



ارائه یک نرم افزار خبره برای پهنه بندی سیل

حمید حساس^{۱*}، ابوالفضل عزیزیان^۲

۱- دانشجوی ارشد آبخیزداری، دانشگاه اردکان، یزد، ایران.

۲- استادیار منابع آب، دانشگاه اردکان، یزد، ایران.

چکیده:

در سال های اخیر، رشد شهرهای واقع در حاشیه رودخانه ها که ناشی از افزایش جمعیت و سرمایه بوده موجب شده تا ساکنین و دارایی های موجود در منطقه، در معرض خطر سیل باشند. لذا در تحقیق حاضر اقدام به مدل سازی گسترش سیلاب با استفاده از طراحی نرم افزار آنلاین تحت وب با قابلیت پهنه بندی مناطق مستعد سیل گیری از طریق به کارگیری داده های DEM نقشه های گوگل شده است. برای این منظور ابتدا بازه مورد نظر از یک رودخانه روی نقشه انتخاب می شود. سپس در هر مقطع انتخابی حداکثر سطح مقطع برای عبور جریان محاسبه گردید. پس از آن از روی میانگین مقاطع در کل بازه و ویژگی های فیزیکی بازه انتخابی حداکثر دبی عبوری از بازه محاسبه می شود. با این دبی پهنه ایمن گذر سیلاب روی نقشه مشخص می گردد. برای دبی های بیش از دبی ایمن نرم افزار مقطع به مقطع به محاسبه پهنه های در معرض خطر سیل می پردازد و در نهایت نقشه اراضی متأثر از سیل در حاشیه بازه انتخابی ترسیم می گردد. برای نمونه ابتدا مراحل آزمایش نرم افزار بر روی رودخانه خشک شیراز که به دریاچه مهارلو می ریزد مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از پهنه بندی حداکثر سیلاب اندازه گیری شده در این رودخانه نشان داد که آب در جریان این رودخانه در پنج نقطه خارج شده و محدوده متأثر از سیل در نواحی شهری حاشیه رودخانه مشخص شده است. پس از آن اقدام به بررسی واقعه سیل اکتبر ۲۰۱۱ در رودخانه شهر آیتا در کشور تایلند گردید که از این واقعه تصاویر ماهواره ای مناطق متأثر از سیل در دسترس بود. بررسی تصویر ماهواره ای این سیل در کنار بررسی نقشه های توپوگرافی مسیر عبور رودخانه حاکی از وقوع سیلابی با دبی اوج ۴۱۱۳/۰۱ مترمکعب بر ثانیه می باشد که در مقایسه با دبی ۴۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه ثبت شده از آن واقعه سیل ۲/۱ درصد اختلاف دارد. در صورتی که این سیلاب با وضعیت فعلی منطقه رخ بدهد پهنه سیل گیری شده در مقایسه با مساحت متأثر از سیل سال ۲۰۱۱ به میزان ۱۷/۶۳ درصد اختلاف دارد (کمتر گردیده است).

کلمات کلیدی: پهنه بندی سیل، خطر سیل، نقشه های گوگل، نرم افزار خبره.



مقدمه

امروزه پدیده سیل مخاطرات بسیار فراوانی را در سراسر جهان و ایران به بار آورده است. خسارات ناشی از سیل در بسیاری از نقاط رشد صعودی داشته است. پیامدهای این رخداد محیطی به شدت بر روی بخش‌های مختلف شیلات، مسکن، کشاورزی، منابع طبیعی، سازه‌های مهندسی، جوامع بشری، حیات طبیعی و فعالیت‌های اجتماعی و اقتصادی تأثیرگذار است. از این رو پدیده سیل یکی از رویدادهای جدی هیدرو اقلیمی و از جدی‌ترین بلایای طبیعی است که مستلزم بررسی علل بروز و افزایش آن و همچنین ارائه راهکارهایی برای کاهش خطرات سیل هست. روش‌های مختلفی برای کنترل خسارات سیل وجود دارد یکی از مهم‌ترین اقدامات در این راستا شناسایی مناطق با پتانسیل سیل‌خیزی و اولویت‌بندی آن‌ها می‌باشد که اطلاعات ارزشمندی را در رابطه با طبیعت، سیلاب‌ها و اثرات آن بر اراضی دشت سیلابی و تعیین حریم رودخانه‌ها ارائه می‌دهد (نیک نژاد و همکاران، ۱۳۸۵).

هر جریان سطحی آب، صرف‌نظر از عامل ایجادکننده آن در صورتی سیلاب تلقی می‌شود که جریان آب در مقطع رودخانه بیش از جریان عادی باشد، تداوم زمانی آن محدود بوده، جریان آب از بستر طبیعی تجاوز کند، اراضی پست و حاشیه رود را فراگیرد و خسارات جانی و مالی به همراه داشته باشد (محمد پور و سبزواری)، این فرایند از بیشترین تغییرات مکانی و زمانی برخوردار بوده و کمیت بخشیدن به آن در مکان و زمان همواره موردتوجه محققین مختلف بوده. (پولادی، ۱۳۸۱).

سیلاب یک پدیده روشن و نظام‌مند بوده که در نتیجه تأثیر عوامل محسوس و نامحسوس به یک پدیده پیچیده تبدیل گشته است. مطالعات گذشته گویای آن است که دخالت انسانی باعث برهم خوردن تعادل طبیعی حوضه‌های آبریز و وقوع این پدیده و خسارات ناشی از آن را تشدید می‌کند. از مهم‌ترین عوامل حوضه‌ای می‌توان به شیب، طول و عرض رودخانه و مواردی از این قبیل اشاره نمود. در خصوص ذکر عوامل غیر حوضه‌ای مهم‌ترین عوامل مؤثر نوع بارش شدت و مدت بارش دبی حداکثر لحظه‌ای می‌باشند. بدیهی است که برای کنترل و جلوگیری از خطرات سیلاب ایجاد تغییر در عوامل غیر حوضه‌ای امکان‌پذیر نیست؛ بنابراین برای پیاده کردن راه‌حل و چاره اساسی باید بر عوامل حوضه‌ای تمرکز نمود.

تاکنون روش‌هایی که برای تعیین مناطق سیل‌خیز استفاده شده بیشتر بر پایه روش‌های نموداری، فرمول‌های تجربی، تحلیل آماری داده‌های سیلاب، تفکیک حوضه به تعدادی زیر حوضه، داده‌های دورسنجی، GIS و مدل‌های ریاضی رایانه‌ای بارش و رواناب بوده و بیشتر از دیدگاه تولید سیل در سطح حوضه‌ای مطرح شده است. به دنبال این مطالعات سازمان حفاظت خاک آمریکا در سال ۱۹۵۴، روش شماره منحنی (CN) را برای 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 توزیع مکانی خصوصیات بارش و حوضه آبخیز برآوردهای قابل قبولی را به دست دهند یکی دیگر از روش‌های رایج جهت پهنه‌بندی سیلاب در گذشته روش ماسکینگام – کانر بوده است بررسی‌های انجام شده حاکی از آن است که تغییرات مکانی و



زمانی ضرایب ماسکینگام - کانژ یک نقص مهم به حساب می آید و باعث خطا در تخمین داده ها می شود. (لشکری و همکاران، ۱۳۹۲)

بر اساس آمار منتشرشده از طرف سازمان صلیب سرخ جهانی بیش از ۹۰٪ خسارات ناشی از حوادث طبیعی به سیل اختصاص دارد. در این میان ۵۰٪ آن تنها در قاره آسیا به وقوع می پیوندد. کشور ایران نیز با توجه به استعداد طبیعی خود یکی از کشورهای بسیار سیل گیری جهان محسوب می شود. (رفاهی ۱۳۷۵: ۲۲۷). با تعیین محل دارای پتانسیل بالا به نوعی می توان یک ارزیابی کلی از وضعیت سیل خیزی منطقه به دست آورد چراکه پتانسیل بالای سیل خیزی در یک منطقه به افزایش احتمال وقوع سیل در آن منطقه منجر می شود. لذا در تحقیق حاضر اقدام به مدل سازی سیلاب با استفاده از طراحی نرم افزار آنالین تحت وب با قابلیت پهنه بندی مناطق با پتانسیل سیل خیزی از طریق به کارگیری داده های DEM تصاویر ماهواره گوگل خواهد شد. اطلاعات ارزشمندی را در رابطه با خصوصیات هیدرولوژیکی سیستم های رودخانه ای و پیش بینی قابل اعتماد دبی جریان و نیز تغییرات آن در طول رودخانه همچنین در رابطه با سیلاب ها و آثار آن بر جوامع بشری اراضی دشت سیلابی اولویت بندی زیر حوزه ها جهت اجرای پروژه های کنترل سیل و تعیین حریم رودخانه ها ارائه می دهد، در نتیجه امکان ارسال هشدارهای مناسب در مواقع خطر سیل و تسهیل عملیات امداد و نجات را فراهم می سازد. بدین سبب این اقدام کمک شایانی به پروژه های برنامه ریزی و مدیریت بحران آب های سطحی خواهد نمود.

مواد و روش:

در اولین مرحله منطقه مطالعاتی خود را انتخاب نموده سپس با استفاده از دسترسی های تعیین شده توسط شرکت گوگل در استفاده از داده های نقشه گوگل و به کارگیری زبان برنامه نویسی تحت وب ضمن تعیین نوع دسترسی ها به داده های گوگل موقعیت جغرافیایی منطقه مورد نظر را بر اساس داده های توپوگرافی مشخص می نماییم.

سپس با توجه به هوش مصنوعی طراحی شده با کمک زبان های برنامه نویسی تحت وب (HTML, PHP, JavaScript, JQuery, Ajax, CSS) با استفاده از یک API Key به بانک اطلاعاتی نقشه های گوگل دسترسی پیدا نموده و با توجه مدت زمان و میزان سطح دسترسی که بر اساس API Key قابل دسترسی می باشد نقشه ها فراخوانی و سپس به بررسی صحت داده ها بر اساس ماهیت داده پرداخته شده و در صورت نیاز نرمال سازی انجام خواهد شد. در مرحله بعد به تعیین الگوریتم مناسب مدل های یادگیری ماشین و همچنین تعیین ساختار مناسب و آموزش داده ها به ماشین پرداخته می شود و پس از آن داده های دبی و پارامترهای کمکی مشتق شده از مدل رقومی ارتفاعی و سایر اطلاعات را به عنوان ورودی به مدل ها معرفی گردیده و داده دبی حداکثر به عنوان خروجی به صورت شبیه سازی شده تعیین می گردد و با استفاده از روابط همچون رابطه فیثاغورث، رژیم جریان و رابطه مانینگ، روابط رژیم جریان رینولدز و عدد فرود، جریان یکنواخت و غیر یکنواخت، ضریب زبری مانینگ، شیب، انیشتن، تعیین تصحیح انرژی و اندازه حرکت، شیب خط انرژی، معادلات حاکم بر جریان غیر دائم و با استفاده از بانک اطلاعاتی طراحی شده جهت تعیین ضرایب زبری، برآورد



و یا هر یک از داده‌ها را به صورت دستی به سیستم معرفی خواهد شد. در واقع در این مطالعه سعی می‌گردد از یک سری پارامترهای کمکی همچون شیب، ارتفاع آب، دبی، ضریب زبری، سرعت و موقعیت جغرافیایی نقاط مدنظر در صورت در دسترس بودن به عنوان ورودی جهت شبیه‌سازی و برآورد بهتر رواناب مورد استفاده شود و یا بر اساس مدل‌های رقومی ارتفاعی بسته به توپوگرافی محاسبه می‌گردد. عملکرد نرم‌افزار به دو صورت دستی و خودکار می‌باشد.

عملکرد خودکار

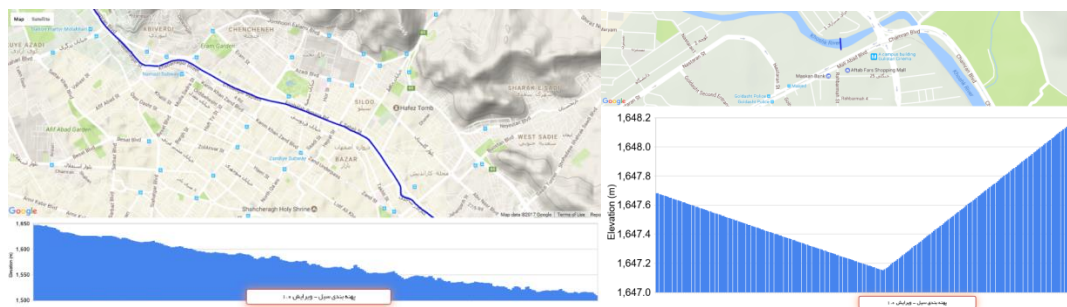
در عملکرد خودکار مراحل انجام محاسبات و پهنه‌بندی به صورت کاملاً هوشمندانه و بر اساس بانک اطلاعاتی طراحی شده، شکل پروفیل طولی و عرضی در هر مقطع با توجه به شرایط توپوگرافی مسیر آبراهه یا کانال، شیب متوسط در کل طول آبراهه، متوسط حداکثر دبی قابل عبور در هر مقطع و ضریب زبری با توجه به نوع سازند زمین‌شناسی صورت می‌پذیرد. عملکرد خودکار با سرعتی بسیار بالا مراحل انجام محاسبات و ترسیم پهنه‌های به زیر آب رفته را انجام می‌دهد و بیشترین کاربرد این عملکرد برای زمان‌هایی می‌باشد که نیاز به مدیریت بحران در زمان‌های اضطراری که اطلاعات پایه هیدرولوژی منطقه محل وقوع سیل در دسترس نیست بوده که بتوان با سرعت عمل بالا اقدام به تخلیه مناطق و یا پیشگیری‌های اولیه برای به حداقل رساندن خسارت نمود، کاربرد دارد.

عملکرد دستی

طراحی نرم‌افزار به گونه‌ای است که در صورتی که اطلاعات هیدرولوژی از یک منطقه خاص مورد مطالعه موجود باشد می‌توان با استفاده از روابط مطرح شده در بالا اقدام به انجام محاسبات و در نتیجه پهنه‌بندی سیل نمود که با توجه به تغییر هر یک از ضرایب و یا مقادیر عدد نرم‌افزار واکنش متناسب به آن داده ایجاد و در نتیجه خروجی نرم‌افزار بر اساس مقادیر ورودی کالیبره می‌گردد. داده‌های ورودی از جمله شیب، ارتفاع آب، دبی، ضریب زبری، سرعت و موقعیت جغرافیایی نقاط مدنظر، شیب از رابطه فیثاغورس می‌باشد.

نحوه کار

ابتدا کاربر آبراهه مدنظر خود را موقعیت‌یابی نموده و سپس به ترتیب اقدام به شروع تعیین نقاط دلخواه در طول آبراهه می‌نماید. اولین نقطه به معنای آغاز مسیر جریان آب و آخرین نقطه به معنای انتهای مسیر می‌باشد. هرچقدر تعداد نقاطی که مابین اولین نقطه با آخرین نقطه بیشتر باشد دقت انجام محاسبات بیشتر می‌گردد. پس از تعیین نقاط نرم‌افزار به صورت خودکار موقعیت جغرافیایی هر نقطه بر اساس سیستم مختصات UTM در بانک اطلاعاتی ذخیره و ارتفاع هر نقطه از سطح آب‌های آزاد را محاسبه و هم‌زمان به نمایش می‌گذارد. میزان ارتفاع هر نقطه از سطح آب‌های آزاد تا ۱۲ رقم اعشار در بانک اطلاعاتی ثبت و تنها محاسبات تا ۲ رقم اعشار صورت می‌گیرد. بر اساس موقعیت جغرافیایی نقاط انتخابی و فاصله هر نقطه نسبت به یکدیگر، پروفیل عرضی هر مقطع ترسیم و پروفیل طولی در بین هر یک از نقاط انتخاب شده ترسیم می‌گردد.



شکل ۱: نمایشی از محیط نرم افزار پهنه بندی سیل (نمایش پروفیل عرضی سمت راست و پروفیل طولی سمت چپ)

بر اساس شکل پروفیل عرضی (شکل ۱) در هر نقطه انتخابی مساحت کل مقطع عرضی محاسبه و با توجه شیب متوسط کل آبراهه سرعت عبور آب با توجه به ضریب زبری برآورده شده محاسبه و حداکثر دبی قابل عبور برآورد می گردد. نرم افزار بر اساس شکل پروفیل طولی و عرضی از اولین نقطه انتخابی تا آخرین نقطه انتخابی اقدام به شبیه سازی سه بعدی طولی مقطع آبراهه یا کانال نموده و بر اساس موقعیت جغرافیایی و شکل توپوگرافی اقدام به برآورد حداکثر حجم کل آب قابل عبور در آبراهه یا کانال می نماید. نرم افزار بر اساس اختلاف ارتفاع نسبت به شکل پروفیل عرضی و از عمیق ترین نقطه در مقطع تا بالاترین نقطه در پروفیل عرضی اقدام به محاسبه ارتفاع کانال به عنوان حداکثر ارتفاع آب مجاز درون آبراهه یا کانال را می نماید. هرگونه وارد نمودن مقادیر عدد توسط کاربر به عنوان افزایش دبی یا ارتفاع آب در آبراهه یا کانال را نرم افزار به عنوان آب مازاد تلقی و اقدام به انجام پردازش جهت نمایش پهنه آب خارج از آبراهه یا کانال می نماید.

نرم افزار پس از انجام محاسبات ریاضی و پردازش داده ها اقدام به پهنه بندی سیل می نماید. هرگونه تغییر در مقادیر چون ارتفاع آب، دبی، ضریب زبری، نقشه DEM و توپوگرافی توسط کاربر باعث تغییر میزان نمایش ناحیه های به زیر آب رفته می گردد. پهنه بندی به صورت ترسیم ناحیه های رنگی و یا خطوط مرزی بر روی نقشه انجام می گیرد. ناحیه های رنگی به سه دسته تقسیم می گردند که هر رنگ بیانگر و گویایی مفهومی خاص و خطوط مرزی می باشد که به ترتیب عبارت اند از:

- ناحیه سبز = پهنه به زیر آب رفته و محدوده ایمن بدون وارد آمد خسارت
- ناحیه قرمز = محدوده با خطر بالا
- ناحیه زرد = محدوده ریسک که احتمال گسترش آب در این محدوده به دلیل واکنش های غیرقابل پیش بینی است.

لازم به تأکید است که کلیه معیارهای تعیین شده بر اساس دستورالعمل پهنه بندی سیل و تعیین حد بستر و حریم رودخانه، تنظیم شده توسط سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور و وزارت نیرو (علاءالدین، ۱۳۸۴) می باشد و کلیه روند طراحی و برنامه نویسی بر اساس همین دستورالعمل صورت پذیرفته است.



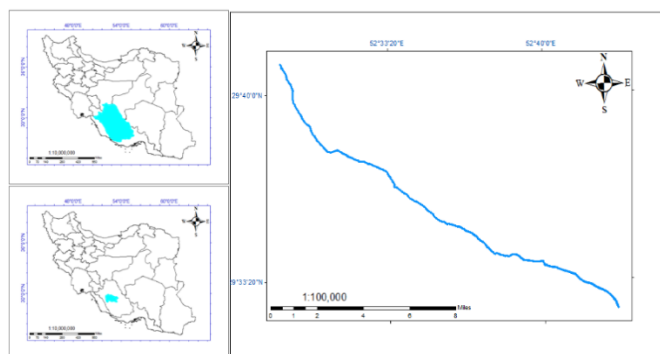
هشدار سیل

نرم افزار پس از انجام محاسبات بر اساس میزان وجود خطر تعیین شده در هسته اصلی آن ها اقدام به واکنش متناسب با سطح خطر تعیین شده می کنند که به ترتیب ابتدا هشدار به صورت پیغام و علائم بر روی نمایشگر ظاهر گردیده و سپس در صورت تأیید خطر توسط کاربر استفاده کننده نرم افزار با برقراری ارتباط به سخت افزار مربوط به هشدار اقدام به فعال سازی سخت افزار می نماید.

نتایج:

پیش بینی سیل رودخانه خشک شیراز

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 می ریزد. این رودخانه در موقعیت جغرافیایی ۲۹,۶۳۷۷ طول و ۵۲,۵۰۶۰ عرض جغرافیایی قرار دارد. حوضه آبریز رودخانه خشک به فرم کشیده و در جهت شمال غرب به جنوب شرق است و یکی از زیرحوضه های دریاچه مهارلو محسوب می شود. این رودخانه به صورت قطری از وسط شهر شیراز می گذرد و گویی شهر را به دو نیم تقسیم کرده است. برای عبور از روی این رودخانه در شیراز، پل های متعددی بر روی آن نصب شده است که معروف ترین آن ها عبارت اند از: پل باغ صفا، پل نمازی، پل زرگری، پل علی بن حمزه، پل معالی آباد، پل پیرنیا و پل پارکینگ.

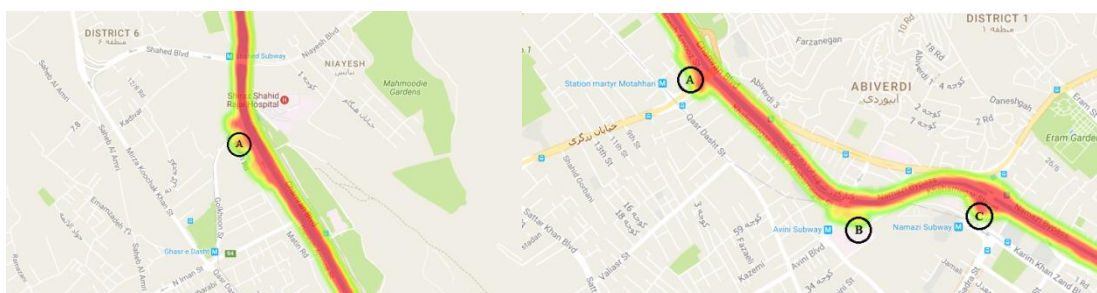


شکل ۲: موقعیت رودخانه خشک شیراز - فارس

آن قسمت از رودخانه خشک که از درون شهر شیراز عبور می نماید در طی دو، سه ده گذشته شکل توپوگرافی طبیعی این رودخانه به صورت یک کانال با عرض متوسط ۶۰ متر و ارتفاع متوسط ۴ متر تغییر پیدا نموده است. با توجه به حداکثر دبی لحظه ای ثبت شده در ۲۵ سال گذشته، در سال آبی ۱۳۸۰-۱۳۷۹ به میزان ۸۲۹ مترمکعب در ثانیه در ایستگاه چنار سوخته به ثبت رسیده است اقدام به انجام پهنه بندی در طول ۳۰ کیلومتر از بازه این رودخانه، توسط نرم افزار نموده ایم.

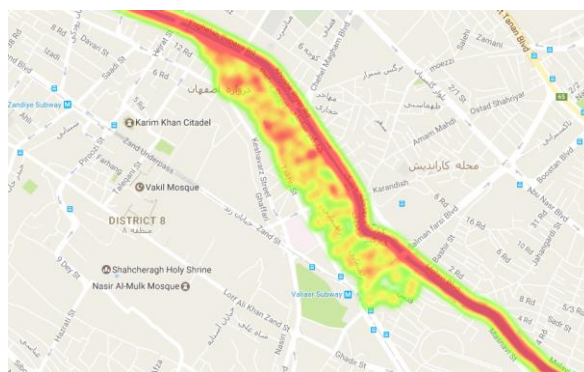


نتایج حاصل از پهنه‌بندی حداکثر سیلاب اندازه‌گیری شده در این رودخانه نشان داد که آب در جریان این رودخانه در پنج نقطه خارج شده و محدوده متأثر از سیل در نواحی شهری حاشیه رودخانه مشخص شده است. به ترتیب ابتدا سیل در قسمت‌های خیابان ساحلی ابتدای کوچه گلخون، پل زرگری، پل خیابان آوینی، پل نمازی، پل باغ صفا از کانال رودخانه خارج می‌گردد و تنها باعث ایجاد خلل در عبور و مرور می‌گردد اما بیشترین حجم سیل تنها در قسمت پل علی ابن حمزه از کانال رودخانه خارج گردیده و می‌تواند باعث ایجاد خسارت گردد.



شکل ۳: پهنه پوشیده شده از سیل (پهنه پوشیده شده از سیل به ترتیب از راست کوچه گل خون A، از چپ پل زرگری A - پل آوینی B - پل نمازی C واقع در شیراز-فارس)

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 خواهد گرفت که بسته به شرایط و موقعیت منازل در کوچه‌های این منطقه میزان خسارت متفاوت می‌باشد. همان‌گونه که در شکل (۴-۵) مشخص است محدوده‌های قرمز رنگ بیشترین میزان سطح آب‌گیری را خواهند داشت.



شکل ۴: نمایی از محیط نرم افزار پهنه‌بندی سیل (پهنه‌بندی سیل با حداکثر دبی لحظه‌ای در رودخانه خشک واقع در شیراز-فارس)

مقایسه پهنه‌بندی سیل تایلند

شهر آیوتایا^۱ واقع در کشور تایلند در مختصات جغرافیایی ۱۴,۰۶۴۶۸ شمالی و ۱۰۰,۳۳۳۲۴ شرقی در اکتبر سال ۲۰۱۱ در اثر افزایش بارش‌های منطقه به دلیل افزایش سطح تراز آب در سدهای مخزنی و سرریز شدن آب باعث جاری شدن سیل در آیوتایا گردید به صورتی که سیل بخش اعظمی از شهرک‌های صنعتی و شهرستان‌های اطراف را در بر گرفت. این سیل باعث تلفات بیش از ۸۰۰ تن و همچنین باعث کاهش تولید توسط کارخانه‌ها و افزایش ترم در سطح کشور گردید. (وبسایت انتخاب، ۱۳۹۰).

ناسا در تاریخ ۲۳ اکتبر ۲۰۱۱ با استفاده از ماهواره EQ-1 اقدام به عکس‌برداری از شهر آیوتایا نمود. همان‌طور که در شکل (۴-۵) مشاهده می‌گردد بخش اعظمی از سطح منطقه به زیر آب رفته است (وبسایت ویکی‌پدیا، ۲۰۱۱).

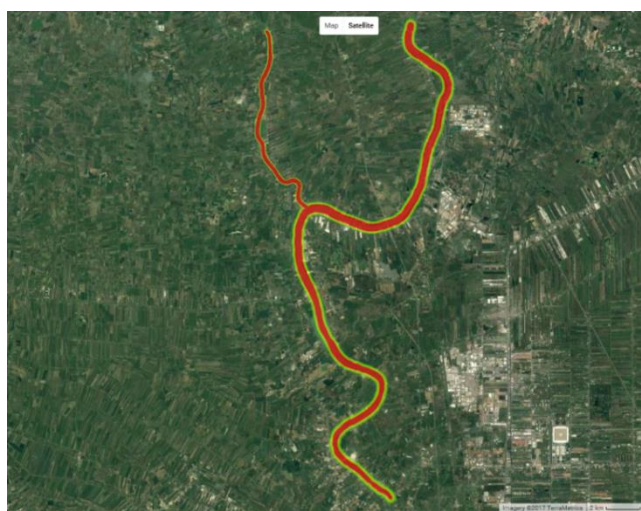


شکل ۵: مقایسه سیل در واقعیت (سمت راست)، با نقشه پهنه‌بندی سیل توسط نرم‌افزار (سمت چپ)

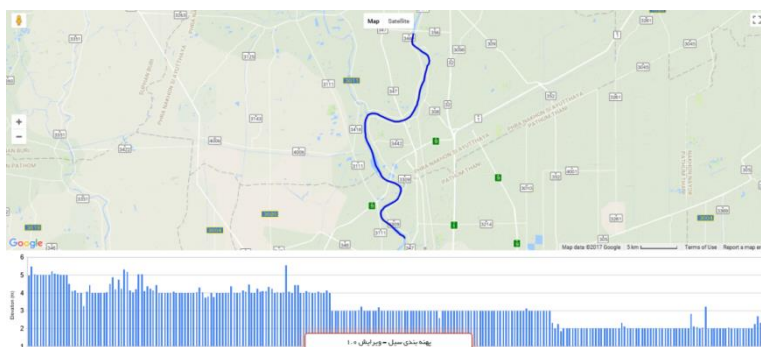
با استفاده از نرم‌افزار طراحی شده سعی گردید تا پهنه سیل گیری شده در شهر آیوتایا در اکتبر ۲۰۱۱ تحلیل گردد. رودخانه اصلی درون شهر آیوتایا از دو شاخه به هم متصل به هم یک رودخانه بزرگ را تشکیل می‌دهد. با استفاده از نرم‌افزار ابتدا موقعیت رودخانه را همانند شکل (۴-۶) در یک بازه تقریباً ۶۰ کیلومتری تعیین و سپس اقدام به ترسیم

^۱ -Ayutthaya

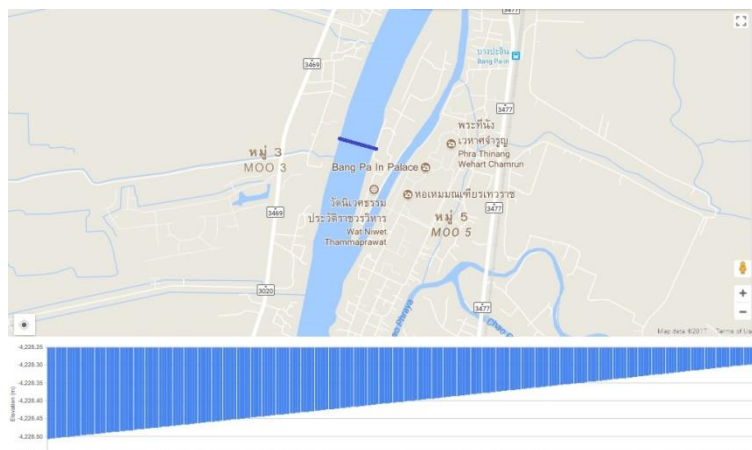
پروفیل طولی (شکل ۷) و عرضی (شکل ۸) این رودخانه نموده و سپس محاسبه خودکار جهت پهنه‌بندی سیل را انجام پذیرفت. شایان ذکر است ارتفاع بستر رودخانه در بازه مورد بررسی از حداکثر حدود ۵ متر تا حداقل حدود ۲,۵ متر نسبت به سطح آب‌های آزاد متغیر است. مطابق شکل (۷) نقاطی که بالاتر از بستر عمومی رودخانه مشخص گردیده شده است نقاط مشخص شده روی جزیره‌های واقع در وسط رودخانه بوده است. پلکانی بودن شکل بستر در طول بازه انتخابی حاکی از مدیریت شهری بستر رودخانه می‌باشد.



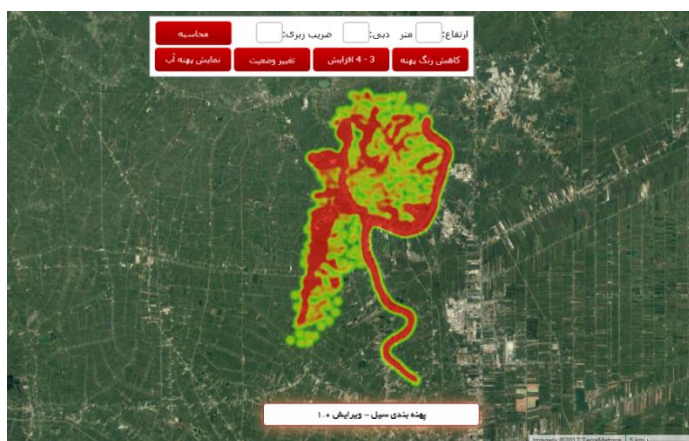
شکل ۶: تعیین موقعیت رودخانه شهر آیوتایا - تایلند



شکل ۷: پروفیل طولی رودخانه شهر آیوتایا - تایلند

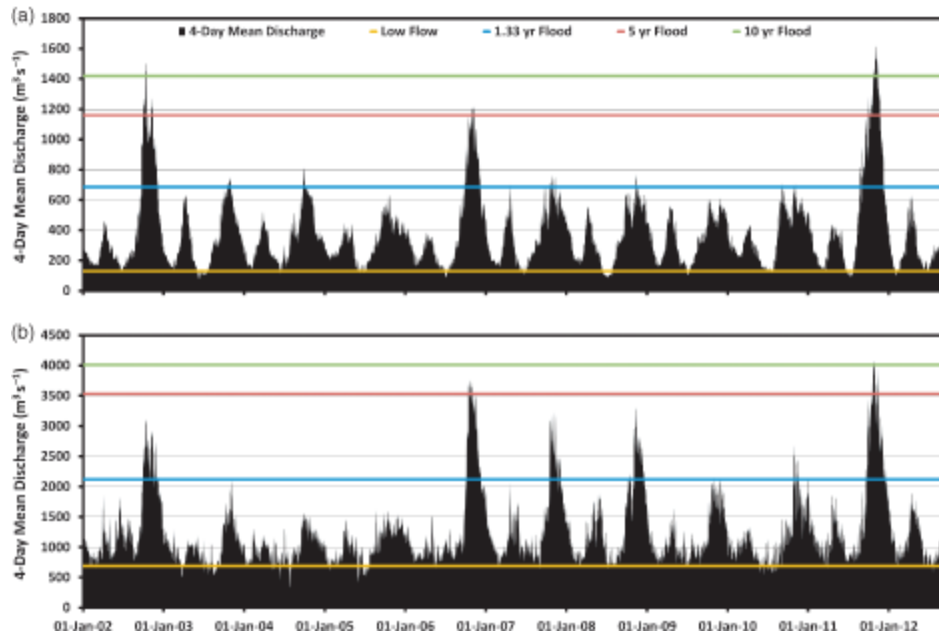


شکل ۸: پروفیل عرضی رودخانه شهر آیوتایا - تایلند



شکل ۹: پهنه بندی سیل توسط نرم افزار (فاصله نما ۵ کیلومتر)

نرم افزار با مقایسه پهنه سیل گیری شده و پهنه طبیعی رودخانه اقدام به محاسبه دبی منجر شده به مساحت آب گیری شده کرده است. به طور کل بررسی تصاویر مسیر عبور رودخانه حاکی از وقوع سیلابی با دبی اوج ۴۱۱۳,۰۱ مترمکعب بر ثانیه می باشد که در مقایسه با دبی ۴۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه ثبت شده (شکل ۱۰) از آن واقعه سیل ۲,۱ درصد اختلاف دارد. در صورتی که این سیلاب با وضعیت فعلی منطقه رخ بدهد پهنه سیل گیری شده در مقایسه با مساحت متأثر از سیل سال ۲۰۱۱ به میزان ۱۷,۶۳ درصد اختلاف دارد (کمتر گردیده است). بخشی از خطای حاصل به خاطر فاصله زمانی در بین نقشه مورد استفاده (۲۰۱۶) با زمان روی دادن سیل (۲۰۱۱) در شهر آیوتایا بوده و بخش دیگر به دلیل عدم امکان محاسبه دقیق واکنش سیل به دلیل حمل اجسام می باشد.



شکل ۴-۱۰: هیدروگراف سیل اکتبر ۲۰۱۱ شهر آیتوتایا تایلند (آون بنفیلد ۲۰۱۲)

همان گونه که در شکل (۴-۱۱) مشخص است الگوی پهنه سیل در تصویر ماهواره‌ای با نقشه پهنه‌بندی شده سیل بسیار هم‌خوانی داشته که خود بیانگر صحت بالای انجام محاسبات می‌باشد.



منابع:

- ۱- آیین‌نامه مربوط به بستر و حریم رودخانه‌ها، نهرها، مسیل‌ها، مرداب‌ها، برکه‌های طبیعی و شبکه آبرسانی، آبیاری و زهکشی، مصوب مورخ ۱۳۷۹/۸/۱۱ هیئت وزیران.
- ۲- تلوری، ع. ر. ۱۳۷۵. مدل‌های هیدرولوژی به زبان ساده. انتشارات دانشگاه تهران، ۴۰۱ ص.
- ۳- ثروتی، م.، احمدی، م.، نصرتی، ک.، مزبانی، م.، (۱۳۹۲). پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز سراب دره شهر (مطالعه موردی حوضه آبخیز سراب دره شهر). جغرافیا (فصلنامه علمی-پژوهشی انجمن جغرافیای ایران)، دوره جدید، سال یازدهم، شماره ۳۶.
- ۴- حبیبی، ح.، ۱۳۸۵. فرهنگ واژه‌های مصوب فرهنگستان، انتشارات فرهنگستان زبان و ادب فارسی، تهران.
- ۵- حسن‌لی، ع. ۱۳۸۶. دلایل تشکیل سیل و راه کارهای کاهش شدت تخریبی آن. مجموعه مقالات اولین همایش آموزشی مدیریت رواناب و سیلاب شهری، معاونت هماهنگی امور عمرانی و دفتر بازسازی حادث غیرمترقبه استانداری فارس، ۸ ص.
- ۶- حیدری، ع.، امامی، ک.، برخورداری، م.، تقی‌خان، ش.، مرادی‌فلاح، ش.، سادات میرئی، م.، (۱۳۸۵). پیش‌بینی و هشدار سیل. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، گروه کار رهیافت‌های فراگیر مدیریت سیلاب، شماره انتشار ۱۰۲.
- ۷- زارع، خ.، (۱۳۹۴). بررسی اثر تغییر کاربری اراضی در عکس‌العمل هیدرولوژیکی حوضه آبخیز شهری (مطالعه موردی حوضه آبخیز چنار راهدار، استان فارس). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی دانشگاه یزد.
- ۸- شادمانی، م.، معروفی، ص.، محمدی، ک.، سبزی‌پور، ع.، (۱۳۹۰). مدل‌سازی منطقه‌ای دبی سیلابی در استان همدان با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی استان همدان). مجله پژوهش‌های حفاظت آب‌و خاک، جلد هجدهم، شماره چهارم.
- ۹- علاء‌الدین، ک.، وطن‌خواه، ج.، افسوس، م.، بنی‌حبیب، ا.، جباری، ا.، چیتی، م.، شریفی‌فر، م.، چاوشیان، ع.، کباری، ک.، وطن‌فدا، ج.، (۱۳۸۴). راهنمای پهنه‌بندی سیل و تعیین حد بستر و حریم رودخانه. انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، نشریه شماره ۳۰۷.
- ۱۰- علیزاده، ا.، (۱۳۷۶). اصول هیدرولوژی کاربردی آستان قدس دانشگاه امام رضا (ع).
- ۱۱- فرخ‌نیا، ا.، مرید، س.، (۱۳۸۸). تحلیل عدم قطعیت مدل‌های شبکه عصبی و نرو فازی در پیش‌بینی جریان رودخانه. تحقیقات منابع آب ایران، سال پنجم، شماره ۳.
- ۱۲- لاجوردی، م.، خالدی، ش.، ستاری، ش.، (۱۳۹۲). پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبریز مردق چای (آذربایجان شرقی). نشریه علمی پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۷، شماره ۴۴.
- ۱۳- لشکری، ح.، رشیدی، ر.، (۱۳۹۲). پهنه‌بندی سیلاب رودخانه زرنه‌رود با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-RAS در محیط GIS (مطالعه موردی رودخانه زرنه‌رود واقع در آذربایجان غربی). پژوهش‌های دانش و زمین، سال سوم، شماره ۱۳.
- ۱۴- مهدوی، م.، (۱۳۷۸). هیدرولوژی کاربردی جلد ۱ و ۲ انتشارات دانشگاه تهران.
- ۱۵- نجفی، م. ر. (۱۳۸۱). سیستم‌های هیدرولوژیکی: مدل‌سازی باران رواناب (جلد اول). (ترجمه)، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۵۷۸ ص.
- ۱۶- یمانی، م.، داورانی، ز.، دادرسی، ا.، (۱۳۹۱). ارزیابی مدل منطق فازی در مقایسه با سایر مدل‌های مفهومی در پهنه‌بندی سیل‌خیزی با تأکید بر ویژگی‌های ژئومورفولوژیک، مورد شناسی حوضه داورزن (مطالعه موردی حوضه داورزن). جغرافیا و آمایش شهری- منطقه‌ای، شماره ۵.



- 17- Aon Benfield. 2012. 2011 Thailand Floods Event Recap Report. Impact Forecasting LLC, Aon Benfield: Chicago, IL.
- 18- Al-Weshah, R.A., and El-Khoury, F. 1999. Food analysis and mitigation for Petra area in Jordan. Journal of Water Resoutces Planning and Management, 170-177.
- 19- Anderson, H.L. Z.Q. Chen, M.L. Kawas and A. Feldman, 2002. Coupling HEC-HMS with atmospheric models for perediction of warershed runoff. ASCE Journal of Hydrologic, Vol. 7, Issue. 4, pp.321-318.
- 20- Chw vent, e., D. Maidment and L. Mays, 1988. Applied hydrology. MC Graw Hill Book Coompany.
- 21- Federal Emergency Management Agency. 1993. Flood Insurance Study Guidline and Specification for contactors.
- 22- Fernandez, D.S. and Lutz, M.A., 2010. Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. Engineering Geology, 111(1), pp.90-98.
- 23- Jinkang, Dua. Li, Qiana. Hanyi, Ruia. Tianhui, Zuob. Dapeng, Zhenga. And Youpeng, Xua. 2013. Assessing the effects of urbanization on annual runoff and flood events using an integrate hydrological modeling system for Qinhuai Rever basing, China. Journal of Hydrology. Volumes 464-465. Pp 127-139.
- 24- Lai, C., Shao, Q., Chen, X., Wang, Z., Zhou, X., Yang, B. and Zhang, L., 2016. Flood risk zoning using a rule mining based on ant colony algorithm. Journal of Hydrology.
- 25- River Burean Ministy of construction Manual for River Works in Japan. 1995, Japan.
- 26- Suwanwerakamtorn, R, 1994, GIS and hydrobgic modelling for management of small watersheds. ITC Journol, No. 4, pp. 343-349.
- 27- Suriya, S & Mudgal, B.V. 2012. Impact of urbanization on flooding: The thirusoolam sub watershed – A case study. Journal of Hydrology. 210-219.
- 28- Tripathi, R. Sengupta, S. Patra, A. Chang, H and Jung, I. 2004. Climate change, urban development, and community perception of an extreme flood: A case study of Vernonia, Oregon, USA. Journal of App;ied Geography. 46: 137-147.
- 29- <http://www.entekhab.ir/fa/news/44939/%D8%A2%D9%85%D8%A7%D8%B1-%D8%AA%D9%84%D9%81%D8%A7%D8%AA-%D8%B3%D9%8A%D9%84-%D8%AA%D8%A7%D9%8A%D9%84%D9%86%D8%AF-%D8%A7%D8%B2-%D9%85%D8%B1%D8%B2-600-%D9%86%D9%81%D8%B1-%DA%AF%D8%B0%D8%B4%D8%AA>
- 30- <https://paydarymelli.ir/fa/news/16828/%D9%BE%DB%8C%D8%B4-%D8%A8%DB%8C%D9%86%DB%8C-%D8%B3%DB%8C%D9%84-%D8%A8%D8%A7-%D8%B1%D9%87%DB%8C%D8%A7%D8%A8-%D8%AC%D9%87%D8%A7%D9%86%DB%8C-%D8%B3%DB%8C%D9%84>
- 31- <https://msc.fema.gov/portal>
- 32- https://en.wikipedia.org/wiki/File:2011_flooding_in_Ayutthaya_Province-EO-1_merged.jpg
- 33- https://en.wikipedia.org/wiki/2011_Thailand_floods