

مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره نهم، شماره ۲۵، پاییز ۱۳۹۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۵/۰۸

تاریخ بازنگری نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۱۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۲۴

صفحات: ۹۸ - ۷۹

مقاله علمی پژوهشی

## ارائه یک مدل ساده برای تعیین مناطق در خطر سیل

حمید حساس<sup>۱</sup>، ابوالفضل عزیزیان<sup>۲\*</sup>، محسن قاسمی<sup>۳</sup>

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیرداری، دانشگاه اردکان

۲. استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه اردکان

۳. دانش آموخته دکتری علوم و مهندسی آب، دانشگاه صنعتی اصفهان

### چکیده

تعیین محل‌های دارای پتانسیل بالای سیل‌گیری یکی از اقدامات اساسی برای کاهش خطرات سیل می‌باشد. در تحقیق حاضر اقدام به مدل‌سازی گسترش سیل با استفاده از طراحی نرم‌افزار آنلاین تحت وب با قابلیت پهنه‌بندی مناطق با پتانسیل سیل‌گیری از طریق به کارگیری داده‌های DEM نقشه‌های گوگل شده است. برای این منظور ابتدا بازه مورد نظر در رودخانه روی نقشه گوگل انتخاب شده و سپس در هر مقطع انتخابی حداکثر سطح مقطع برای عبور جریان محاسبه می‌گردد. با توجه به میانگین مقاطع در کل بازه و ویژگی‌های فیزیکی بازه انتخابی حداکثر دبی عبوری از بازه محاسبه می‌گردد. با این دبی پهنه ایمن گذر سیلاب روی نقشه مشخص می‌شود. برای دبی‌های بیش از دبی ایمن نرم‌افزار، مقطع به مقطع به محاسبه پهنه‌های در معرض خطر سیل می‌پردازد و در نهایت نقشه اراضی متاثر از سیل در حاشیه بازه انتخابی ترسیم می‌گردد. برای نمونه ابتدا مراحل آزمایش نرم‌افزار بر روی رودخانه خشک شیراز که به دریاچه مهارلو می‌ریزد مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج رضایت‌بخش بود. پس از آن اقدام به بررسی واقعه سیل اکتبر ۲۰۱۱ در رودخانه شهر آیت‌تایا در کشور تایلند گردید. بررسی تصویر ماهواره‌ای این سیل در کنار بررسی نقشه‌های توپوگرافی مسیر عبور رودخانه حاکی از وقوع سیلابی با دبی اوج ۴۱۱۳/۰۱ متر مکعب بر ثانیه بود که در مقایسه با دبی ۴۲۰۰ متر مکعب بر ثانیه ثبت شده از آن واقعه سیل ۲/۱ درصد اختلاف داشت. در صورتی که این سیلاب با وضعیت فعلی منطقه رخ بدهد پهنه سیل گیر محاسبه شده در مقایسه با مساحت متاثر از سیل سال ۲۰۱۱ به میزان ۱۷/۶۳ کمتر است. همچنین سیل فروردین ۱۳۹۸ شیراز نیز شبیه سازی شد که باز گزارش هیأت ویژه بررسی سیلاب‌ها تطابق خوبی داشت.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی سیل، سیل دروازه قرآن شیراز، خطر سیل، نقشه‌های گوگل.

## مقدمه

بلایای طبیعی مانند سیل بخشی از طبیعت و محیط زیست بشر است. اثرات مخرب سیل در گذشته به مراتب کمتر بوده است. در سال‌های اخیر، رشد شهرهای واقع در حاشیه رودخانه‌ها و دشت‌های سیلابی که ناشی از افزایش جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی بوده، موجب شده تا ساکنین و دارایی‌های موجود در این مناطق، در معرض خطر سیل باشد و فراوانی وقوع سیل نیز افزایش یابد (Hudson et al., 2014).

پدیده سیل مخاطرات فراوانی را در سراسر جهان موجب شده است. پیامدهای این رخداد محیطی به شدت بر روی بخش‌های مختلف شیلات، مسکن، کشاورزی، منابع طبیعی، سازه‌های مهندسی و فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی تأثیرگذار است. مثلاً سیل شهر آیوتای تایلند در اکتبر ۲۰۱۱ که بخش اعظمی از شهرک‌های صنعتی و شهرهای اطراف را در بر گرفت، بالغ بر ۸۰۰ نفر تلفات جانی داشت و منجر به کاهش تولیدات کارخانه‌ها و افزایش تورم این کشور گردید (Gale and Sanders, 2013). همچنین سیل فروردین ۱۳۹۸ شیراز در منطقه دروازه قرآن و شهرک سعدی بالغ بر ۲۱ نفر تلفات جانی، خسارت به ۲۰۰ خودرو و ۲۵۳ واحد مسکونی در پی داشت (هیأت ویژه گزارش ملی سیلاب‌ها، ۱۳۹۸). از این رو لازم است علل بروز آن بررسی و راهکارهایی برای کاهش خطرات آن ارائه شود. روش‌های مختلفی برای کنترل خسارات سیل وجود دارد. یکی از مهم‌ترین اقدامات در این راستا شناسایی مناطق با پتانسیل سیل‌گیری و اولویت‌بندی آن‌ها می‌باشد که اطلاعات ارزشمندی در رابطه با تعیین حریم رودخانه‌ها ارائه می‌دهد.

هر جریان سطحی آب، صرف‌نظر از عامل ایجادکننده‌ی آن در صورتی سیلاب تلقی می‌شود که جریان آب در مقطع رودخانه بیش از جریان عادی باشد، تداوم زمانی آن محدود باشد، جریان آب از بستر طبیعی تجاوز کند، اراضی پست و حاشیه رود را فراگیرد و خسارات جانی و مالی به همراه داشته باشد (Perera et al., 2015). این فرآیند تغییرات مکانی و زمانی زیادی داشته و کمیت بخشیدن به آن همواره مورد توجه محققین مختلف بوده است. عوامل مختلفی بر سیل اثر دارد. از مهم‌ترین عوامل حوضه‌ای مؤثر بر سیل می‌توان به شیب، طول و عرض رودخانه و مواردی از این قبیل اشاره نمود. مهم‌ترین عوامل غیر حوضه‌ای شامل نوع بارش، شدت و مدت بارش و دبی حداکثر لحظه‌ای می‌باشد. بدیهی است که برای کنترل و جلوگیری از خطرات سیل ایجاد تغییر در عوامل غیر حوضه‌ای امکان‌پذیر نیست. بنابراین برای پیدا کردن راه حل باید بر عوامل حوضه‌ای تمرکز نمود.

تاکنون روش‌هایی که برای تعیین مناطق در معرض خطر سیل استفاده شده بیشتر بر پایه روش‌های مشاهده‌ای (داغاب سیل)، نموداری، فرمول‌های تجربی، تحلیل آماری داده‌های سیل، تفکیک حوضه به تعدادی زیر حوضه، داده‌های دورسنجی، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)<sup>۱</sup> و مدل‌های ریاضی رایانه‌ای بارش و رواناب بوده و بیشتر از دیدگاه تولید سیل در سطح حوضه‌ای مطرح شده است (ولیزاده، ۱۳۸۶). به دنبال این مطالعات سازمان حفاظت خاک آمریکا در سال ۱۹۵۴، روش شماره منحنی (CN)<sup>۲</sup> را برای تعیین بارش مازاد ارائه نمود. از جمله روش‌هایی که می‌تواند در محاسبه سیل ناشی از یک بارش معین بکار رود، مدل‌های هیدرولوژیکی هستند که می‌توانند با داشتن توزیع مکانی خصوصیات بارش در حوضه آبخیز برآوردهای قابل قبولی را به دست دهند. یکی دیگر از روش‌های رایج

1. Geographic Information System

2. Curve Number

برای روندیابی و پهنه‌بندی سیل روش ماسکینگام-کانژ بوده که بررسی‌های انجام‌شده حاکی از آن است که تغییرات مکانی و زمانی ضرایب ماسکینگام-کانژ یک نقص مهم به حساب می‌آید و در شرایط شیب کم، این روش باعث خطا در تخمین داده‌ها می‌شود (لشکری و همکاران، ۱۳۹۲).

شادمانی و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی، کارایی روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و سامانه اطلاعات جغرافیایی در برآورد دبی سیل ۹۰ زیرحوضه استان همدان (با زمان‌های تمرکز کمتر از ۲۴ ساعت)، با توجه به آمار ۱۶ ساله مربوط به ۱۷ ایستگاه آبسنجی موجود در منطقه مورد ارزیابی قرار دادند. در نهایت با محاسبه مقادیر بیشینه بارش‌های یک و پنج روزه برای دوره بازگشت ۲۵ ساله و همچنین با بکارگیری مدل بهینه منتخب، توزیع مکانی دبی سیل در کلیه زیرحوضه‌ها را ارائه نمودند. بر این اساس مناطق سیل خیز استان به منظور انجام برنامه ریزی مناسب توسط مسئولین مربوطه مشخص شدند. یمانی و همکاران (۱۳۹۱) در ارزیابی مدل منطق فازی در مقایسه با سایر مدل‌های مفهومی در پهنه‌بندی سیل‌خیزی به بررسی عوامل موثر در وقوع سیل از جمله، شیب، لیتولوژی، اشکال ناهمواری (تیپ‌های فیزیوگرافی)، نوع خاک، CN و وضعیت پوشش گیاهی و سپس تجزیه و تحلیل سیل‌خیزی حوضه داورزن پرداختند. برای دست‌یابی به این هدف از روش تلفیق عوامل موثر با استفاده از تکنیک پهنه‌بندی در مدل‌های مفهومی و قابل اجرا در محیط GIS در قالب لایه‌های اطلاعاتی استفاده نمودند. بر اساس نتایج آنها به کارگیری GIS از طریق وزن دهی به متغیرهای موثر بر سیل‌خیزی حوضه بر اساس شدت و ضعف تاثیرگذاری آنها توانست شکل‌گیری سیل را در حوضه در قالب پهنه‌های مشخص ارزیابی نماید. لاجوردی و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی اقدام به برآورد ضریب رواناب و حداکثر دبی سیل، شناخت عوامل و عناصر موثر در سیل‌خیزی، پهنه‌بندی مناطق بر اساس شدت پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبریز مردق چای نمودند. آنها برای برآورد مقدار رواناب از روش CN استفاده نمودند. برای این منظور ابتدا داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز شامل آمار وضعیت اقلیم منطقه و تصاویر ماهواره‌ای را جمع‌آوری و وارد سیستم اطلاعاتی GIS شد. با تلفیق این داده‌ها و اطلاعات، بر اساس روش سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS)<sup>۱</sup> نقشه CN حوضه، میزان نفوذ و مقدار رواناب تهیه گردید. در نهایت با استفاده از مدل وزنی و با تلفیق نقشه‌های میزان بارندگی منطقه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، شیب و کاربری زمین، نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی سالانه حوضه با دوره بازگشت‌های مختلف تهیه گردید. نتایج حاکی از آن بود که با استفاده از این نقشه‌ها می‌توان راهکارهایی جهت مقابله با بحران‌های آبی و همچنین کنترل سیل در حوضه آبریز ارائه نمود. لشکری و همکاران (۱۳۹۲) به منظور پهنه‌بندی سیلاب رودخانه زرینه رود از مدل هیدرولوژیکی HEC-RAS در محیط GIS استفاده نمودند. در این تحقیق دبی‌های با دوره بازگشت‌های مختلف (۲-۵-۱۰-۲۰-۲۵-۵۰-۸۰-۱۰۰-۲۰۰-۵۰۰ ساله) با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های قزقرپی محاسبه شد. مقطع عرضی جریان با استفاده از HEC-RAS و نقشه‌های پهنه‌بندی سیل با استفاده از HEC-GeoRAS و در محیط GIS ترسیم شد. بر اساس پهنه‌های بدست آمده و انطباق آن با تصاویر هوایی بیان شد که مناطق مسکونی حاشیه رودخانه چندان در معرض خطر سیل نبوده ولی گسترش فعالیت‌های سازه‌ای و کشاورزی طی سالیان اخیر باعث محدود شدن حریم و بستر رودخانه شده و امکان نفوذ سیل در اراضی اطراف بیشتر شده است. ثروتی و همکاران (۱۳۹۲) در پهنه‌بندی سیل‌خیزی حوضه آبخیز سراب

<sup>۱</sup>. Soil Conservation Service

دره شهر عنوان کردند شناسایی مناطق با پتانسیل سیل خیزی از جمله اقدامات بسیار مهم در کاهش خسارات سیل است. آنها برای برآورد رواناب از روش CN سازمان حفاظت خاک آمریکا استفاده نمودند. برای این منظور ابتدا داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز شامل نقشه کاربری اراضی و نقشه گروه‌های هیدرولوژیک خاک حوضه گردآوری و وارد GIS گردید. با تلفیق این داده‌ها و اطلاعات و بر اساس روش SCS، نقشه CN و نفوذ (S) حوضه تهیه شد و سپس با استفاده از رابطه SCS و حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته حوضه، ارتفاع رواناب برای حوضه محاسبه شد. در نهایت بر اساس چارک‌های اول، میانه و سوم مقادیر ارتفاع رواناب، حوضه مورد مطالعه به چهار طبقه از لحاظ پتانسیل سیل خیزی تقسیم شد که بر اساس آن ۹/۱ کیلومتر مربع دارای پتانسیل سیل خیزی بسیار بالا، ۷/۸ کیلومتر مربع با پتانسیل بالا، ۱۳ کیلومتر مربع با پتانسیل متوسط، ۶/۶ کیلومتر مربع نیز دارای پتانسیل کم بود. راد و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از مدل HEC-RAS به پهنه‌بندی خطر سیل با دوره‌های بازگشت مختلف در پایین دست حوضه آبخیز خرم آباد پرداختند. نتایج این پژوهش حاکی از این بود که سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله دارای دبی ۵۵۳/۷۸ مترمکعب بر ثانیه بوده و مساحتی برابر ۱۰ کیلومتر مربع از اراضی منطقه را در بر می‌گیرد.

در پژوهشی با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-1 و سیستم اطلاعات جغرافیایی، اثرات تغییر کاربری اراضی بالادست حوضه روی الگوی سیل در نواحی پایین دست در کشور پاراگوئه را مورد ارزیابی قرار گرفت. هدف در این بررسی اصلاح مدل هیدروگراف سیل خروجی بود. نتایج حاکی از این بود که با کاهش مساحت جنگل، رواناب حوضه و زیر حوضه‌ها بیشتر می‌شود (Suwanwerakamtorn, 1994). در تحقیقی برای آنالیز سیل و مقایسه چهار سناریوی جنگل کاری، تراس بندی، سدهای اصلاحی و سناریوی ترکیبی از سه فعالیت مذکور، با تعیین و محاسبه دو شاخص دبی اوج و حجم سیلاب در منطقه پترا در کشور اردن با استفاده از مدل WMS<sup>۱</sup> مشخص شد که سناریوی ترکیبی (شامل کلیه فعالیت‌ها) سناریوی برتر بوده است (Al-Weshah and El-Khoury, 1999). این سناریو باعث کاهش دبی اوج به میزان ۵۰ تا ۸۰ درصد و کاهش حجم سیل به میزان ۴۰ تا ۷۰ درصد شده است. به منظور پیش بینی رواناب سیرانوادا در کالیفرنیا ترکیبی از مدل‌های اتمسفری و HEC-HMS در پژوهشی به کار برده شد (Anderson et al., 2002). نتایج این پژوهش نشان داد که این روش برای پیش بینی سیل، ۴۸ ساعت قبل از جریان ورودی به مخازن مناسب است. در شرایط کمبود داده‌های اولیه و به منظور پهنه بندی خطر سیل شهری طی پژوهشی در ایالت توکومان کشور آرژانتین با استفاده از تجزیه و تحلیل سیستم اطلاعات جغرافیایی با چندین متغیر اقدام به ارزیابی خطر سیل شد (Fernandez and Lutz, 2010). مدل ارائه شده در این بررسی شامل پارامترهایی چون فاصله از کانال‌های زهکشی، توپوگرافی (ارتفاع و شیب)، عمق آب، و نوع استفاده از زمین شهری بود. در نهایت نقشه تعیین پهنه‌های در معرض خطر برای هر دسته از پارامترها را با استفاده از یک الگوریتم که ترکیبی از عوامل خطی-وزنی بود، بدست آمد. نتایج این پژوهش نشان داد که قسمت جنوب شرقی سانتیاگو دوتوکومان دارای بالاترین خطر سیل می‌باشد. تاثیر شهرنشینی بر جاری شدن سیل در حوضه شهری چنای در کشور هند در یک تحقیق بررسی شد (Suriya and Mudgal, 2012). نتایج پژوهش صورت گرفته نشان داد افزایش مناطق غیر قابل نفوذ، تعادل طبیعی آب را مختل می‌سازد. کاهش نفوذ، رواناب را افزایش می‌دهد و منجر به بالاتر رفتن دبی اوج سیل و حجم سیلاب حتی برای بارش‌های کوتاه مدت با شدت کم نیز می‌شود. تغییرات کاربری اراضی به دلیل شهرنشینی در حوضه به

<sup>1</sup>. Watershed Modeling System

نحو ثابتی در رژیم جریان رودخانه منعکس شده است. در یک بررسی دیگر اثرات شهرسازی بر رواناب سالانه و رویدادهای سیل با استفاده از سیستم یکپارچه مدل سازی هیدرولوژیکی برای حوضه رودخانه‌ای در چین ارزیابی شد (Du et al., 2012). تصاویر ماهواره‌ای بین سال‌های ۱۹۸۸ و ۲۰۰۹ نشان داد که حدود ۱۷ درصد از منطقه غیر شهری حوضه به مناطق شهری تبدیل شده است. نتایج شبیه سازی با مدل HEC-HMS در سناریوهای مختلف شهری نشان داد که رواناب سالیانه، حداکثر جریان روزانه و حجم سیل در درجات مختلف با توجه به توسعه شهری در طول دوره مورد مطالعه افزایش یافته است. همچنین تغییرات آب و هوا و توسعه شهری و تاثیر آن بر درک عمومی جامعه از سیل مورد بررسی قرار گرفت (Tripathi et al., 2014). نتایج این بررسی نشان داد که افزایش شهرنشینی و سطح غیر قابل نفوذ منجر به افزایش قابل توجه شدت سیل، تشدید خسارات سیل، طولانی تر شدن زمان طغیان آب و دبی اوج بالاتر شده است. نتایج استفاده از مدل HEC\_RAS و GIS در پهنه بندی سیل رودخانه سدروس برزیل (Silva et al., 2014) و رودخانه کابل در افغانستان (Khattak et al., 2016) حاکی از خطر بیشتر برای ساختمان‌ها و جاده‌های واقع در کنار پل‌ها بوده است.

بر اساس آمار منتشر شده از طرف سازمان صلیب سرخ جهانی بیش از ۹۰ درصد خسارات ناشی از حوادث طبیعی به سیل اختصاص دارد که ۵۰ درصد از آن به قاره آسیا مربوط می‌شود. کشور ایران نیز با توجه به شرایط طبیعی خود یکی از کشورهای در معرض خطر سیل در جهان محسوب می‌شود (رفاهی، ۱۳۹۴). با تعیین محل‌های دارای پتانسیل بالای سیل گیری به نوعی می‌توان یک ارزیابی کلی از وضعیت مخاطرات سیل منطقه بدست آورد. در مدل-های پهنه بندی سیلاب کمتر از نقشه‌های آنلاین تحت وب استفاده شده است. لذا در تحقیق حاضر اقدام به مدلسازی گسترش سیل با استفاده از طراحی نرم‌افزار آنلاین تحت وب با قابلیت پهنه‌بندی مناطق با پتانسیل سیل گیری از طریق به کار گیری داده‌های DEM نقشه گوگل شده است. این نرم افزار اطلاعاتی در رابطه با حداکثر دبی قابل انتقال در رودخانه و پیش‌بینی مناطق در معرض خطر سیل، آثار سیلاب بر اراضی حاشیه رودخانه و اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها برای اجرای پروژه‌های کنترل سیل و تعیین حریم رودخانه‌ها ارائه می‌دهد. در نتیجه امکان ارسال هشدارهای مناسب در مواقع وجود خطر سیل و تسهیل عملیات امداد و نجات را فراهم می‌سازد. از این رو کمک شایانی به پروژه‌های برنامه‌ریزی و مدیریت آب‌های سطحی خواهد داشت.

## داده‌ها و روش‌ها

### داده‌های مورد نیاز

در نرم افزار ارائه شده دو دسته اطلاعات شامل فیزیوگرافی حوضه و رودخانه آن (نقشه توپوگرافی، مقاطع طولی و عرضی در محدوده مورد نظر و شیب رودخانه) و نیز اطلاعات هیدرولوژی رودخانه (دبی عبوری، ارتفاع آب، سرعت جریان و ضریب زبری) برای پهنه بندی سیل لازم است. این اطلاعات از نقشه‌های آنلاین گوگل دریافت می‌شود و یا کاربر به صورت دستی وارد نرم‌افزار می‌کند. در واقع این نرم‌افزار پهنه‌بندی سیل مبتنی بر وب به صورت آنلاین بر اساس نقشه‌های توپوگرافی و DEM گوگل با زبان PHP, HTML, AJAX, CSS, JQuery, JavaScript طراحی و برنامه نویسی شده است. عملکرد نرم‌افزار به انتخاب کاربر به دو صورت دستی و خودکار می‌باشد.

### عملکرد دستی

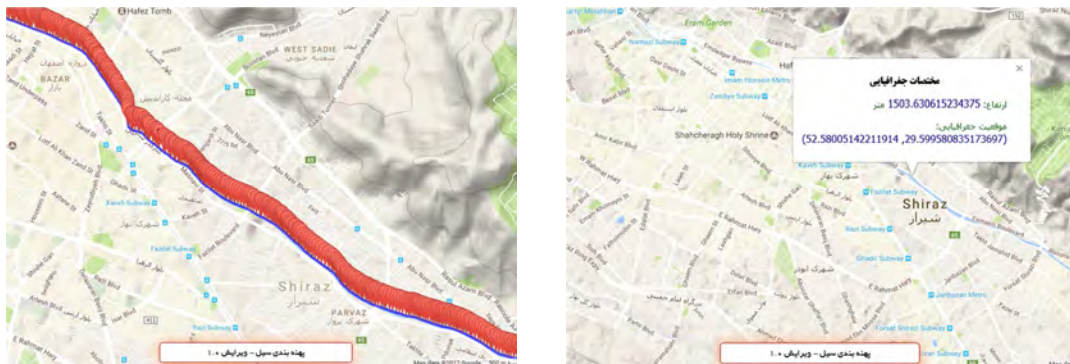
طراحی نرم‌افزار به گونه‌ای است که در صورتی که اطلاعات فیزیوگرافی و هیدرولوژی از یک منطقه خاص مورد مطالعه موجود باشد می‌توان اقدام به انجام محاسبات و در نتیجه پهنه‌بندی سیل نمود. داده‌های ورودی شامل شیب، ارتفاع آب، دبی عبوری، ضریب زبری ( $n$ )، سرعت جریان و موقعیت جغرافیایی نقاط مد نظر از طول رودخانه می‌باشد.

### عملکرد خودکار

در عملکرد خودکار مراحل انجام محاسبات و پهنه‌بندی به صورت هوشمندانه و بر اساس بانک اطلاعاتی موجود، شکل پروفیل طولی و عرضی در هر مقطع با توجه به شرایط توپوگرافی مسیر آبراهه یا کانال، شیب متوسط در طول آبراهه، حداکثر دبی قابل عبور در هر مقطع و ضریب زبری با توجه به نوع سازند زمین شناسی صورت می‌پذیرد. عملکرد خودکار با سرعتی بالا مراحل انجام محاسبات و ترسیم پهنه‌های به زیر آب رفته را انجام می‌دهد. کاربرد این عملکرد برای مواقعی است که نیاز به مدیریت بحران در شرایط اضطراری وجود دارد و اطلاعات پایه هیدرولوژی منطقه محل وقوع سیل در دسترس نیست.

### نحوه کار

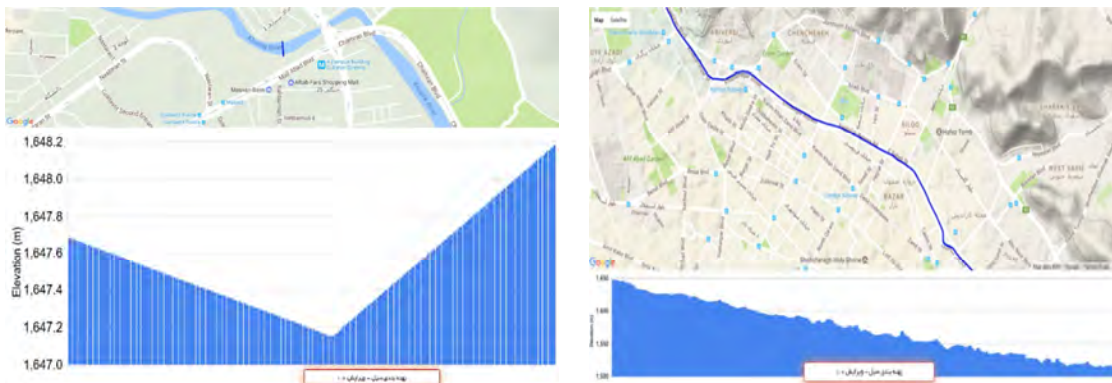
ابتدا به واسطه یک API Key<sup>۱</sup> که به صورت انحصاری توسط آن امکان دسترسی به نقشه‌های گوگل را فراهم می‌سازد اقدام به اتصال به پایگاه داده سرورهای گوگل نموده و سپس آبراهه انتخاب می‌شود. پس از آن که کاربر آبراهه مد نظر خود را موقعیت یابی کرد، نقاط دلخواهی (انتخاب مقاطع) در طول آبراهه تعیین می‌نماید. اولین نقطه به معنای آغاز مسیر جریان آب و آخرین نقطه به معنای انتهای مسیر است. هر چقدر تعداد نقاط بین اولین و آخرین نقطه بیشتر باشد دقت انجام محاسبات بیشتر است. پس از تعیین نقاط، نرم افزار به صورت خودکار موقعیت جغرافیایی هر نقطه را بر اساس سیستم مختصات UTM در بانک اطلاعاتی ذخیره و ارتفاع هر نقطه را از سطح آب-های آزاد محاسبه کرده و همزمان نمایش می‌دهد. ارتفاع هر نقطه از سطح آب‌های آزاد تا ۱۲ رقم اعشار در بانک اطلاعاتی ثبت و محاسبات تنها تا ۲ رقم اعشار صورت می‌گیرد (شکل ۱).



شکل ۱: نمایی از محیط نرم‌افزار پهنه‌بندی سیل (راست: نمونه نقاط برداشت چپ: مسیر مشخص شده)

<sup>1</sup> Application Programming Interface Key

سپس بر اساس موقعیت جغرافیایی نقاط انتخابی و فاصله هر نقطه نسبت به یکدیگر، پروفیل عرضی (شکل ۲ چپ) هر مقطع و پروفیل طولی (شکل ۲ راست) در بین هر یک از نقاط انتخاب شده ترسیم می‌گردد.



شکل ۲: پروفیل طولی (شکل سمت راست) و پروفیل عرضی (شکل سمت چپ) رودخانه خشک شیراز-فارس

پس از آن نرم افزار بر اساس فاصله طولی بین نقاط تعیین شده و با استفاده از اختلاف ارتفاع دو نقطه به کمک رابطه ۱ اقدام به محاسبه شیب در هر دو نقطه نموده و سپس با استفاده از رابطه ۲ متوسط شیب در طول آبراهه یا کانال را برآورد می‌نماید.

$$S = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad (1)$$

$$\bar{S} = \sqrt[n]{S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n} \quad (2)$$

که در روابط بالا:

S: شیب بین دو نقطه، a: فاصله طولی دو نقطه، b: اختلاف ارتفاع دو نقطه،  $\bar{S}$ : شیب متوسط آبراهه یا کانال است. بر اساس شکل پروفیل عرضی در هر نقطه انتخابی، مساحت کل مقطع عرضی (در شرایط لبریز شدن) محاسبه و با توجه به شیب متوسط آبراهه و ضریب زبری برآورده شده (از اطلاعات سازند زمین‌شناسی محل) سرعت عبور آب محاسبه و حداکثر دبی قابل عبور برآورد می‌گردد (با رابطه مانینگ). نرم‌افزار بر اساس پروفیل طولی و عرضی از اولین نقطه تا آخرین نقطه انتخابی اقدام به شبیه‌سازی سه بعدی طولی مقطع آبراهه نموده و بر اساس موقعیت جغرافیایی و شکل توپوگرافی اقدام به برآورد حداکثر حجم کل آب قابل ذخیره در آبراهه می‌نماید. سپس بر اساس اختلاف ارتفاع در پروفیل عرضی و از عمیق‌ترین نقطه در مقطع تا بالاترین نقطه در پروفیل عرضی اقدام به محاسبه ارتفاع کانال به عنوان حداکثر ارتفاع آب مجاز درون آبراهه می‌نماید. هرگونه مقادیر عددی ورودی توسط کاربر به عنوان دبی یا ارتفاع آب در آبراهه بیش از حداکثر دبی و یا حداکثر عمق آب در کانال، پس از پردازش توسط نرم‌افزار به عنوان آب مازاد تلقی شده و پهنه آب خارج از آبراهه توسط نرم افزار شبیه سازی می‌شود. برای تعیین مرز پهنه‌های سیل گیر مراحل زیر طی می‌گردد:

الف- ابتدا تراز سطح آب در مقاطع مختلف برای سیل‌های با دوره بازگشت خاص و یا هر سیل مد نظر کاربر، مشخص می‌شود. این مهم را نرم افزار با اطلاعات سطح مقطع و زبری کف محاسبه می‌کند.

ب- تراز محاسبه شده با رقوم ارتفاعی کنار آبراهه مقایسه شده و در صورتیکه از آن بزرگتر باشد نقطه نهایی گسترش آب با امتداد مقطع عرضی در طرفین تا جایی که رقوم ارتفاعی زمین و آب مساوی شود مشخص می‌گردد.

ج- با اتصال نقاط مرزی در ساحل آبراهه پهنه سیلاب در طول آبراهه مشخص می‌شود. نقاط میانی (بین دو مقطع) با توجه به انحنای خطوط هم‌تراز میان یابی می‌شود.

هرگونه تغییر در مقادیری چون ارتفاع آب، دبی، ضریب زبری، نقشه DEM و توپوگرافی توسط کاربر باعث تغییر ناحیه‌های به زیر آب رفته می‌گردد. پهنه بندی بصورت ترسیم ناحیه‌های رنگی و یا خطوط مرزی بر روی نقشه انجام می‌گیرد. ناحیه‌های رنگی (شکل ۳) به سه دسته تقسیم می‌گردند که هر رنگ مفهومی خاص دارد:

ناحیه سبز: محدوده ایمن بدون وارد آمدن خسارت

ناحیه قرمز: محدوده با خطر بالا (کانال اصلی)

ناحیه زرد: محدوده ریسک که احتمال گسترش آب در این ناحیه (به دلیل واکنش های غیر قابل پیش‌بینی) وجود دارد.

البته این امکان وجود دارد که رنگ نواحی آب‌گیری به صورت انتخاب توسط کاربر اعمال شود.



شکل ۳: پهنه بندی سیل با ارتفاع آب ۵ متر در رودخانه خشک شیراز توسط مدل

### حریم رودخانه و هشدار سیل

با توجه به دستورالعمل‌های تعیین حریم رودخانه (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، ۱۳۸۴) در مدل این امکان فراهم شده تا در کنار تعیین پهنه سیل گیر، مرزهای حریم رودخانه نیز مشخص گردد. حریم رودخانه به موازات خط بستر رودخانه ترسیم می‌شود (شکل ۴).





شکل ۴: حریم رودخانه خشک شیراز پهنه (آبی کم رنگ)

در این مدل هشدار سیل به عنوان یکی از روش‌های غیرسازه‌ای مدیریت سیل مورد توجه بوده است. انتخاب نوع سیستم هشدار بستگی به امکانات، نحوه بهره‌برداری و نگهداری، هزینه اولیه و نظر سازمان مسئول ذیربط دارد. سیستم‌های هشدار سیل شامل سه عنصر ۱- شناسایی و ارزیابی خطر سیل ۲- انتقال و انتشار هشدار سیل و ۳- واکنش نسبت به هشدار می‌باشد. سیستم‌های رایانه‌ای جهت اعلام هشدار و ارتباط با سخت افزارهای مورد نیاز از پردازش نرم‌افزاری خاص استفاده می‌کنند. نرم‌افزار پس از انجام محاسبات بر اساس میزان خطر تعیین شده در هسته اصلی آن اقدام به واکنش متناسب می‌کند. ابتدا هشدار به صورت پیغام و علائم بر روی نمایشگر ظاهر شده و سپس در صورت تأیید خطر توسط کاربر، نرم‌افزار با برقراری ارتباط با سخت افزار مربوطه اقدام به فعال سازی سخت افزار می‌نماید. در این نرم‌افزار بر اساس میزان دبی ایمن، سیستم هشدار سیل به صورت دستی و خودکار عمل می‌نماید. سیستم دستی به گونه ای طراحی گردیده است که کاربر می‌تواند یک مقدار عددی به عنوان دبی مازاد بر دبی ایمن را تعیین کند تا در صورتی که دبی سیل به آن مقدار رسید سیستم ابتدا به صورت یک پیغام بر روی صفحه نمایشگر هشدار داده و کاربر را مطلع سازد. سیستم خودکار به شکلی است که اگر کاربر تا سه مرتبه هشدارهای نمایش داده شده را تأیید نکرد، نرم‌افزار به صورت خودکار وارد عمل شده و با توجه به نوع سخت افزار متصل شده به دستگاه، فعالیت پیش‌بینی شده را انجام می‌دهد. سخت افزارهای متصل شده به سیستم می‌تواند سیستم‌های هشدار صوتی یا نوری نصب شده در سطح شهر و یا سیستم کنترل دریچه‌های سد باشد.

#### ارزیابی مدل

برای ارزیابی مدل وجود تصاویر هوایی یا ماهواره‌ای از یک سیل واقعی و یا اطلاعات جی پی اسی از محدوده گسترش آن سیلاب، دبی اندازه گیری شده سیل یا هر دو مورد ضروری است. نرم افزار دو عامل مساحت گسترش سیلاب و دبی منجر به آن شرایط را برای یک سیل محاسبه می‌کند. این دو عامل با مقادیر واقعی رخ داده مقایسه می‌شود تا درصد اختلاف یا خطای برآورد مشخص شود. برای ارزیابی مدل در این مقاله سه واقعه سیل رخ داده به شرح ذیل بررسی شد. دلیل انتخاب این سه سیل، در دسترس بودن اطلاعاتی از این سه سیلاب برای نویسندگان بود:

الف- حداکثر سیل ثبت شده در رودخانه خشک شیراز مربوط به سال ۸۰-۱۳۷۹، برای این سیل دبی بیشینه به مقدار ۳۷۰ متر مکعب بر ثانیه موجود بود (جمالی و همکاران، ۱۳۹۴).

ب- سیلاب بزرگ اکتبر ۲۰۱۱ تایلند، برای این سیل تصاویر هوایی از پهنه گسترش سیلاب از طریق اینترنت در دسترس بود (Gale and Sunders, 2013).

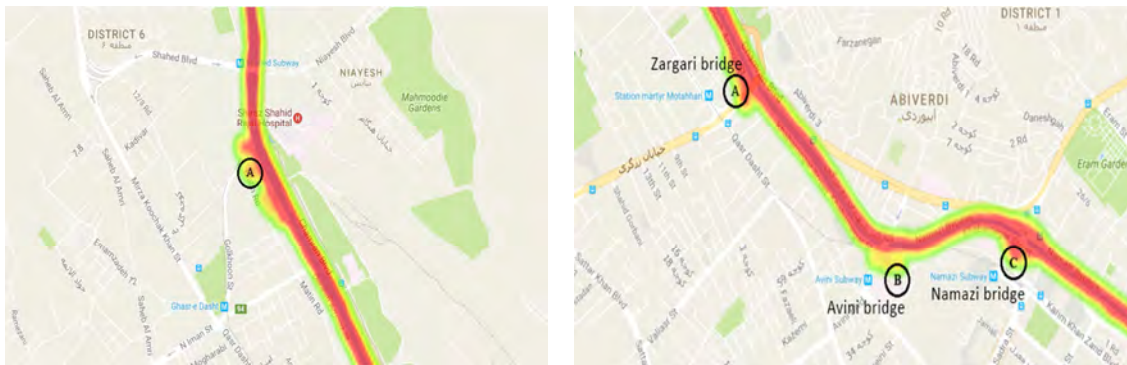
ج- واقعه سیل مهیب فروردین ۱۳۹۸ دروازه قرآن شیراز، از این سیل مشاهدات محلی در روز وقوع سیل با مختصات مکانی گسترش سیلاب از طریق جی پی اس در دسترس بود (مشاهدات شخصی نویسندگان). همچنین تحلیل این واقعه سیل از گزارش هیأت ویژه بررسی سیلابها (هیأت ویژه گزارش ملی سیلابها، ۱۳۹۸) در دسترس بود.

### یافته‌های تحقیق

#### بررسی حداکثر سیل ثبت شده در رودخانه خشک شیراز در سال ۸۰-۱۳۷۹

رودخانه خشک شیراز یا هفت پیلی یک رودخانه فصلی است که از ملحق شدن آب دو قنات نهر اعظم و چنار سوخته تشکیل شده و پس از عبور از شهر شیراز به سمت جنوب شرقی حوضه خود متمایل شده و به دریاچه مهارلو می‌ریزد. حوضه آبریز رودخانه خشک در جهت شمال غرب به جنوب شرق گسترش یافته است و یکی از زیرحوضه‌های دریاچه مهارلو محسوب می‌شود. این رودخانه بصورت قطری از وسط شهر شیراز می‌گذرد و شهر را به دو نیم تقسیم کرده‌است. برای عبور از روی این رودخانه در شیراز، پل‌های متعددی احداث شده‌است که معروفترین آنها عبارتند از: پل باغ صفا، پل نمازی، پل زرگری، پل علی بن حمزه، پل معالی آباد، پل پیرنیا و پل پارکینگ. آن قسمت از رودخانه خشک که از درون شهر شیراز عبور می‌کند در طی دو سه دهه گذشته به شکل یک کانال با عرض متوسط ۶۰ متر و عمق متوسط ۴ متر تغییر شکل پیدا کرده است. با توجه به حداکثر دبی لحظه‌ای ثبت شده در ۲۵ سال گذشته، که در سال آبی ۸۰-۱۳۷۹ به میزان ۳۷۰ متر مکعب در ثانیه در ایستگاه چنار سوخته بوده است، به کمک نرم افزار تاثیر این سیل در طول ۳۰ کیلومتر از بازه این رودخانه (محدوده شهری)، از پل معالی آباد و تا ورودی دریاچه مهارلو بررسی و پهنه‌بندی شد.

نتایج حاصل از پهنه‌بندی نشان داد که آب در این رودخانه خشک در پنج نقطه از کانال رودخانه خارج شده و باعث ایجاد آبگرفتگی در خیابان‌ها و معابر گردید. به ترتیب ابتدا سیل در قسمت‌های خیابان ساحلی ابتدای کوچه گلخون (شکل ۵ سمت چپ)، پل زرگری، پل خیابان آوینی، پل نمازی، پل باغ صفا (شکل ۵ سمت راست) از کانال رودخانه خارج شد که تنها باعث اختلال در عبور و مرور می‌گردد.



شکل ۵: نقاط خروج سیل از رودخانه خشک شیراز در واقعه سیلاب سال ۸۰-۱۳۷۹: اولین نقطه خروج سیل در خیابان گلخون شیراز (چپ) و نقاط خروج بعدی (راست) شامل پل زرگری A، پل آوینی B و پل نمازی C

اما بیشترین حجم سیل تنها در قسمت پل علی ابن حمزه (شکل ۶) از کانال رودخانه خارج گردید که می تواند باعث ایجاد خسارت گردد. در این محل جریان سیل پس از خروج از رودخانه بخشی از خیابان دروازه اصفهان تا انتهای خیابان تیموری و تا میدان ولیعصر و پس از پل پیرنیا را در بر گرفت که بسته به شرایط و موقعیت منازل در کوچه-های این منطقه میزان خسارت متفاوت می باشد. همانگونه که در شکل ۶ مشخص است محدوده های قرمز رنگ بیشترن میزان سطح آب گیری را خواهند داشت.



شکل ۶: پهنه بندی سیل سال ۸۰-۱۳۷۹ در محل دروازه اصفهان و پل پیرنیا از رودخانه خشک شیراز

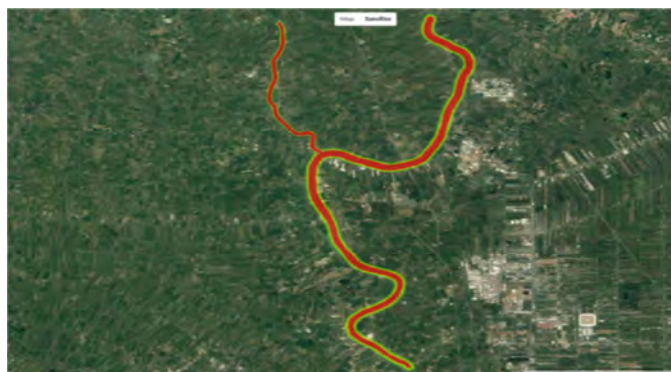
### بررسی واقعه سیلاب عظیم تایلد

در ۲۳ اکتبر سال ۲۰۱۱ افزایش بارشها و به دنبال آن سطح تراز آب در سدهای مخزنی و سرریز شدن آنها باعث جاری شدن سیل در شهر آیوتایای تایلد گردید (Gale and Sanders, 2013). ناسا در تاریخ ۲۳ اکتبر ۲۰۱۱ با استفاده از ماهواره EQ-1 اقدام به عکس برداری از شهر آیوتایا نمود. همانطور که در شکل ۷ مشاهده می گردد بخش اعظمی از سطح منطقه به زیر آب رفته است.

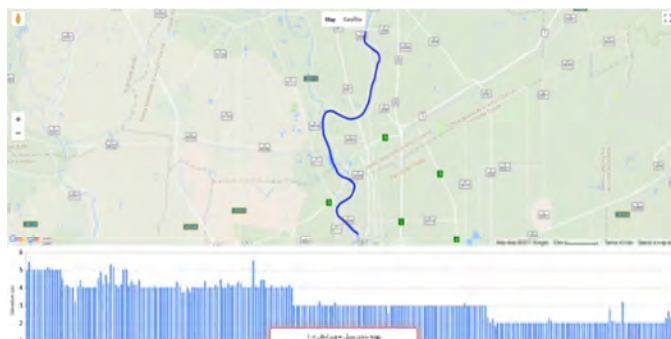


شکل ۷: شهر آیوتایا تایلند قبل (چپ) و بعد (راست) از وقوع سیل در ۲۳ اکتبر ۲۰۱۱ (Gale and Sunders, 2013)

با استفاده از نرم‌افزار طراحی شده سعی گردید تا پهنه سیل‌گیری شده در شهر آیوتایا تحلیل شود. رودخانه اصلی درون شهر آیوتایا از دو شاخه به هم متصل به هم یک رودخانه بزرگ را تشکیل می‌دهد. با استفاده از نرم‌افزار ابتدا موقعیت رودخانه همانند شکل ۸ در یک بازه تقریباً ۶۰ کیلومتری تعیین و سپس اقدام به ترسیم پروفیل طولی (شکل ۹) و عرضی (شکل ۱۰) این رودخانه نموده و سپس محاسبه خودکار جهت پهنه بندی سیل انجام گرفت. شایان ذکر است ارتفاع بستر رودخانه در بازه مورد بررسی از حداکثر حدود ۵ متر تا حداقل حدود ۲/۵ متر نسبت به سطح آب‌های آزاد متغیر است. مطابق شکل ۹ نقاطی که بالاتر از بستر عمومی رودخانه مشخص شده، نقاط واقع شده روی جزیره‌های موجود در وسط رودخانه بوده است. پلکانی بودن شکل بستر در طول بازه انتخابی حاکی از مدیریت شهری بستر رودخانه می‌باشد.



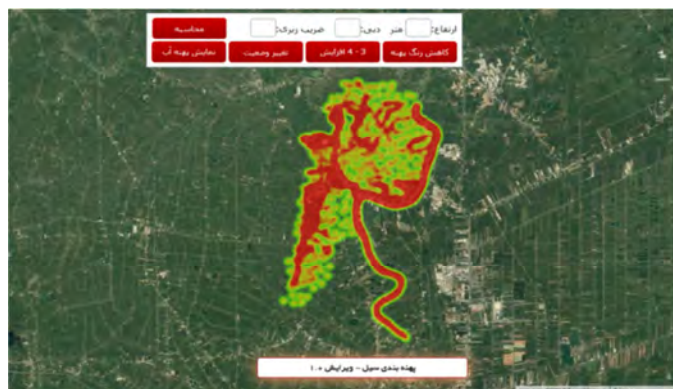
شکل ۸: تعیین موقعیت رودخانه شهر آیوتایا - تایلند



شکل ۹: پروفیل طولی رودخانه شهر آیوتایا - تایلند

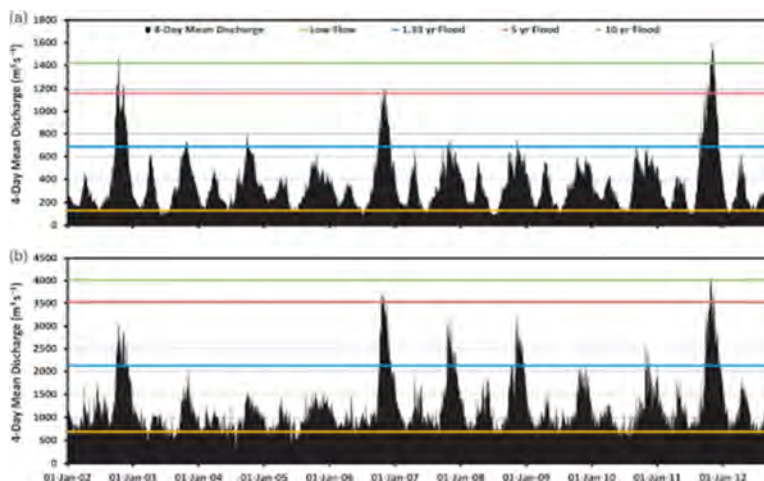


شکل ۱۰: پروفیل عرضی رودخانه شهر آیوتایا - تایلند در مقطع مشخص شده



شکل ۱۱: پهنه بندی سیل اکتبر ۲۰۱۱ تایلند توسط نرم افزار

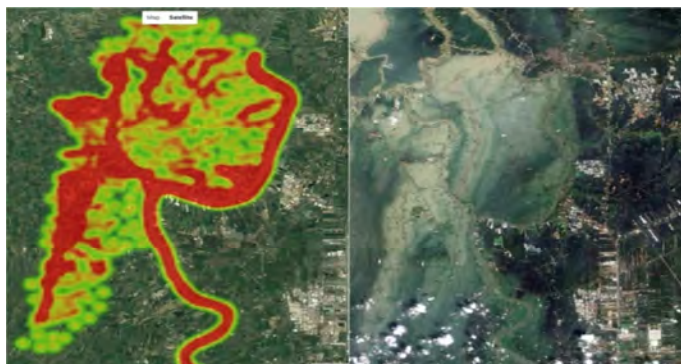
نرم افزار با مقایسه پهنه سیل گیری شده (شکل ۱۱) و پهنه طبیعی رودخانه (پروفیل های عرضی) در یک روند معکوس اقدام به محاسبه تراز آب و عمق سیلاب در هر مقطع از رودخانه و در نهایت دبی منجر شده به مساحت آب گیری کرده است. نتایج حاکی از وقوع سیلابی با دبی اوج  $4113/01$  متر مکعب بر ثانیه می باشد. هیدروگراف اندازه گیری شده سیل اکتبر ۲۰۱۱ تایلند در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۲: هیدروگراف سیل ۲۳ اکتبر ۲۰۱۱ شهر آیوتایا-تایلند (شکل a و b هیدروگراف قبل و پس از اتصال دو شاخه رودخانه است).

(Gale and Sunders, 2013)

همان گونه که در شکل ۱۳ مشخص است پهنه سیل گیری شده در تصویر ماهواره ای با نقشه پهنه بندی شده سیل بسیار هم خوانی داشته که حاکی از توانایی نرم افزار در پیش بینی مناطق متأثر از سیل است.

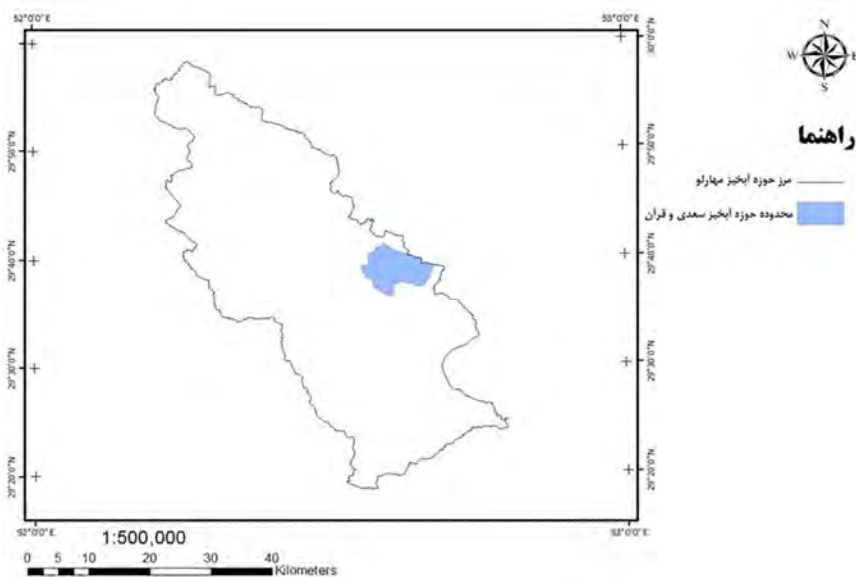


شکل ۱۳: مقایسه تصویر ماهواره ای سیل اکتبر ۲۰۱۱ تایلند (راست (Gale and Sunders, 2013)) با نقشه پهنه بندی سیل توسط نرم افزار (چپ)

### سیل مهیب فروردین ۱۳۹۸ دروازه قرآن شیراز

#### محدوده مورد مطالعه

در تاریخ ۵ و ۶ فروردین ۱۳۹۸ به دلیل بارش های شدید در حوضه آبریز تنگ الله اکبر (دروازه قرآن) و محله سعدی شیراز که در ناحیه جنوبی کوه بامو قرار دارند (شکل ۱۴) سیلاب مهیبی و کوتاه مدتی جاری شد. حوضه آبریز دریاچه های طشک-بختگان و مهارلو با نام اختصاری مهارلو-بختگان یکی از حوضه های بسته ایران است که در تقسیم بندی حوضه های آبریز ایران، حوضه فرعی به شمار می رود و با مساحت ۳۱۴۹۲ کیلومتر مربع زیرمجموعه حوضه آبریز فلات مرکزی محسوب می شود (هیأت ویژه گزارش ملی سیلاب ها، ۱۳۹۸). محدوده حوضه آبریز منجر به وقوع سیل در فروردین ۱۳۹۸ در بخش شرقی حوضه آبخیز مهارلو قرار گرفته است. مساحت این حوضه ۵۹/۳ کیلومتر مربع می باشد که شامل دو بخش سعدی و دروازه قرآن است (شکل ۱۴).



شکل ۱۴: موقعیت حوزه دروازه قرآن و سعدی در حوزه آبریز مهارلو

#### شبیه سازی سیل با مدل ارائه شده

با توجه به برداشت اطلاعات سیل در روزهای وقوع آن با بازدید میدانی و ثبت پهناهای غیر شهری و شهری متأثر از این سیلاب به کمک نرم افزار تهیه شده اقدام به شبیه سازی این واقعه شد. سیلاب دروازه قرآن که در مسیل آبزنگی جاری شده بود (مورخ ۱۳۹۸/۱/۵) پس از رسیدن به دروازه قرآن وارد لوله ای که برای انتقال و هدایت آب حاصل بارندگی به سمت رودخانه خشک کار گذاشته شده بود، می شود. این لوله که ظرفیت آن حدود ۱۲ متر مکعب در ثانیه است (مشاهدات شخصی) توان عبور تمام سیلاب را نداشته و به دلیل گرفتگی در محل توری آشغال گیر ظرفیت واقعی آن از ظرفیت اسمی بسیار کمتر بوده است. بنابراین سیلاب حوضچه متعادل کننده پشت لوله را پر کرده و وارد بلوار هفت تنان می شود. ارتفاع سیلاب در بلوار هفت تنان بالغ بر ۴۷ سانتی متر اندازه گیری شد. با آزمون دبی ها مختلف برای سیل و با توجه به نقشه های گوگل از منطقه دبی ۴۲/۸ متر مکعب بر ثانیه برای سیلاب دروازه قرآن محاسبه شد. این دبی با فرض کارکرد ۵۰ درصدی برای ظرفیت اسمی لوله انتقال آب دروازه قرآن به دست آمد. پس از آن با این دبی محدوده متأثر از سیل در محل دروازه قرآن و محدوده اطراف آن پهنه بندی شد (شکل ۱۵). در این شکل رنگ آبی نشانه مسیر اصلی عبور سیلاب و رنگ فیروزه ای محدوده آبرگیری شده اطراف آن می باشد. مقایسه مساحت پهنه بندی شده با محدوده ای که با بازدید میدانی با جی پی اس ثبت شده بود حاکی از وجود خطای ۳۶ درصدی می باشد (نرم افزار مساحت بیشتری را محاسبه کرده است).



شکل ۱۵: پهنه بندی سیل فروردین ۱۳۹۸ در محدوده دروازه قرآن شیراز (رنگ آبی مسیر عبور سیل و رنگ فیروزه‌ای محدوده آب‌گیری شده را نشان می‌دهد).

سیل دوم در شهرک سعدی شیراز رخ داد. این سیل (مورخ ۱۳۹۸/۱/۶) از حوضه بالادست وارد شهرک شده بود. در قسمت بالادست محله سعدی یک کانال زیرزمینی یا کالورت وجود دارد که مسیل سعدی را از مسیر بلوار وفايي به سمت خیابان نارنجستان و در نهایت رودخانه خشک متصل می‌کند. این کانال زیرزمینی گنجایش کافی برای عبور سیل را نداشت که موجب پس‌زدگی جریان و سرازیر شدن رواناب به محله سعدی گردید. مشاهدات میدانی حاکی از ارتفاع ۳۵ سانتی‌متری سیل بوده که نرم‌افزار ارائه شده در این پژوهش آن را با دبی ۴۸ متر مکعب در ثانیه شبیه‌سازی کرده است. مساحت پهنه‌بندی شده سیل با این دبی و مشاهدات ثبت شده میدانی (با جی پی اس) اختلاف ۱۷ درصدی را نشان می‌دهد. در این مورد نیز مدل حاضر پهنه سیل‌گیری را بیشتر برآورد کرده است (شکل ۱۶).



شکل ۱۶: پهنه بندی سیل فروردین ۱۳۹۸ در محدوده دروازه قرآن و شهرک سعدی شیراز (رنگ آبی مسیر عبور سیل و رنگ فیروزه‌ای محدوده آب‌گیری شده را نشان می‌دهد).



## نتایج و بحث

## حداکثر سیل رودخانه خشک شیراز (۸۰-۱۳۷۹)

نرم افزار تهیه شده در این پژوهش با دبی سیل سال ۸۰-۱۳۷۹ رودخانه خشک شیراز به صورت دستی اجرا شد. هرچند بخش‌هایی از طول رودخانه خشک نسبت به گذشته تغییراتی داشته اما مطابق شکل‌های ۵ و ۶، خروج آب از محل‌های تعیین شده توسط مدل و مشکلات پیش بینی شده با اسناد و شواهد به جا مانده از سیل رخ داده در سال ۸۰-۱۳۷۹ تطابق دارد. اما هیچ گونه عکس یا تصویر هوایی از این سیل وجود نداشت تا امکان مقایسه کمی نتایج نرم افزار با آن فراهم گردد. به نظر می‌رسد دبی ۳۷۰ متر مکعب بر ثانیه در رودخانه خشک شیراز برای شهر کاملاً مخاطره آمیز است. این مسأله زمانی اهمیت دوچندان پیدا می‌کند که دستکاری‌های انسان در طول مسیر عبور از داخل شهر رفتار هیدرولیکی سیل را تغییر داده و غیر قابل پیش‌بینی می‌سازد. در تطابق با این نتایج جمالی و همکاران (۱۳۹۴) اشاره کردند که دبی‌های با دوره بازگشت ۵۰ سال (۲۳۲ متر مکعب بر ثانیه) و بیشتر در رودخانه خشک شیراز بسیار تهدیدآمیز است.

## واقعه سیل بزرگ اکتبر ۲۰۱۱ تايلند

شبیه سازی واقعه سیل اکتبر ۲۰۱۱ تايلند چنانچه ذکر شد منجر به برآورد دبی اوج ۴۱۱۳/۰۱ متر مکعب بر ثانیه شد که در مقایسه با دبی ۴۲۰۰ متر مکعب بر ثانیه ثبت شده (شکل ۱۲) از آن واقعه سیل ۲/۱ درصد اختلاف دارد. میزان خطا در برآورد دبی توسط نرم‌افزار بستگی به عواملی چون تاریخ نقشه‌های مورد استفاده، تغییرات صورت گرفته در عرصه بعد از تهیه نقشه‌ها، میزان و اندازه اجسامی که سیل همراه خود در مسیر حمل می‌نماید، موقعیت جغرافیایی تعداد نقاط و فواصل نقاط ثبت شده توسط کاربر و حداکثر قابلیت پردازشگر رایانه‌ای دارد. در صورتی که این سیلاب با وضعیت فعلی منطقه رخ بدهد پهنه سیل‌گیری شده در مقایسه با مساحت متاثر از سیل سال ۲۰۱۱ به میزان ۱۷/۶۳ درصد اختلاف دارد (کمتر بوده است، شکل ۱۳). این اختلاف بخاطر فاصله زمانی بین تاریخ نقشه مورد استفاده (۲۰۱۶) با نقشه زمان روی دادن سیل (۲۰۱۱) و تغییر شرایط حاشیه رودخانه در این بازه در شهر آیوتایا بوده است. بخش دیگر اختلاف می‌تواند به دلیل عدم محاسبه دقیق گسترش سیل به دلیل حمل اجسام و رسوب باشد.

## سیل فروردین ۱۳۹۸ دروازه قرآن شیراز

سیل رخ داده در فروردین ۱۳۹۸ در محل دروازه قرآن و شهرک سعدی شیراز با مدل ارائه شده با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی شد. نتایج این شبیه سازی با مشاهدات واقعی هم‌خوانی داشت. گزارش هیأت ویژه بررسی سیلاب‌ها (هیأت ویژه گزارش ملی سیلاب‌ها، ۱۳۹۸) در مورد سیل شیراز حاکی است که سیل دروازه قرآن دارای دبی ۴۴ تا ۵۸ متر مکعب بر ثانیه بوده است (دبی‌ها از منابع و برآوردهای مختلف گزارش شده است). دبی برآورد شده توسط نرم‌افزار (۴۲/۸ متر مکعب بر ثانیه) با آن چه در گزارش هیأت ویژه آمده است ۳ تا ۳۶ درصد اختلاف دارد. همچنین نرم افزار حاضر دبی سیل رخ داده در حوضه سعدی شیراز را ۴۸ متر مکعب بر ثانیه برآورد کرده که با آنچه در گزارش هیأت ویژه بررسی سیلاب‌ها آمده است (۴۶ تا ۷۰ متر مکعب بر ثانیه) ۴ تا ۴۶ درصد اختلاف دارد. شکل ۱۷

پهنه آب‌گیری شده در اثر وقوع سیل در شهرک سعدی شیراز را مطابق گزارش هیأت ویژه بررسی سیلاب‌ها نشان می‌دهد. مقایسه اسن شکل با خروجی نرم‌افزار ارائه شده در این مقاله (شکل ۱۶، بخش شهرک سعدی) اختلاف‌هایی را نشان می‌دهد. دلیل این اختلاف‌ها می‌تواند مدیریت شهری مقابله با سیلاب باشد. به این نحو که شهرداری و مردم برای جلوگیری از آب‌گیری برخی مناطق اقداماتی نظیر احداث خاکریز و سیل‌بندهای موقت را انجام دادند. با این اقدامات سعی شده بود تا سیل در مسیرهای خاصی هدایت شود که با نتایج نرم‌افزار که بر اساس تراز آب و تراز ارتفاعی زمین پهنه‌بندی را انجام می‌دهد متفاوت بوده است. در مجموع نرم‌افزار ارائه شد در شبیه‌سازی سیل‌های ۵ و ۶ فروردین ۱۳۹۸ شیراز مناسب عمل کرده است.



شکل ۱۷: پهنه متأثر از سیل فروردین ۱۳۹۸ در محدوده شهرک سعدی شیراز (برگرفته از هیأت ویژه گزارش ملی سیلاب‌ها، ۱۳۹۸).

### نتیجه‌گیری

مدل ساده مبتنی بر وب ارائه شده برای تعیین مناطق در خطر سیل با استفاده از نقشه‌های بروز گوگل توانست با دقت قابل قبول واقعه سیلاب ۲۰۱۱ تایلند شامل دبی اوج و پهنه سیل‌گیری شده را شبیه‌سازی کند. همچنین در شبیه‌سازی واقعه سیل فروردین ۱۳۹۸ دروازه قرآن شیراز مناسب عمل نمود. بعلاوه نتایج شبیه‌سازی حداکثر سیلاب رودخانه خشک شیراز توسط نرم‌افزار به واقعیت نزدیک بود. این مدل ساده با هر داده ورودی از دبی و عمق آب که کابر انتخاب نماید وضعیت پهنه سیل‌گیر در بازه انتخابی از رودخانه را تعیین می‌کند.

با توجه به نتایج این مطالعه و میزان خطای محاسبات صورت گرفته می‌توان بیان کرد نرم‌افزار از دقت قابل قبولی برخوردار بوده اما به دلیل برخی از محدودیت‌های سطح دسترسی به تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی و DEM گوگل، نرم‌افزار به عنوان یک مدل کمکی در کنار سایر مدل‌های کنونی تحلیل سیلاب قرار می‌گیرد. از مزایای این نرم‌افزار می‌توان به دسترسی آسان در هر زمان و مکان بدون محدودیت برای عموم مردم به واسطه آنلاین بودن، عدم نیاز به نصب و یا مهارت خاص در اجرای نرم‌افزار، محیط کاملاً گرافیکی و سادگی و قابل فهم محیط نرم‌افزار، امکان بروز رسانی نرم‌افزار و ایجاد تغییرات و افزایش امکانات و سازگاری بالا به واسطه متن باز بودن نرم‌افزار،

دسترسی به بانک اطلاعاتی گسترده، بروز بودن و تنوع نقشه های مطالعاتی، دسترسی کامل به تمامی نقشه های توپوگرافی نقاط کره زمین در هر کشور در هر زمان و مکان، عدم نیاز به شناخت منطقه و یا داشتن داده های هیدرولوژیکی آن، اولویت بندی زیر حوضه ها جهت پروژه های کنترل سیل، مدل سازی سیلاب با دبی های متفاوت و پیش بینی محدوده های آبیگری هنگام وقوع سیل، افزایش سرعت در محاسبات مربوط به پهنه بندی، صرفه جویی در زمان، امکان تعبیه سیستم هشدار هوشمند سیل و اقدام و تخلیه به موقع منطقه جهت کاهش خسارات جانی و مالی و کمک به تصمیم گیری و مدیریت هرچه بهتر بحران در زمان های اضطراری اشاره نمود.

### منابع

- ثروتی، محمدرضا، احمدی، محمود، نصرتی، کاظم، مزبانی، مهدی، (۱۳۹۲)، پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی حوضه آبخیز سراب دره شهر (مطالعه موردی حوضه آبخیز سراب دره شهر)، جغرافیا، سال یازدهم، شماره ۳۶، صص ۷۷-۵۵.
- جمالی، میثم، مقیمی، ابراهیم، جعفرپور، زین العابدین، کردوانی، پرویز، (۱۳۹۴)، تحلیل فضایی مخاطرات ژئومورفولوژیکی توسعه شهر در حریم رودخانه خشک کلان شهر شیراز. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال دوم، شماره ۳، صص ۶۱-۵۱.
- راد، مژگان، وفاخواه، مهدی، غلامعلی فرد، مهدی، (۱۳۹۷)، پهنه بندی سیل با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-RAS در پایین دست حوضه آبخیز خرم آباد، مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۷، شماره ۱۶، صص ۲۲۶-۲۱۱.
- رفاهی، حسینقلی، (۱۳۹۴)، فرسایش آبی و کنترل آن. انتشارات دانشگاه تهران، ۴۷ص.
- سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، (۱۳۸۴)، راهنمای پهنه بندی سیل و تعیین حد بستر و حریم رودخانه. نشریه شماره ۳۰۷، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ۱۰۶ص.
- شادمانی، مجتبی، معروفی، صفر، محمدی، کورش، سبزی پور، علی اکبر، (۱۳۹۰)، مدل سازی منطقه ای دبی سیلابی در استان همدان با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی استان همدان)، مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد ۱۸، شماره ۴، صص ۴۲-۲۱.
- لاجوردی، محمود، خالدی، شهریار، ستاری، شاپور، (۱۳۹۲)، پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی حوضه آبریز مردق چای (آذربایجان شرقی)، نشریه علمی پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی، سال ۱۷، شماره ۴۴، صص ۲۵۵-۲۳۷.
- لشکری، حسن، رشیدی، علی، رضایی، علی، (۱۳۹۲)، پهنه بندی سیلاب رودخانه زینه رود با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-RAS در محیط GIS (مطالعه موردی رودخانه زینه رود واقع در آذربایجان غربی)، پژوهش های دانش و زمین، سال سوم، شماره ۱۳، صص ۶۸-۵۱.
- مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، (۱۳۹۶). اطلاعات آماری دبی رودخانه خشک شیراز (مکاتبه شخصی).
- ولیزاده کامران، خلیل، (۱۳۸۶)، کاربرد GIS در پهنه بندی خطر سیلاب (مطالعه موردی: حوضه رود ليقوان). مجله فضای جغرافیایی، سال هفتم، شماره ۲۰، صص ۱۷۰-۱۵۳.
- هیأت ویژه گزارش ملی سیلاب ها، (۱۳۹۸)، روایت سیلاب های ۹۸-۱۳۹۷ ایران. ۱۰۵ص.
- یمانی، مجتبی، داورزنی، زهرا، دادرسی، ابوالقاسم، (۱۳۹۱)، ارزیابی مدل منطق فازی در مقایسه با سایر مدل های مفهومی در پهنه بندی سیل خیزی با تأکید بر ویژگی های ژئومورفولوژیک، مورد شناسی حوضه داورزن (مطالعه موردی حوضه داورزن). جغرافیا و آمایش شهری- منطقه ای، دوره ۲، شماره ۵، صص ۱۳۴-۱۲۱.
- Al-Weshah. R.A., El-Khoury, F., (1999), Flood analysis and mitigation for Petra area in Jordan, Journal of Water Resources Planning and Management, Vol. 3, pp.170-177.
- Anderson, H.L., Chen, Z.Q., Kavvas, M.L., Feldman, A., (2002), Coupling HEC-HMS with atmospheric models for prediction of watershed runoff, ASCE Journal of Hydrologic Engineering, Vol. 7, No. 4, pp. 321-318.
- Du, J., Qiana, L., Rui, H., Zuo, T., Zhenga, D., Xu, Y., Xu, CY., (2012), Assessing the effects of urbanization on annual runoff and flood events using an integrated hydrological modeling system for Qinhuai River basin, China. Journal of Hydrology, Vol. 464-465, pp. 127-139.

- Fernandez, D.S., Lutz, M.A., (2010), Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. *Engineering Geology*, Vol. 111, No. 1, pp. 90-98.
- Gale, E.L., Saunders, M., (2013), The 2011 Thailand flood: climate causes and return periods, *Weather*, Vol. 68, No. 9, pp. 233-237.
- Hudson, P. Botzen, W. J. W. Kreibich, H. Bubeck, P. Aerts, J. C. J. H. (2014), Evaluating the effectiveness of Flood Damage Mitigation Measures by the Application of Propensity Score Matching, *Natural Hazards, and Earth System Science*, 14, 7, pp. 1731-1747.
- Khattak, M. S. Anwar, F. Usman Saeed, T. Sharif, M. Sheraz, K. Ahmed, A. (2016), Floodplain Mapping Using HEC-RAS and ArcGIS: A Case Study of Kabul River, *Research Article – Civil engineering*, 40, pp. 1375-1390.
- Perera, E. D. P. Hiroe, A. Shrestha, D. Fukami, K. Basnyat, D. B. Gautam, S. Hasegawa, A. Uenoyama, T. Tanaka, S., (2015), Community-based Flood Damage Assessment Approach for Lower West Rapti River basin in Nepal under the Impact of Climate Change, *Natural Hazards*, 75, pp. 669-699.
- Rad, M., Vafakhah, M., Gholamalifard, M., (2018), Flood mapping using the HEC-RAS hydraulic model in part of Khorramabad watershed, *Journal of Natural Environmental Hazards*, Vol.07, Issue 16, pp. 211-226.
- Silva, F. V. Bonuma, N. B. Uda, P. K. (2014), Flood Mapping In Urban Area Using Hec-Ras Model Supported By GIS, 6th International Conference on Flood Management, Sau Paulo, Brazil, pp. 1-9.
- Suriya, S., Mudgal, B.V., (2012), Impact of urbanization on flooding: The Thirusoolam sub-watershed–A case study, *Journal of Hydrology*, Vol. 412-413, pp. 210-219.
- Suwanwerakamtorn, R., (1994), GIS and hydrologic modeling for management of small watersheds, *ITC Journal*, Vol. 4, pp. 343-349.
- Tripathi, R., Sengupta, S.K., Patra, A., Chang, H., Jung, I., (2014), Climate change, urban development, and community perception of an extreme flood: A case study of Vernonia, Oregon, USA. *Applied Geography*, Vol. 46, pp.137-146.

Research Article

## A Simple Model for determining flood hazard areas

Hamid Hassas<sup>1</sup>, Abolfazl Azizian<sup>2\*</sup>, Mohsen Ghasemi<sup>3</sup>

1. MSc. Graduate of Watershed Management, Ardakan University, Ardakan, Iran.

2\*. Assistant Professor, Department of water Science and Engineering, Ardakan University, Ardakan, Iran.

3. Ph.D. Graduate of Water Science and Engineering, Isfahan University of technology, Isfahan, Iran.

Received: 30-07-2019

Final Revised: 04-12-2019

Accepted: 13-05-2020

### Abstract

Determination of the submergible area by flood provides a fundamental tool for reducing flood risks. Therefore, in this research, flood spreading modeling was designed using web-based software with the capability of zoning submerged areas by Google Maps DEM Data. For this purpose, at the first, a specified interval of a river is selected on the map. Then, at each selected section, the maximum cross-sectional area for passing flow is calculated. Then, based on the average of the cross-section area for the total interval and the physical properties of the selected river interval, the maximum flow rate is calculated. For this flow rate, the safe area of the flood is marked on the map. For a greater flow rate, the software determined the areas at risk of flooding, and ultimately the flood risk map is specified. For example, the software was applied for a seasonal river in Shiraz, which sinks to the Maharlu Lake with satisfactory results. Afterward, the October 2011 flood event of Ayutthaya River in Thailand was investigated, where satellite images of the flood-affected areas were available. Investigation of the satellite image of this flood along with the survey of topographic maps of the river route indicated peak discharge of the flood was 4113.01 m<sup>3</sup>/s, which differed as 2.1 percent as compared to a record of 4200 m<sup>3</sup>/s (real measured peak flow). If the flood occurs with the current situation in the area, the flooded area decreased by 17.63% compared with the submerged area in 2011. Furthermore, simulation of the March 2019 Shiraz Flood by the model was in good agreement with the report of the Special Committee of 2019 Iran Floods.

**Keywords:** Flood Zoning; Shiraz Quran-Gate Flood; Flood Risk; Google Maps.

\* Corresponding Author Email: aazizian@ardakan.ac.ir

## References

### References (in Persian)

- Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Watershed Management, and Soil Conservation Department., (2017). Statistical report of the Khosh-rood River flow rate of Shiraz (personal communication). [In Persian]
- Jamali, M., Moghimi, E., Jafarpour, Z., Kardovani, P., (2015), Spatial Analysis of Geomorphological Hazards of Urban Development in the Banks of Khoshk River in Shiraz, Iran, *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, Vol. 2, No. 3, pp. 51-61. [In Persian]
- Lajavardi, M., Khaledi, Sh., Sattari, Sh., (2013), Zoning the flood bearing Moddaghchai watershed (Eastern Azerbaijan), *Journal of Geography and Planning*, Vol. 17, No. 44, pp. 237-255. [In Persian]
- Lashkari, H., Rashidi, A., Rezayi, A., (2013), Flood zoning of Zarinerood river by using the HEC-RAS model in GIS area, *Journal of Earth Science Researches*, Vol. 3, No. 13, pp. 51-68. [In Persian]
- Management and Planning Organization, (2005), *Guideline of Flood Plain Zoning and Determination of Floodway and Flood Fringe*. Publication No. 307 Ministry of Energy Iran Water Resources Management CO. Deputy of Research Office of Standard and Technical Criteria, 106p. [In Persian]
- Refahi, H., (2015), *Water erosion and conservation*, Tehran University Press, 674p. [In Persian]
- Servati, M.R., Ahmadi, M., Nosrati, K., Mazbani, M., (2013), Flood potential zoning of Sarab Watershed in Dareh Shahr, *Geography*, Vol. 11, No. 36, pp. 55-77. [In Persian]
- Shadmani, M., Marofi, S., Mohammadi, K., Sabziparvar, A.A., (2011), Regional flood discharge modeling in Hamedan province using Artificial Neural Network, *Journal of Water and Soil Conservation*, Vol. 18, No 4, pp. 21-42. [In Persian]
- Special Reporting Committee on Iran Floods, (2019), *The 2019 Iran Floods Narrative*. 105p. [In Persian]
- Valizadeh-Kamran, Kh., (2007), GIS application for flood risk zoning (case study: Lighvan watershed river), *Journal of Geographic Space*. Vol. 7, No. 20, pp. 153-170. [In Persian]
- Yamani, M., Davarzani, Z., Dadrasi, A., (2012), Evaluation of Fuzzy Logic Relative to other Conceptual Models in Zoning of Flooding with Emphasis on Geomorphological Aspects Case study: Davarzan Basin, *Journal of Management System*, Vol. 2, No. 5, pp.121-134. [In Persian]

### References (in English)

- Al-Weshah. R.A., El-Khoury, F., (1999), Flood analysis and mitigation for Petra area in Jordan, *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 3, pp.170-177.
- Anderson, H.L., Chen, Z.Q., Kavvas, M.L., Feldman, A., (2002), Coupling HEC-HMS with atmospheric models for prediction of watershed runoff, *ASCE Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 7, No. 4, pp. 321-318.
- Du, J., Qiana, L., Rui, H., Zuo, T., Zhenga, D., Xu, Y., Xu, CY., (2012), Assessing the effects of urbanization on annual runoff and flood events using an integrated hydrological modeling system for Qinhui River basin, China. *Journal of Hydrology*, Vol. 464-465, pp. 127-139.
- Fernandez, D.S., Lutz, M.A., (2010), Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. *Engineering Geology*, Vol. 111, No. 1, pp. 90-98.
- Gale, E.L., Saunders, M., (2013), The 2011 Thailand flood: climate causes and return periods, *Weather*, Vol. 68, No. 9, pp. 233-237.
- Hudson, P. Botzen, W. J. W. Kreibich, H. Bubeck, P. Aerts, J. C. J. H. (2014), Evaluating the effectiveness of Flood Damage Mitigation Measures by the Application of Propensity Score Matching, *Natural Hazards, and Earth System Science*, 14, 7, pp. 1731-1747.
- Khattak, M. S. Anwar, F. Usman Saeed, T. Sharif, M. Sheraz, K. Ahmed, A. (2016), Floodplain Mapping Using HEC-RAS and ArcGIS: A Case Study of Kabul River, *Research Article – Civil engineering*, 40, pp. 1375-1390.
- Perera, E. D. P. Hiroe, A. Shrestha, D. Fukami, K. Basnyat, D. B. Gautam, S. Hasegawa, A. Uenoyama, T. Tanaka, S., (2015), Community-based Flood Damage Assessment Approach for Lower West Rapti River basin in Nepal under the Impact of Climate Change, *Natural Hazards*, 75, pp. 669-699.
- Rad, M., Vafakhah, M., Gholamalifard, M., (2018), Flood mapping using the HEC-RAS hydraulic model in part of Khorramabad watershed, *Journal of Natural Environmental Hazards*, Vol.07, Issue 16, pp. 211-226.
- Silva, F. V. Bonuma, N. B. Uda, P. K. (2014), Flood Mapping In Urban Area Using Hec-Ras Model Supported By GIS, 6th International Conference on Flood Management, Sau Paulo, Brazil, pp. 1-9.
- Suriya, S., Mudgal, B.V., (2012), Impact of urbanization on flooding: The Thirusoolam sub-watershed–A case study, *Journal of Hydrology*, Vol. 412-413, pp. 210-219.
- Suwanwerakamtorn, R., (1994), GIS and hydrologic modeling for management of small watersheds, *ITC Journal*, Vol. 4, pp. 343-349.
- Tripathi, R., Sengupta, S.K., Patra, A., Chang, H., Jung, I., (2014), Climate change, urban development, and community perception of an extreme flood: A case study of Vernonia, Oregon, USA. *Applied Geography*, Vol. 46, pp.137-146.