



شبیه‌سازی سیلاب شهری بیرجند با استفاده از مدل ARC-GIS و HEC-RAS

• زهرا زراعتکار

کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه بیرجند (نویسنده مسئول)

• فرزاد حسن پور

عضو هیئت علمی گروه مهندسی آب، دانشگاه زابل

تاریخ دریافت: فروردین ماه ۱۳۹۴ تاریخ پذیرش: خرداد ماه ۱۳۹۵

Email: rahab84.wre@gmail.com

چکیده

توسعه مناطق مسکونی و شهری در حاشیه رودخانه‌ها، تغییر کاربری اراضی زراعی به اراضی مسکونی باعث می‌گردد که رفتار هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز شهری نسبت به حوضه‌های طبیعی، غیرعادی و نامنظم باشد. در این تحقیق رفتار سیلاب درون شهری بیرجند واقع در حوضه شاهرود مطالعه گردید. حوضه شاهرود در سال‌های اخیر تغییر کاربری‌های زیاد غیر کارشناسی داشته است. در این راستا در ابتدا با توجه به تصاویر ماهواره‌ای، کاربری اراضی و بازدهی‌های میدانی شماره منحنی رواناب مدل SCS تعیین گردید. در ادامه پس از برداشت مشخصات هندسی رودخانه اصلی و سازه‌های هیدرولیکی آن نظیر پل‌ها، با استفاده از مدل HEC-HMS دبی سیلاب حوضه شبیه سازی گردید. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۱۰۰ سال به ترتیب منجر به وقوع دبی‌های اوج سیلاب به میزان ۲۰۷/۶۳ و ۴۶۳/۵۶ متر مکعب بر ثانیه می‌شوند. نتایج شبیه‌سازی سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ ساله نشان می‌دهد که این سیلاب ماکزیمم جریانی است که مقاطع و سازه‌های هیدرولیکی رودخانه، قادر به عبور آن می‌باشند، بنابراین در راستای کاهش خطرات ناشی از سیلاب در شهر بیرجند، توجه بیشتر به افزایش پتانسیل عبور سیلاب رودخانه ضروری می‌باشد.

کلمات کلیدی: تصاویر ماهواره‌ای، پهنه‌بندی سیلاب، شماره منحنی، HEC-HMS، حوضه شاهرود.

Simulation of Birjand Urban Flood Using HEC-RAS and ARC-GIS

By: Z. Zeraatkar: MSc, Department of Water Resources Engineering, University of Birjan (Corresponding Author). F. Hassanpour: Faculty Member of Water Engineering, University of Zabol.

Residential and urban development in margins of rivers and floodplains have Changed rangeland and agricultural land to residential and industrial land then the hydrological behavior of watershed has been unusual. In this study, the behavior of urban flood of Birjand in the shahroud watershed was studied. The shahroud watershed has had a lot of non-expert land use change in recent years. In this way initially runoff curve number of SCS model was determined using satellite images, land use and field visits. In the continue, flood discharge was simulated using HEC-HMS model after surveying geometrical characteristics of the main river and its hydraulic structures such as bridges. The results of the simulation show that 25 and 100-year return period leading to the occurrence of peak flood discharge amount of 207.63 and 463.56 cubic meter per second respectively. Results of the simulated flood with a return period of 25 years show that this flood is maximum flow that cross sections and hydraulic structures of the river are able to cross, So in order to reduce the risks of flooding in the city of Birjand more attention to the increased potential for flood passing is essential.

Keywords: Satellite Images, Floodplain Determination, Curve Number, HEC-HMS, Shahroud Watershed.

مقدمه

سیل، یکی از پدیده‌های پیچیده و مخرب طبیعی است که هر ساله خسارات فراوانی را به دنبال دارد. وقوع بارش‌های رگباری از عوامل طبیعی و تجاوز به حریم رودخانه‌ها، تغییر کاربری غیر اصولی اراضی، تخریب مراتع و جنگل‌ها، مسدود شدن یا انحراف رودخانه‌ها، ساخت و سازهای صورت گرفته در حریم رودخانه‌ها و ... از جمله عوامل مصنوعی مؤثر در سیل‌خیزی می‌باشند. براساس آمار ارائه شده توسط وزارت نیرو در ۵۰ سال اخیر تعداد و بزرگی سیل‌ها در کشور به شدت رو به افزایش بوده است (زینی‌وند و همکاران ۱۳۸۵).

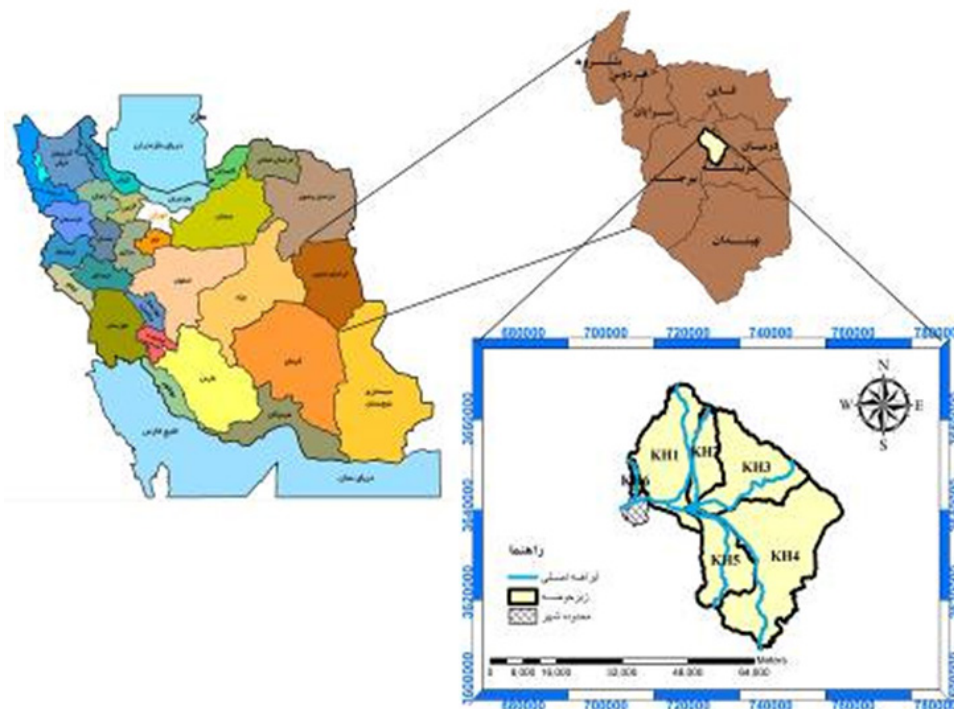
یکی از روش‌های مدیریت و کنترل سیل در حوضه‌ها، مدل‌سازی و پیش‌بینی سیل قبل از وقوع آن می‌باشد. محاسبه حجم رواناب حاصل از بارندگی رگباری با استفاده از شماره منحنی رواناب یک روش شناخته شده بین المللی است. نتایج استفاده از این روش نشان داده که قادر است بر روی هر نوع حوضه آبخیز شهری، طبیعی، مختلط (ترکیبی از شهری و طبیعی) به کار رود. با توجه به اهمیت موضوع سیل ضرورت دستیابی به راه‌های مقابله با خسارت‌های این بلای طبیعی به شدت احساس می‌شود که این مسئله با اعمال یک مدیریت جامع بر روی حوضه‌ها و رودخانه‌های اصلی و سیلاب دشت‌های مناطق مختلف کشور تا حدود زیادی قابل اجرا بوده و به نظر می‌رسد با این روش می‌توان از خسارت‌های مالی و جانی در حد چشمگیری کاست (امامی دهخوارقانی ۱۳۹۰). بررسی احتمال سیل‌گرفتنی مناطق مسکونی و تجاری حاشیه رودخانه، شناسایی مناطق با خطر سیل‌گیری بالا، از مهمترین اهداف پهنه‌بندی سیلاب می‌باشد که از نتایج آن می‌توان در ارائه برنامه مدیریتی جهت مقابله با سیل و کاهش خسارات آن در محدوده مورد بررسی و نیز تدوین الگوی زمانی

مناسب در مورد سیل‌های مشاهده شده اشاره نمود (جبلی‌فرد ۱۳۸۱). از جمله تحقیقات مرتبط انجام شده در سال‌های اخیر در خارج و داخل کشور می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

پرابوژان و تاناوود (۲۰۰۰)، به پهنه‌بندی خطر و ریسک سیل در جنوب تایلند در محیط نرم‌افزاری GIS پرداختند. همچنین در این تحقیق عامل‌های هیدرولوژیکی در زمینه خطر ناشی از سیل را نیز مطرح نمودند. منصور (۲۰۰۲)، در تحقیقی با استفاده از ترکیب GIS، سنجش از دور (RS) و مدل هیدرودینامیکی MIKE ۱۱، مدلی را برای هشدار زودهنگام سیل بر روی رودخانه لنگات واقع در کشور مالزی ارائه کرد و به بررسی دقت نقشه‌های پهنه سیل‌گیر پرداخت. تاناوود و همکاران (۲۰۰۴)، بحث خطر سیل را در شهرهایی با گسترش در اطراف رودخانه‌ها مطرح نمود. یالسن و آکورک (۲۰۰۵)، نیز با مدل‌سازی چند حوضه در ترکیه سعی بر آسیب‌سنجی این حوضه‌ها با استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره داشتند. نبل (۲۰۰۵)، با تلفیق مدل HEC-RAS و HEC-HMS در GIS در حوضه San Antonio مدل منطقه‌ای برای سیلاب ارائه نمودند و نشان دادند استفاده همزمان از مدل‌های یاد شده دقت تخمین و پیش‌بینی سیلاب را افزایش می‌دهد و این مدل‌ها کارایی لازم را دارا می‌باشند. انسی تکلی و همکاران (۲۰۰۶)، با استفاده از نقشه‌های ماهواره لندست TM و شاخص NDVI با کمک ابزارهای GIS و RS نقشه کاربری اراضی و تراکم پوشش گیاهی را تعیین نمودند. پس از تهیه نقشه شماره منحنی رواناب، اثر تغییرات شماره منحنی روی دبی سیلاب حوضه آبریز مشخص و مشاهده نمودند که افزایش مقدار کم شماره منحنی رواناب سبب افزایش چشمگیر دبی سیلابی خواهد شد. کانینگ و همکاران (۲۰۰۸)، از مدل SCS

با GIS و RS و شماره منحنی مشاهده‌ای و اندازه گیری شده از رگبارها مورد مقایسه قرار گرفت که نتایج نشان دهنده‌ی دقت ۸۸ درصدی تهیه شماره منحنی رواناب محاسبه شده است. حسین‌زاده و همکاران (۱۳۸۹)، پهنه‌بندی سیلاب و نقش مدیریتی آن را روی اراضی شهری محدوده رودخانه سجادرود شهر گلوگاه مورد بررسی قرار دادند و پس از مشخص کردن دبی رودخانه در دوره بازگشت‌های مختلف، نقشه‌های پهنه‌بندی را ترسیم کردند. حسن زاده و همکاران (۱۳۸۹)، نقش مدیریتی حوضه‌های آبریز را در حوضه‌های رودخانه گرگانرود مورد بررسی قرار دادند که تلفیق مدل‌های HEC-Geo-HMS و HEC-Geo-RAS می‌تواند برآورد دقیقی از میزان خسارات ناشی از سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف ارائه دهد. حداد و همکاران (۱۳۹۲)، به ارائه راهکاری به منظور کاهش خسارات ناشی از وقوع سیلاب با استفاده از روش سازه‌ای پرداختند و نیز پهنه سیلاب را در اطراف رودخانه‌ی صرم و خورآباد استان قم برای طول تقریباً ۱۰ کیلومتر با دبی حداکثر سیلاب برای دوره بازگشت‌های ۵۰ و ۱۰۰ ساله بررسی نمودند. محمدی و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS و نرم‌افزار HEC-GeoRAS پهنه‌بندی خطر سیلاب برای مناطق مسکونی رودخانه نکادر شرق استان مازندران را انجام دادند و در نهایت خسارات مورد انتظار سالیانه را توسط نرم‌افزار HEC-FDA بدست آوردند. کارآموز و همکاران در سال ۲۰۱۴ پهنه‌بندی سیلاب رودخانه Bronx در شهر نیویورک را با استفاده از HEC-RAS و Arc-GIS انجام دادند.

برای شبیه‌سازی بارش رواناب در حوضه رودخانه Wenyu در پکن استفاده کردند و نشان دادند که مدل SCS کارایی لازم برای شبیه‌سازی بارش-رواناب را دارد. کوک و مرواده (۲۰۰۹)، به مطالعه در زمینه اثر داده‌های توپوگرافی و موقعیت هندسی بر نقشه‌های سیلاب با استفاده از HEC-RAS و WMS پرداختند و نتیجه گرفتند پیش‌بینی آب‌گرفتگی سیل و تنوع نقشه‌های مربوط به سیل‌گرفتگی با عوامل مختلف، بوسیله WMS در مقایسه با HEC-RAS در این مناطق مورد مطالعه، کمتر بود. مجیدی و شاهدهی (۲۰۱۲)، به مطالعه شبیه‌سازی فرآیند بارندگی-رواناب در حوضه آبنما (منوجان) واقع در جنوب ایران با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS پرداختند و برای شبیه‌سازی بارش رواناب از پنج رگبار استفاده نمودند. نتایج حاکی از آن بود که تفاوت واضحی بین جریان اوج مشاهده شده و شبیه‌سازی شده وجود داشته و کالیبراسیون مدل را با استفاده از روش بهینه‌سازی و تجزیه و تحلیل حساسیت انجام دادند. رضوی و همکاران (۱۳۸۵)، برای تهیه نقشه شماره منحنی رواناب و حجم رواناب در حوضه آبریز امامه در شمال تهران، از GIS و RS استفاده نمودند. نقشه کاربری اراضی منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره لندست TM (۱۹۹۱) آماده و نقشه گروه‌های هیدرولوژی خاک نیز به صورت میدانی و براساس نفوذپذیری، شیب و فاکتورهای مؤثر دیگر بر جنس خاک مشخص و به کمک این نقشه‌ها و با استفاده از روش‌های همپوشانی لایه‌ای در نرم‌افزار ILWIS، جدول طبقه‌بندی CN تهیه شد. در نهایت شماره منحنی به دست آمده



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه (حوضه مرگ) در حوضه آبریز کرخه و ایران

جدول ۱: پارامترهای هواشناسی حوضه آبخیز شهری بیرجند

نام حوضه	حداکثر بارندگی سالانه (میلی متر)	حداقل بارندگی سالانه (میلی متر)	دمای متوسط سالانه در حوضه (درجه سانتیگراد)	دمای متوسط سالانه در ارتفاعات (درجه سانتیگراد)
شاهرود	۲۸۱/۳	۶۲/۵	۱۶/۵	۱۰/۴

منبع: اداره کل هواشناسی استان خراسان جنوبی

مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

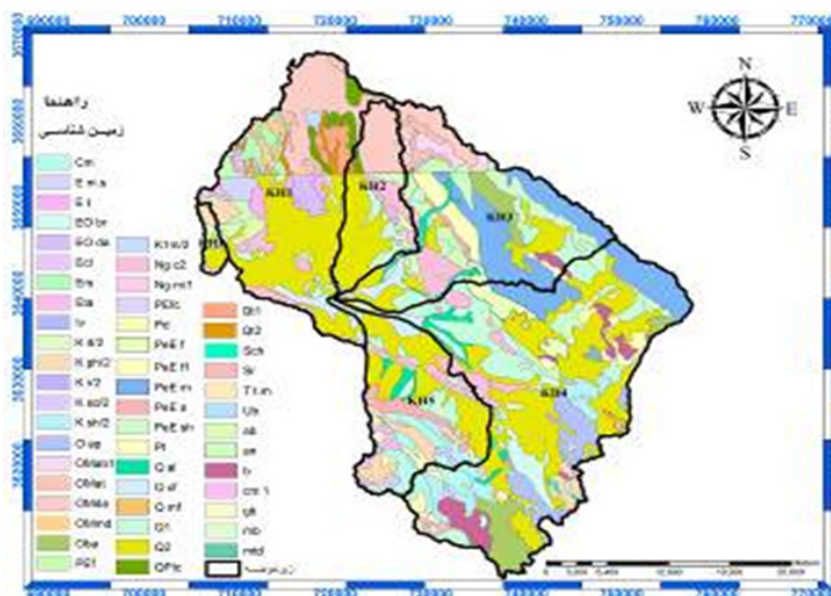
منطقه مورد مطالعه در شرق کشور و در محدوده جغرافیایی $11^{\circ} 59'$ تا $44^{\circ} 59'$ طول شرقی و $7^{\circ} 32'$ تا $34^{\circ} 32'$ عرض شمالی قرار گرفته است. از نظر تقسیمات سیاسی این حوضه در شهرستان‌های بیرجند، سربیشه و درمیان قرار دارد. از نظر تقسیمات حوضه‌های آبخیز کشور، این حوضه جزء حوضه کویر لوت محسوب می‌گردد. شکل ۱ موقعیت حوضه و زیر حوضه‌ها را در ایران، استان خراسان جنوبی و در شهر بیرجند نشان می‌دهد. ایستگاه‌های سینوپتیک بیرجند، باران‌سنجی بیرجند، تبخیرسنجی بیرجند و اسفزار در داخل حوضه آبخیز شهر بیرجند قرار دارد که خوشبختانه از نظر طول دوره آماری و موقعیت مکانی و ارتفاعی در جایگاه مناسبی قرار دارند. در جدول ۱ پارامترهای هواشناسی حوضه آبخیز شهری بیرجند ارائه شده است.

نتایج نشان داد که وسعت پهنه سیلاب در پروفیل ۱۰۰ ساله می‌تواند تا ۵۰۰ فوت برسد.

در سال‌های اخیر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) توانسته است به عنوان یک ابزار کلیدی در تهیه نقشه‌های پهنه بندی سیلاب مطرح باشد. بهره‌گیری تلفیقی از مدل‌های HEC-Geo-HMS و HEC-Geo-RAS می‌تواند با فراهم نمودن امکان شبیه‌سازی سطح آب نقش بسزایی در مدیریت سیلاب داشته باشد. در سال‌های اخیر تغییرات زیاد کاربری اراضی حوضه رودخانه شاهرود شهرستان بیرجند و همچنین ساخت و سازهای غیر اصولی تجاری و مسکونی در حریم رودخانه باعث افزایش خطر سیل‌گیری مناطق مجاور رودخانه گردیده است از این روی، این تحقیق با هدف شبیه‌سازی سیلاب‌های حوضه شهری بیرجند و تعیین پهنه‌های سیلابی آن‌ها در مناطق مسکونی از طریق تلفیق مدل‌های HEC-Geo-Ras، HEC-RAS و Arc GIS انجام گردید.

جدول ۲- مشخصات مورفولوژی زیر حوضه‌های شاهرود

نام زیر حوضه	مساحت (km^2)	محیط (km)	حداکثر ارتفاع (m)	حداقل ارتفاع (m)	شیب حوضه (%)	طول رودخانه اصلی	شیب رودخانه اصلی (%)	زمان تمرکز (hr)
Kh ₁	۳۴۱	۱۱۰	۲۳۱۷	۱۴۹۱	۶	۳۹	۱/۱	۴/۹
Kh ₂	۱۱۹	۶۲	۲۳۱۷	۱۵۲۸	۵	۲۷	۱/۴	۳/۳
Kh ₃	۳۲۱	۱۰۷	۲۴۴۶	۱۵۲۸	۶	۳۶	۱/۴	۴/۳
Kh ₄	۶۰۷	۱۶۷	۲۷۰۶	۱۵۲۸	۵	۴۷	۰/۲۵	۵/۴
Kh ₅	۲۰۱	۷۸	۲۶۱۵	۱۵۲۲	۷	۳۴	۰/۲۶	۳/۷
Kh ₆	۱۵	۲۱	۲۱۱۶	۱۴۶۸	۷/۱	۱۲	۳/۶	۱/۴



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی حوضه شاهرود.

تعیین مشخصات مورفولوژی حوضه

با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور و امکانات نرم‌افزار ARC-GIS، مرز هیدرولوژیکی حوضه‌های مشرف به شهر بیرجند مشخص و مدل رقومی ارتفاع حوضه با قدرت تفکیک مکانی ۱۵ متر در محیط ARC-GIS تهیه گردید. سایر خصوصیات فیزیوگرافی مورد نیاز از مدل رقومی ارتفاع استخراج و در جدول ۲ ارائه شده است.

زمین‌شناسی حوضه

سازندهای زمین‌شناسی نقش بسیار کلیدی بر رواناب و سیلاب حوضه دارد که در این تحقیق با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور و امکانات نرم‌افزار ARC-GIS، سازندهای زمین‌شناسی محدوده حوضه رقومی گردید. شکل ۲ نقشه سازندهای زمین‌شناسی حوضه آبخیز شاهرود را نشان می‌دهد. واحدهای سنگ چینه‌شناسی در این ناحیه با توجه به شواهد سنگ‌شناسی، فسیل‌شناسی و توالی رویدادها تفکیک شده و در سه گروه کلی آمیزه افیولتی، رسوبات رخساره فلیش و سنگ‌های آذرآواری و نهشته‌های جوان تر طبقه‌بندی گردیده‌اند.

تعیین کاربری اراضی حوضه

با استفاده از تصاویر ماهواره لندست (سنجنده ETM+) و تکنیک‌های نرم‌افزار ENVI ۴,۳، نقشه کاربری اراضی اولیه تولید و با انجام بازدیدهای میدانی واسنجی گردید و در نهایت نقشه کاربری اراضی بدست آمده مورد استفاده قرار گرفت. جدول ۳ مساحتی از حوضه آبریز بر حسب درصد را نشان می‌دهد که توسط هر یک از کاربری‌های اراضی در هر زیر حوضه اشغال شده‌اند.

نرم افزارهای مورد استفاده

نرم‌افزار ArcGIS

جهت انجام عملیات مختلف بر روی داده‌هایی که مشخصه مکانی (فضایی) آنها یک مشخصه اصلی محسوب می‌گردد، از GIS بهره گرفته می‌شود. به دلیل رابطه موجود بین مشخصه مکانی نقاط سطح زمین و خاک، این سیستم‌ها با عناوینی همچون سیستم اطلاعات زمینی، سیستم اطلاعات خاک و سیستم اطلاعات منابع طبیعی نیز نامیده می‌شوند که از میان آن‌ها، عنوان GIS در محافل علمی متداول‌ترین می‌باشد (فرخنده ۱۳۷۳).

مدل HMS-HEC

مدل کامپیوتری HEC-HMS نسخه جدید مدل HEC-1 برای شبیه‌سازی بارش-رواناب است که توسط مرکز هیدرولوژی مهندسی آمریکا در سال ۱۹۶۸ ارائه شده است.

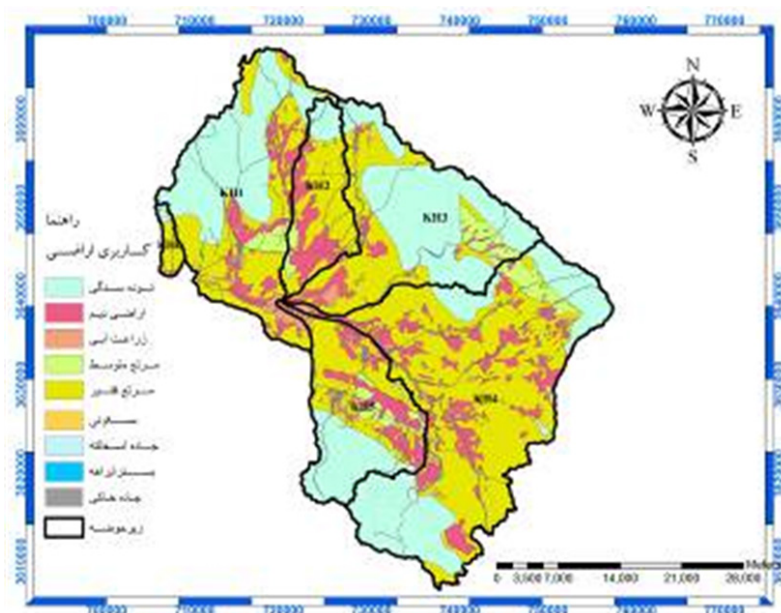
این مدل، حوضه آبخیز را به عنوان یک سیستم به هم پیوسته با مؤلفه‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی نمایش می‌دهد. هر مؤلفه مدل یک جنبه از فرآیند بارش-رواناب را در داخل بخشی از حوضه که معمولاً به عنوان زیرحوضه در نظر گرفته می‌شود، شبیه‌سازی می‌کند.

مدل HEC-RAS

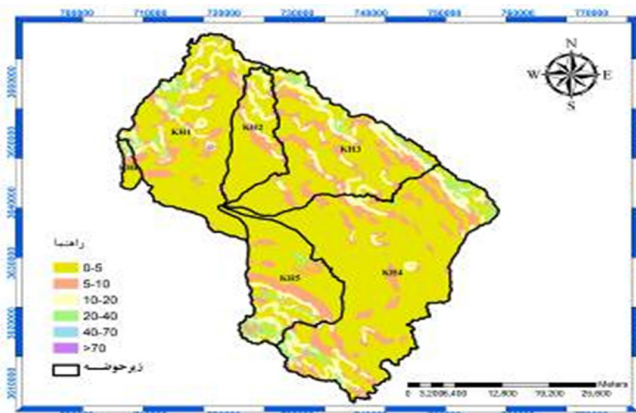
نرم‌افزار HEC-RAS به منظور انجام محاسبات هیدرولیکی یک‌بعدی برای شبکه کاملی از کانال‌های طبیعی و مصنوعی طراحی شده است و دارای قابلیت‌های مختلف و توانایی گرافیکی در مورد شبیه‌سازی پدیده‌های رودخانه‌ای است و به خوبی می‌تواند سازه‌های عرضی همچون پل، سدهای انحرافی و مخزنی و سرریز را مدل نماید، همچنین مدلی یک‌بعدی برای جریان دائمی و غیردائمی می‌باشد.

جدول ۳- درصد مساحت کاربری‌های اراضی حوضه آبخیز شاهرود در نقشه‌های حاصل از تصاویر لندست

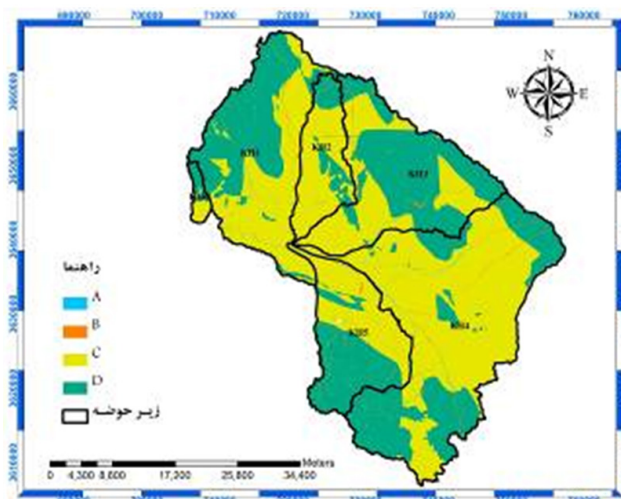
کاربری	Kh1	Kh2	Kh3	Kh4	Kh5	Kh6
	%	%	%	%	%	%
زراعت آبی	۴/۱۸	۱/۷۲	۳/۵۵	۳/۲۱	۶/۰۶	۰/۱۳
اراضی دیم	۱۳/۵۴	۲۸/۰۳	۶/۵۵	۱۴/۹۰	۱۰/۱۳	۱۱/۴
توده سنگی	۳/۱۴	۱۲/۶۹	۲۸/۱۶	۲۴/۹۷	۲۲/۵۷	۱۹/۹
مسکونی	۰/۳۵	۰/۱۸	۰/۲۶	۰/۳۰	۰/۵۲	۲/۷۳
مرتع متوسط	۳/۷۹	۴/۴۵	۸/۱۹	۴/۶۸	۱۰/۷۳	۰/۱۳
مرتع فقیر	۷۳/۲۱	۵۱/۰۳	۵۱/۶۹	۵۰/۱۴	۴۷/۴۵	۶۰/۶۸
بستر آبراهه	۰/۷۳	۱/۰۹	۰/۸۲	۰/۸۸	۱/۱۷	۳/۶۷
جاده آسفalte	۰/۲۴	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۲۸	۰/۲۸
جاده خاکی	۰/۸۲	۰/۶۹	۰/۷۱	۰/۷۹	۱/۰۹	۱/۰۸
جمع کل	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰



شکل ۳- نقشه کاربری اراضی حوضه شاهرود



شکل ۴- نقشه شیب حوزه شاهرود



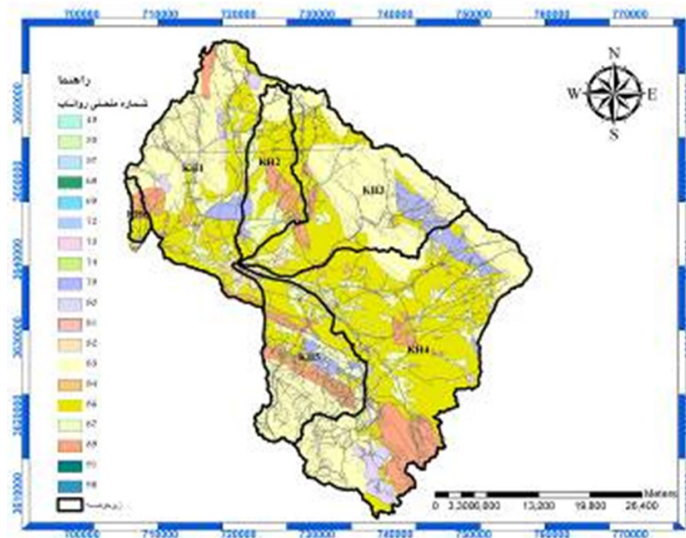
شکل ۵- نقشه گروه هیدرولوژیک خاک حوزه شاهرود

جدول ۴: جدول مساحت گروه‌های هیدرولوژیک زیرحوضه‌های آبخیز شاهرود

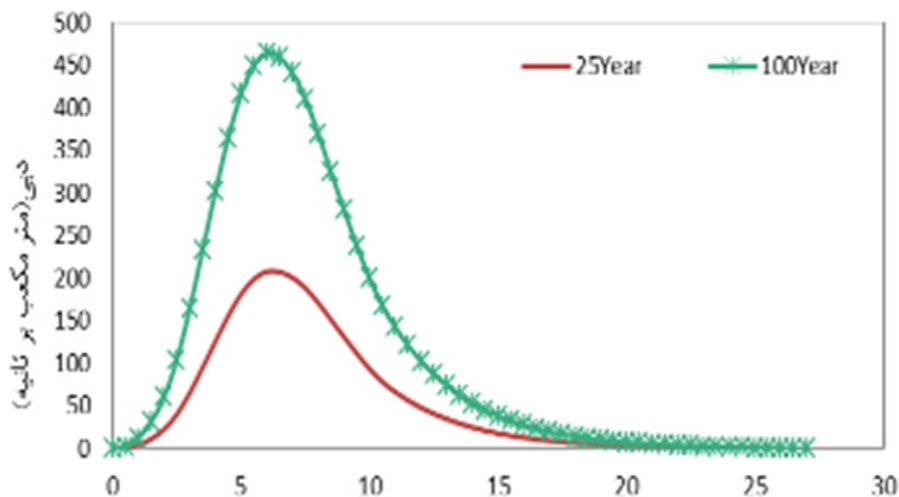
کاربری	Kh ₁	Kh ₂	Kh ₃	Kh ₄	Kh ₅	Kh ₆
	درصد	درصد	درصد	درصد	درصد	درصد
A	۰/۲۳	۰	۰/۱۳	۰/۴۰	۰/۲۶	۰
B	۰/۴۳	۱/۰۵	۰/۶۴	۰/۴۲	۰/۸۷	۰
C	۵۰/۹۸	۷۳/۶۹	۴۲/۱۶	۶۷/۲۸	۴۹/۴۳	۴۸
D	۴۸/۳۶	۲۵/۲۶	۵۷/۰۷	۳۱/۹۰	۴۹/۴۴	۵۲
جمع کل	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

ENVI، ۵۰ نمونه کاملاً تصادفی بر روی نقشه طبقه‌بندی شده، انتخاب گردید و برای اینکه همه کاربری‌ها مورد ارزیابی قرار گیرند، ۱۶ نمونه تصادفی متعادل شده دیگر به طریقی مشخص شدند که از هر یک از کاربری‌ها به طور مساوی ۲ نمونه انتخاب شده باشد تا صحت این نمونه‌ها که با واقعیت‌های زمینی مقایسه می‌شوند، مورد تأیید قرار گیرد.

همانطور که مشاهده می‌گردد کاربری مرتع فقیر بیشترین مساحت حوضه را به خود اختصاص داده است. شکل ۳ نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز شاهرود را نشان می‌دهد. نتایج طبقه‌بندی نشان می‌دهد که صحت کلی و ضریب کاپا حاصل از محاسبه صحت در نقشه کاربری اراضی به ترتیب برابر ۰/۸۵ و ۰/۷۹/۴ می‌باشد. برای برآورد صحت نقشه طبقه‌بندی شده کاربری اراضی با استفاده از نرم افزار



شکل ۶- نقشه شماره منحنی رواناب حوضه شاهرود



شکل ۷- هیدروگراف سیلاب خروجی در دوره بازگشت‌های مورد نظر

تعیین گروه‌های هیدرولوژیکی خاک

گروه هیدرولوژیکی خاک اثر مهمی روی تخمین ارتفاع رواناب می‌گذارد و خاک‌های مختلف، توانایی ایجاد رواناب متفاوتی دارند. برای تهیه نقشه گروه هیدرولوژیکی خاک از تلفیق نقشه اراضی کم شیب با نقشه‌های زمین‌شناسی و کاربری اراضی و با توجه به توزیع بافت خاک و نقشه ژئومورفولوژی حوضه استفاده گردید که در شکل ۵

تهیه نقشه شیب

با کمک مدل رقومی ارتفاع و با استفاده از نرم افزار ARC-GIS نقشه رستری شیب تهیه شده و برای تبدیل به ساختار بردار، نقشه شیب در ۶ طبقه کلاس بندی مجدد شده است. شکل ۴ نقشه شیب حوضه آبخیز شاهرود را نشان می‌دهد.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2)$$

در این روابط، S ضریب نگهداشت سطحی، Q ارتفاع رواناب (میلیمتر)، P ارتفاع بارندگی (میلیمتر) و CN شماره منحنی رواناب است. شماره منحنی رواناب حاصله، برای شرایطی است که خاک در وضعیت رطوبتی متوسط باشد یا بارندگی در زمانی صورت گیرد که قبل از آن باران دیگری باریده و خاک حوضه مرطوب باشد در غیر اینصورت باید شماره منحنی رواناب با استفاده از روابط ۳ و ۴ به ترتیب برای وضعیت رطوبت خشک و مرطوب تصحیح شود (میلین ۲۰۰۳).

$$CN_I = \frac{2.4CN_{II}}{10 - 0.058CN_{II}} \quad (3)$$

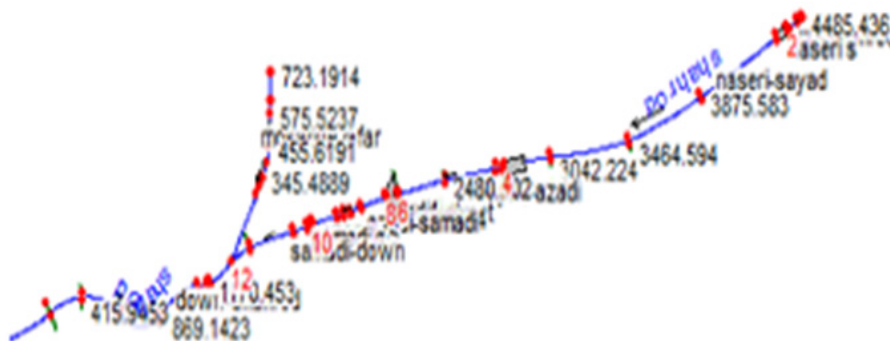
ارائه شده است.

جدول ۴ مساحت تحت پوشش هر یک از گروه‌های هیدرولوژیکی را در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهند.

تعیین شماره منحنی رواناب

در این تحقیق با استفاده از نقشه کاربری اراضی، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، زمین‌شناسی، شیب و بازدهای میدانی با کمک الحاقیه CN TOOLS شماره منحنی رواناب برای هر زیرحوضه با استفاده از روابط ۱ و ۲ محاسبه و نقشه شماره منحنی رواناب حوضه تهیه شده است.

$$Q = \frac{(p - 0.2s)^2}{p + 0.8s} \quad (1)$$



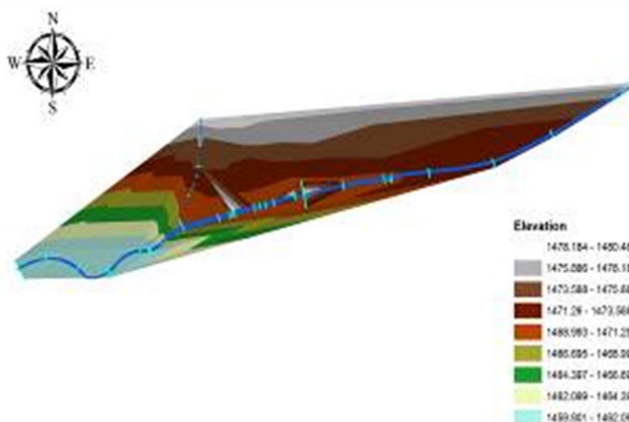
شکل ۸- پلان شماتیک و موقعیت مقاطع عرضی رودخانه شاهرود

محاسبه سیلاب

مدل HEC-HMS با ترکیب مولفه‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی، پس از محاسبات لازم اقدام به محاسبه هیدروگراف می‌نماید. بنابراین با استفاده از مقادیر شماره منحنی رواناب بدست آمده، مقادیر تلفات اولیه، زمان تأخیر و زمان تمرکز حوضه نیز به عنوان پارامترهای اصلی مدل HEC-HMS محاسبه گردید.

$$CN_{III} = \frac{23CN_{II}}{10 - 0.013CN_{II}} \quad (4)$$

در این روابط، CN_I ، CN_{II} و CN_{III} به ترتیب معرف شماره منحنی با توجه به شرایط رطوبت پیشین خاک: خشک، متوسط و مرطوب می‌باشد. شکل ۶ نقشه شماره منحنی رواناب حوضه آبخیز شاهرود را در شرایط رطوبتی متوسط نشان می‌دهد.



شکل ۹- TIN منطقه مورد مطالعه به همراه رودخانه و مقاطع عرضی

و پوشش گیاهی سواحل، ضریب زبری برای کانال اصلی و سیلاب دشت‌ها با توجه به جدول ضریب زبری مانینگ چاو تعیین گردید. در راستای شبیه‌سازی جریان، ابتدا پلان و مقاطع عرضی رودخانه شاهرود با استفاده از نرم‌افزار HEC-GEO-RAS از محیط GIS به مدل HEC-RAS انتقال داده شد و پس از ویرایش طرح شماتیک سیستم رودخانه، داده‌های هندسی سازه‌های هیدرولیکی مسیر نظیر پل‌ها به مدل اضافه گردید. در بازه مورد مطالعه ۳۷ مقطع عرضی مورد تحلیل قرار گرفت. هر مقطع عرضی دارای یک نام کانال، یک نام بازه، یک ایستگاه کانال، یک توصیف و ضریب زبری مانینگ می‌باشد که مستقیماً از HEC-GEO-RAS به نرم‌افزار انتقال داده شده‌اند. سپس شبیه‌سازی جریان متغیر تدریجی در شرایط دائمی با استفاده از روش گام استاندارد انجام پذیرفت. شکل ۸ پلان شماتیک و موقعیت مقاطع عرضی رودخانه شاهرود را نشان می‌دهد. با داشتن مشخصات ژئومتریک بازه‌های مورد نظر (شامل مختصات نقاط در هر یک از مقاطع عرضی و شیب کف رودخانه در هر بازه) و ضریب مانینگ، پهنه‌ی خطر سیل به ازاء مقادیر دبی سیل در دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۱۰۰ ساله از برنامه HEC-RAS و الحاقیه HEC-GEO-RAS و نرم‌افزار ARC-GIS محاسبه گردید.

با توجه به عدم وجود ایستگاه هیدرومتری در منطقه مورد مطالعه، از اطلاعات همزمان بارش به وقوع پیوسته در تاریخ ۱۱ فروردین ماه ۱۳۸۸ و سیلاب محاسباتی به روش مانینگ موجود در آرشیو شرکت آب منطقه‌ای خراسان جنوبی، استفاده گردیده و پس از آماده شدن پارامترهای ورودی مدل HEC-HMS، مدل مزبور اجرا گردید و واسنجی مدل با فرض انتخاب بهترین پارامترها بر کم بودن درصد خطای پیک صورت پذیرفت. هیدروگراف خروجی مدل HMS-HEC برای رودخانه شاهرود در دوره بازگشت‌های مورد نظر در شکل ۷ ارائه شده است.

پهنه‌بندی سیلاب

برای تعیین پهنه‌های سیلاب در این تحقیق ابتدا با نقشه‌برداری از مقاطع رودخانه در داخل شهر با استفاده از دوربین توتال، مترکشی و همچنین اطلاعات موجود در آرشیو شهرداری بیرجند، مقاطع رودخانه، ابعاد کانال‌ها، پل‌ها، کالورت‌ها و مسیر آن‌ها تعیین گردید. سپس جهت تعیین ضریب زبری مانینگ، ابتدا با انجام عملیات صحرائی، تمامی خصوصیات بازه‌ها و مقاطع عرضی در ساحل چپ، راست و بستر اصلی رودخانه به طور جداگانه یادداشت و از آن‌ها عکس‌برداری گردیده و سپس با توجه به خصوصیات مورفولوژیکی و تغییرات بستر

جدول ۵- میانگین وزنی شماره منحنی رواناب در هر زیرحوضه

میانگین وزنی		نام زیرحوضه
CNI	CNII	
۷۱/۱۹	۸۵/۴۷	Kh ₁
۷۲/۱۷	۸۶/۰۶	Kh ₂
۷۱/۳۰	۸۵/۵۴	Kh ₃
۷۱/۴۳	۸۵/۶۲	Kh ₄
۷۱/۳۷	۸۵/۵۸	Kh ₅
		Kh ₆
۷۳/۴۷	۸۶/۸۳	

می‌نماید لذا با انجام عملیات میدانی در اطراف رودخانه، طول مسیر هر کاربری اراضی مشخص گردید تا در برآوردهای ریالی بتوان از آن استفاده کرد.

نتایج و بحث

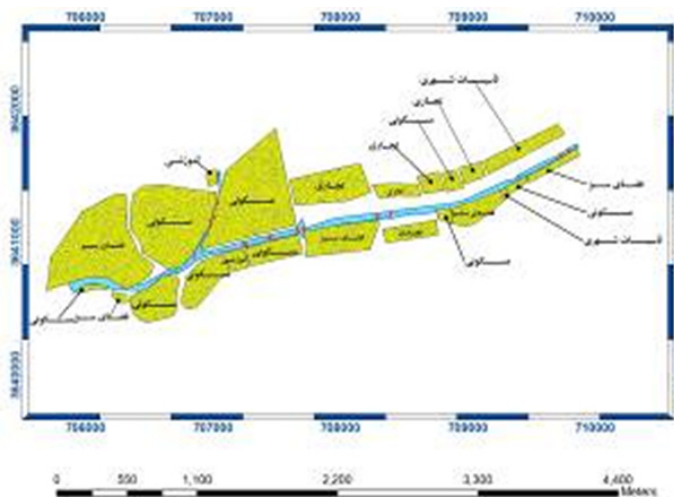
با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش از دور، نقشه

نتیجه کاربرد الحاقیه HEC-GEO-RAS تهیه شبکه نامنظم مثلی بازه مورد نظر می‌باشد که به عنوان پایه استخراج خصوصیات هندسی بازه در مدل HEC-RAS می‌باشد که در شکل ۹ نشان داده شده است.

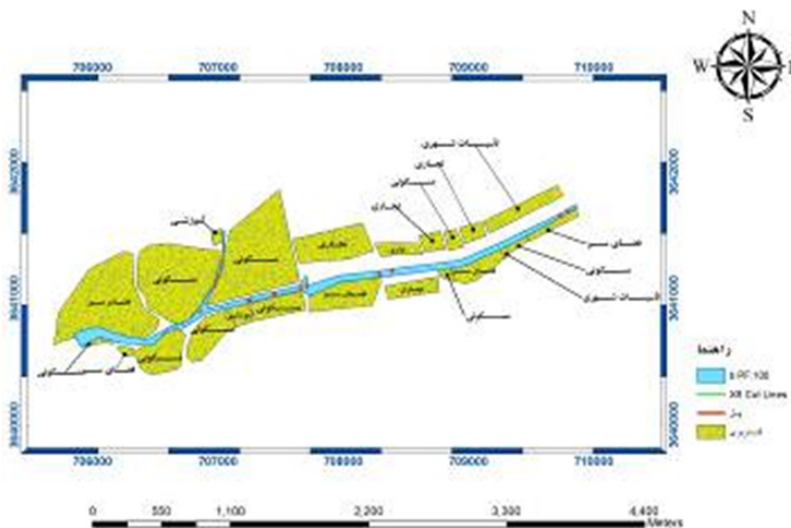
با توجه به اینکه در مواقع سیلابی جریان آب وارد دشت سیلابی اطراف خود شده و خسارات جانی، مالی محسوس و نامحسوس وارد

حوضه آبخیز و به کمک جدول SCS، شماره منحنی برای هر تعداد پیکسل حوضه تعیین گردید. بنابراین با توجه به اینکه بیش از ۸۵ درصد مساحت حوضه دارای شماره منحنی رواناب بالاتر از ۸۰ بوده، بنابراین این حوضه می‌تواند دارای سیلاب‌های بزرگ باشد یا به عبارت دیگر مؤلفه‌هایی که باعث بالا رفتن شماره منحنی می‌شوند شرایط حوضه را به سمت سیلابی شدن و وقوع سیلاب‌های آبی سوق می‌دهند.

کاربری اراضی حوضه شاهرود تهیه و مشخص گردید که مرتع فقیر و اراضی توده سنگی بیشترین وزن را در این نقشه به خود اختصاص داده‌اند. با توجه به شکل ۵ و با تعیین مساحت گروه‌های هیدرولوژیکی حوضه شاهرود، گروه هیدرولوژیکی C با ۵۷ درصد بیشترین و گروه هیدرولوژیکی A با ۰/۲۷ درصد کمترین وسعت را در حوضه مورد مطالعه دارا می‌باشد. پس از تهیه نقشه‌های کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک



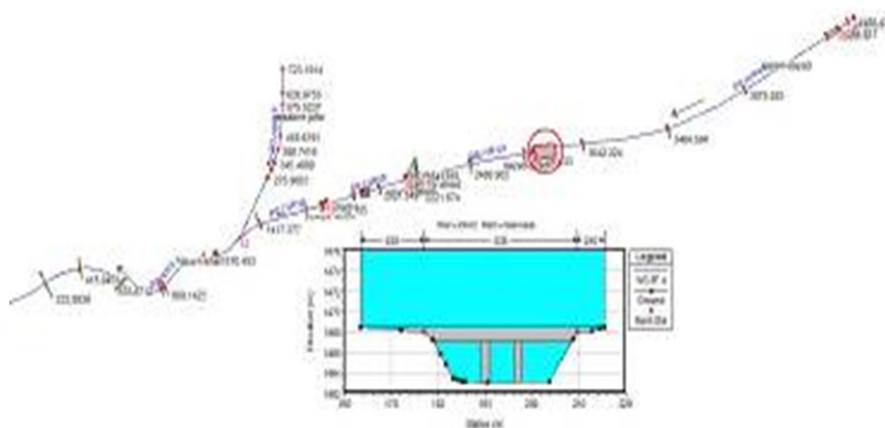
شکل ۱۱- پهنه سیلاب رودخانه شاهرود در دوره بازگشت ۲۵ سال



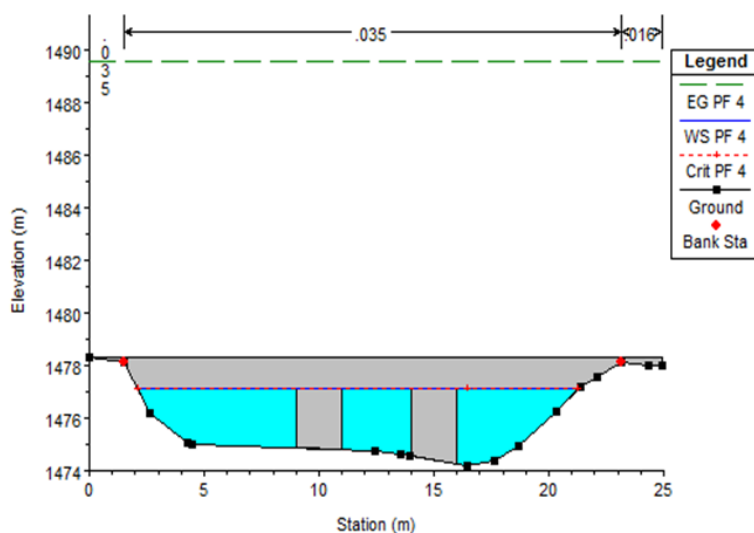
شکل ۱۰- پهنه سیلاب رودخانه شاهرود در دوره بازگشت ۱۰۰ سال

شماره منحنی رواناب زیر حوضه‌های بدست آمده به کمک روش SCS در وضعیت رطوبتی متوسط و خشک را نشان می‌دهد. اجراي مدل HEC-HMS برای رگبارهای با دوره بازگشت ۲۵ و ۱۰۰ سال به ترتیب منجر به وقوع دبی‌های اوج سیلاب به میزان ۲۰۷/۶۳ و ۴۶۳/۵۶ متر مکعب بر ثانیه شده است.

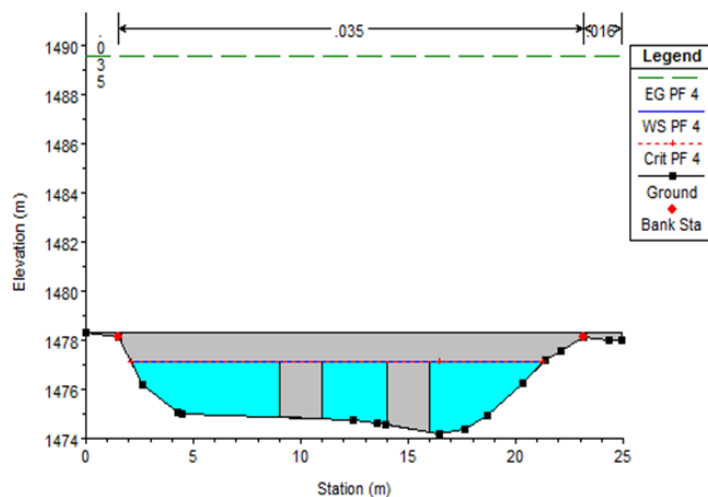
با توجه به شکل ۶ مناطق با شماره منحنی زیاد به دلیل پایین بودن توان ذخیره آب، دارای ضریب نگهداشت سطحی کم و توان تولید رواناب زیادی هستند. بر عکس در مناطق با گروه هیدرولوژی A و قابلیت نفوذ زیاد، شماره منحنی و حجم رواناب ایجاد شده توسط بارش به کمترین مقدار خود می‌رسد. جدول ۵ مقادیر میانگین وزنی



شکل ۱۲- عدم توانایی عبور سیلاب در دوره بازگشت ۱۰۰ سال در پل صیاد شیرازی



شکل ۱۲- عدم توانایی عبور سیلاب در دوره بازگشت ۱۰۰ سال در پل صیاد شیرازی

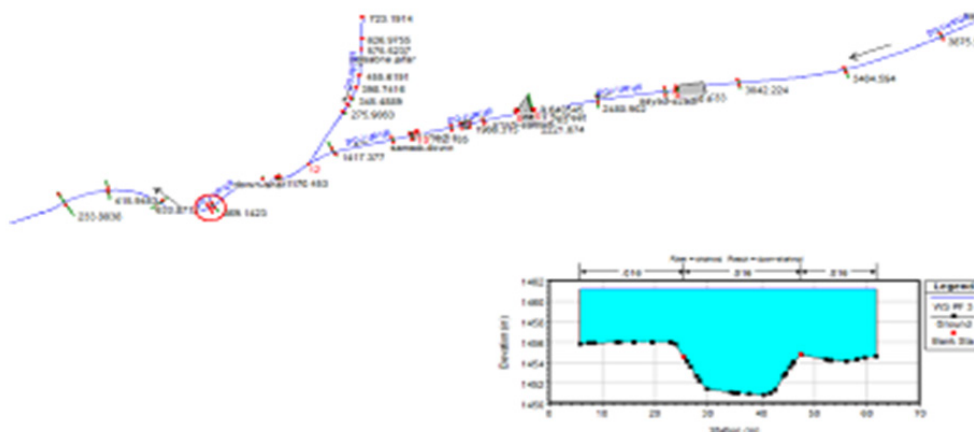


شکل ۱۳- عدم توانایی عبور سیلاب در پل شهید ناصری رودخانه شاهرود در دوره بازگشت ۱۰۰ سال

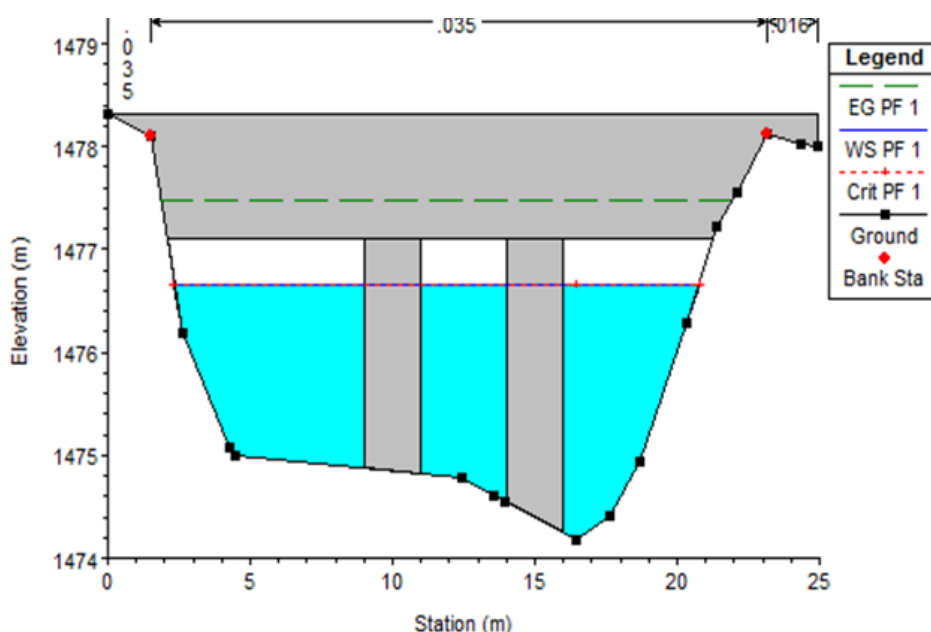
و همچنین تغییرات ایجاد شده در کف مسیر رودخانه، این مسیر قادر به عبور جریان سیلاب‌های با دوره بازگشت بالا را نداشته و با توجه به مکان‌های مسکونی و آموزشی، سیلاب می‌تواند تلفات جانی و مالی بسیار بالایی و غیر قابل جبرانی وارد نماید. در مسیر مورد بررسی، رودخانه در بعضی از بازه‌ها عریض و عمیق بوده و دارای دیواره‌های مرتفع است که همین عامل موجب شده است تا محدوده سیل‌گیر در اطراف این بازه‌ها بسیار کم باشد، ولی در بعضی از بازه‌های دیگر رودخانه کم عمق است و اراضی زراعی در ارتفاع خیلی کم و بسیار نزدیک به رودخانه قرار دارند که در نتیجه احتمال سیل‌گیری این اراضی بسیار زیاد است.

ملائی برای محاسبه حجم رواناب در حوزه فیله خاصه زنجان و حسین زاده در رودخانه لاین سو از روش SCS استفاده نمود و به این نتیجه رسید که این روش بر توانایی GIS در تعیین سریعتر و دقیقتر CN تأکید دارد. (ملائی، ۱۳۸۱؛ حسین زاده، ۱۳۸۷).

پهنه‌های سیلابی برای دوره بازگشت‌های مورد نظر در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیلاب مشخص است که در مسیر رودخانه شاهرود از بالادست به سمت پایین دست سطح پهنه‌های سیل‌گیر افزایش می‌یابد که دلایل آن علاوه بر ورود فزاینده رواناب از قسمت‌های مختلف شهر به رودخانه، وضعیت توپوگرافی محدوده رودخانه می‌باشد. علاوه بر این با توجه به تجاوز به سیلاب‌دشت رودخانه اصلی عبوری از وسط شهر



شکل ۱۴- عدم توانایی عبور سیلاب در پایین دست رودخانه شاهرود در دوره بازگشت ۱۰۰ سال



شکل ۱۵- توانایی عبور سیلاب در پل شهید ناصری رودخانه شاهرود در دوره بازگشت ۲۵ سال

بازه‌ها برخوردارند. مقطع پل صیاد شیرازی در دوره بازگشت ۱۰۰ سال قادر به عبور سیلاب نبوده که شکل ۱۲ این امر را به وضوح نشان می‌دهد. همچنین پل شهید ناصری واقع در مسیر رودخانه شاهرود دارای ابعاد مناسب برای عبور سیل‌های با دوره بازگشت ۱۰۰ سال نمی‌باشد. در سیل‌های با دوره بازگشت ۱۰۰ سال، پل کاملاً مستغرق می‌شود و احتمال سیل‌گیری اراضی بالادست را افزایش می‌دهد. عدم توانایی عبور سیلاب پل شهید ناصری در دوره بازگشت ۱۰۰ سال در شکل ۱۳ ارائه شده است.

با نگاهی به نتایج این پژوهش مشاهده می‌شود که تغییرات کاربری اراضی و ساخت و ساز در حریم رودخانه می‌تواند باعث افزایش دبی پیک سیلاب‌ها شود. از این لحاظ پژوهش حاضر با نتایج لئوپولد (۱۹۶۸) و نووتنی و اولم (۲۰۰۰) و آلامیلا (۲۰۰۱) و تحقیقات انجام شده توسط محققان داخل کشور مانند سلیمانی ساردو و همکاران، ۱۳۸۸ و رضوی و همکاران، ۱۳۸۵ مشابهت دارد. پهنه‌های سیلابی بیشترین سطح را در ساحل چپ و راست بالادست پل‌های مسیر رودخانه شاهرود به خود اختصاص می‌دهند. بنابراین، این بازه‌ها از حساسیت بیشتری نسبت به سیل در مقایسه با سایر

جدول ۶- درصد محدودده سیل‌گیر کانال شاهرود در کاربری‌های اراضی برای سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله

درصد اراضی	نوع کاربری	حوضه‌های مورد مطالعه
۴۸	مسکونی	کانال شاهرود
۸/۱	تأسیسات شهری	
۱۳/۳	تجاری	
۲۶/۴	فضای سبز	
۱/۴	اداری	
۲/۸	آموزشی	

سیل با دوره بازگشت‌های بالاتر به مناطق مسکونی خسارت وارد می‌سازد.

با توجه به اینکه اراضی حاشیه رودخانه در بعضی بازه‌ها را اراضی مسکونی شهر بیرجند تشکیل می‌دهند، پس از تعیین پهنه‌های خطر سیل در هر یک از دوره‌های بازگشت سیل، مساحت اراضی سیل‌گیر با کاربری‌های اطراف رودخانه محاسبه شده و مقادیر آن‌ها در جدول ۶ نشان داده شده است، که بیشترین درصد محدودده سیل‌گیر اطراف رودخانه مربوط به کاربری مسکونی می‌باشد. با توجه به اینکه تعدادی از بناهای مسکونی به طور دقیق در کنار رودخانه واقع شده‌اند، امکان خطر سیل برای این ابنیه در سیلاب‌های با دوره بازگشت بالا وجود دارد. واضح است که هر چه دوره بازگشت سیل طولانی‌تر می‌شود، سطح وسیع‌تری از اراضی، تحت تأثیر سیل قرار می‌گیرند. یکی از علل خطر سیل‌گیری زیاد اراضی اطراف رودخانه، شیب کم رودخانه (کمتر از ۰/۰۰۹) و وجود پوشش گیاهی در بستر رودخانه و حاشیه‌های آن در بعضی بازه‌ها می‌باشد. به همین دلیل سرعت انتقال جریان بسیار کم و در نتیجه سطح تحت پوشش جریان سیل افزایش می‌یابد.

در بخش دیگری از مسیر مورد تحقیق، در پایین دست محل اتصال کانال موسی‌بن جعفر به رودخانه شاهرود به سمت قبرستان به دلیل نبود دیواره کانال و تغییرات ایجاد شده در بستر رودخانه، خسارات زیادی متحمل می‌گردد که در شکل ۱۴ تجاوز آب از کانال به وضوح دیده می‌شود. بر اساس نتایج پهنه‌بندی خطر سیل، ظرفیت پل‌های کانال شاهرود برای عبور سیل‌های با دوره بازگشت بیشتر از ۱۰۰ سال کافی نبوده و سیل در امتداد پل به طرفین جاری شده و احتمال سیل‌گیری حاشیه‌ها را بالا می‌برد، بنابراین با توجه به اینکه بخشی از بناهای مسکونی شهر دقیقاً در کنار حاشیه رودخانه واقع شده‌اند، امکان خطر سیل برای این ابنیه وجود دارد.

در ادامه تحقیق با کاهش دبی، میزان دبی مطمئن یعنی دبی‌ای که از هیچ یک از مقاطع بیرون نزنند و همه مقاطع و پل‌ها قادر به عبور سیلاب ناشی از آن باشند برابر دبی با دوره بازگشت ۲۵ ساله تعیین گردید. براین اساس توانایی عبور سیلاب از پل شهید ناصری در دوره بازگشت ۲۵ سال در شکل ۱۵ ارائه شده است.

نتایج حاصل از پهنه‌بندی سیلاب نشان می‌دهد که سیل‌های تا دوره بازگشت ۲۵ سال به مناطق مسکونی خسارتی وارد نمی‌کنند، ولی

Journal of Soil and Water (Agricultural Science and Technology), Volume 27, Issue 3, pp 462- 471.

Cuining, z., Shumei, R., and Meijun, Y, 2008. "Application of SCS model to simulate rainfall-runoff relationship in Wenyu river basin in Beijing." J. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. 2(115), pp 521 -515.

Cook, A., and Mervade, V, 2009. "Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping." J. hydrolog. 377: pp 131 142 -.

Emamidehkharghany, A. (2011). "Floodplain Determination using hydraulic model HEC-RAS and Geographical Organizing System GIS (Case Study: The Part of Shahrchay River in West Azarbaijan Province)." Proceedings of the 4nd Iranian Water Resources Management Conference, Amirkabir University of Technology, Iran. (In Persian)

Hassanzadeh, A., Baheri, A., Sedghi, H., and Shabanlou, S. (2010). "Management Of The Watershed Basin using HEC-Geo-HMS and HEC-Geo-RS models". Proceedings of the 9nd Conference of hydraulics. Tarbiat Modarres University. Iran. (In Persian)

Hosseinzadeh, A., Zia Tbarahmdy, M., Sharifi, M., Masoudian, M., (2004). "Floodplain Determination Using Hydraulic model HEC-RAS in GIS environment". MS thesis, Sari Agricultural irrigation facilities. (In Persian)

Inci Tekeli, Y., Akguül, S., Dengiz, O., and Akuzum, T, 2006. "Estimation of flood discharge for small watershed using SCS curve number and geographic information system." J. River Basin Flood Management. pp538-527.

Jabalifard, h. (2002). "River Analysis System (Hec-Ras)." Jahad Collegiate Amirkabir University of Technology. (In Persian)

Karamouz, M., Zahmatkesh, Z., Goharian, E. and Nazif, S. 2014. "Coastal Floodplain Mapping and Evaluation Using GIS and HEC-GeoRAS Models." World Environmental and Water Resources Congress. Knebl, M.R, 2005. "Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: a case study for the San Antonio river basin." J. Environmental Management, 75: pp 336-325.

Leopold, W. L. (1968) Hydrology for urban land planning: a guidebook on the hydrologic effect of urban

نتیجه گیری

۱- نتایج حاصل از تحلیل سیلاب با استفاده از نرم افزار هیدرولیکی HEC-RAS نشان داد که در همه مقاطع انتخاب شده در این حوضه، خطر آب گرفتگی اراضی مجاور مناطقی که به حریم رودخانه تجاوز شده از جمله مناطق مسکونی که در حریم رودخانه بنا شده اند، پارکینگ بهشت متقین در بستر رودخانه شاهرود، استادایوم و ایستگاه فرستنده رادیویی در حاشیه رودخانه شاهرود وجود داشته که این امر می تواند خسارات متعدد محسوس و نامحسوس به ارگان‌ها و مردم تحمیل نماید.

۲- سیلاب با دبی ۴۶۴ متر مکعب بر ثانیه بزرگترین سیلابی است که به ازای دوره برگشت ۱۰۰ سال از رودخانه شاهرود عبور خواهد کرد. کانال شاهرود توان عبور این سیلاب را نداشته و خطر اراضی اطراف را تهدید می کند. مساحت پهنا سیلاب در رودخانه شاهرود ۲۵/۲۶ هکتار محاسبه گردید.

۳- پل‌های احداث شده بر روی رودخانه شاهرود در داخل شهر بیرجند توانایی عبور جریان سیلابی ۱۰۰ سال را ندارند.

۴- در پایین دست محل اتصال کانال موسی بن جعفر به رودخانه شاهرود به سمت قبرستان به دلیل نبود دیواره کانال و تغییرات ایجاد شده در بستر رودخانه، خسارات زیادی متحمل می گردد.

۵- اراضی با کاربری مسکونی با ۴۸ درصد بیشترین محدوده سیل گیر اطراف رودخانه شاهرود را در سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ تشکیل می دهند.

پیشنهادات

با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه در قسمت مترکم شهری قرار گرفته است، لذا پیشنهاد می شود با کنترل و مهار سیل در حوضه‌های آبخیز بالادست با انجام عملیات آبخیزداری، مهندسی سازی ساخت و سازهای شهری و عدم توسعه آن در داخل حریم مسیر آبراهه ها و شناسایی سازه های انتقال آب غیراصولی در حد امکان از خطر بروز سیل در این منطقه کاسته شود.

منابع مورد استفاده

Alamilla, S. (2001) GIS based approach to floodplain delineation and flood risk estimation applied to the OakCreek watershed. Master of Science Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Marquette University, Milwaukee.

Bozorg Haddad, A, Khosroshahi-Asl, S Zarezadeh, M and Javan, P. (2014). Development of simulation-optimization model in protection areas of flood,

