydraulic Behavior Simulation Using HEC RAS in (GIS) Case Study: Maroon River - Southwestern Iran. *Iranian journal of Ecohydrology*. 2020;7(2):397-409.
- [24]. Brabham DC. *Crowdsourcing as a Model for Problem Solving: An Introduction and Cases*. Convergence: The International Journal of Research into New Media Technologies. 2008;14(1):75-90.
- [25]. Richter K-F, Winter S. *Citizens as Database: Conscious Ubiquity in Data Collection* *Advances in Spatial and Temporal Databases*.

- In: Pfoser D, Tao Y, Mouratidis K, Nascimento M, Mokbel M, Shekhar S, et al., editors. *Lecture Notes in Computer Science*. 6849: Springer Berlin / Heidelberg; 2011. p. 445-8.
- [26]. Milo T. Crowd-Based Data Sourcing Databases in Networked Information Systems. In: Kikuchi S, Madaan A, Sachdeva S, Bhalla S, editors. *Lecture Notes in Computer Science*. 7108: Springer Berlin / Heidelberg; 2011. p. 64-7.
- [27]. Eisnor D. What is neogeography anyway? : *Platial News and Neogeography*; 2006 [September 14, 2014]. Available from: http://platial.typepad.com/news/2006/05/what_is_neogeog.html.
- [28]. Goodchild M. Citizens as sensors: the world of volunteered geography. *GeoJournal*. 2007;69(4):211-21.
- [29]. Hong M. *Utilization of Crowdsourced Maps in Catastrophic Disasters*: San José State University; 2014.
- [30]. Morrow N, Mock N, Apapendieck A, Kocmich N. *Independent Evaluation of the Ushahidi Haiti Project*. Development Information systems International, 2011 2011. Report No.
- [31]. Gebremedhin ET, Basco-Carrera L, Jonoski A, Iliffe M, Winsemius H. Crowdsourcing and interactive modelling for urban flood management. *Journal of Flood Risk Management*. 2020;13(2):e12602.
- [32]. Ghosh S, Huyck CK, Greene M, Gill SP, Bevington J, Svekla W, et al. Crowdsourcing for Rapid Damage Assessment: The Global Earth Observation Catastrophe Assessment Network (GEO-CAN). *Earthquake Spectra*. 2011;27(S1):S179-S98.
- [33]. Barrington L, Ghosh S, Greene M, Har-Noy S, Berger J, Gill S, et al. Crowdsourcing earthquake damage assessment using remote sensing imagery. *Annals of geophysycs*. 2012;54(6):680 - 7.
- [34]. Meier P, Munro R. *The Unprecedented Role of SMS in Disaster Response: Learning from Haiti*. SAIS Review, Johns Hopkins University Press. 2010;30(2):91-103.
- [35]. Poser K, Dransch D. Volunteered geographic information for disaster management with application to rapid flood damage estimation. *Geomatica*. 2010;64(1):89-98.
- [36]. Middleton S, Zielinski A, Necmioğlu Ö, Hammitzsch M. Spatio-Temporal Decision Support System for Natural Crisis Management with TweetComP1. In: Dargam F, Hernández JE, Zaraté P, Liu S, Ribeiro R, Delibašić B, et al., editors. *Decision Support Systems III - Impact of Decision Support Systems for Global Environments*. Lecture Notes in Business Information Processing. 184: Springer International Publishing; 2014a. p. 11-21.
- [37]. Shelton T, Poorthuis A, Graham M, Zook M. Mapping the data shadows of Hurricane Sandy: Uncovering the sociospatial dimensions of 'big data'. *Geoforum*. 2014;52(0):167-79.
- [38]. Barbier G, Zafarani R, Gao H, Fung G, Liu H. Maximizing benefits from crowdsourced data. *Comput Math Organ Theory*. 2012:1-23.
- [39]. Hassanzadeh R, Nedovic-Budic Z. Identification of Earthquake Disaster Hot Spots with Crowd Sourced Data. In: Zlatanova S, Peters R, Dilo A, Scholten H, editors. *Intelligent Systems for Crisis Management*. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography: Springer Berlin Heidelberg; 2013. p. 97-119.
- [40]. Mehr News. Breakdown of earth dam of Hanafieh 2017. Available from: mehrnews.com/news/3910333
- [41]. Isna News. Bardsir: a flooded urban area 2017 [20 Feb 2017]. Available from: <https://www.isna.ir/photo/95120201385/>.
- [42]. Public Relation of Kerman Medical University. Total damage to emergency management office due to flood in Bardisir city. 2017.
- [43]. Bonner V, Brunner G, Jensen M. HEC river analysis system (HEC-RAS). *Hydraulic Engineering, ASCE*. 1994:376-80.
- [44]. Hydrologic Engineering Center (U.S.). HEC river analysis system (HEC-RAS) US Army Corps of Engineers, : Hydrologic Engineering Center., 1994.
- [45]. Congalton RG, Green K. *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press; 2009.
- [46]. Petersson L, ten Veldhuis M-C, Verhoeven G, Kapelan Z, Maholi I, Winsemius HC. Community Mapping Supports Comprehensive Urban Flood Modeling for Flood Risk Management in a Data-Scarce Environment. *Frontiers in Earth Science*. 2020;8(304).