

**Flood Mapping and Damage Assessment
Using the Integration of HEC-RAS and
ARC-GIS Models with a Flood Damage
Reduction Approach (Case Study: Jajrood
River - Upstream of the Latian Dam)**

E. Ojaghlou¹, M. Akbarian^{2*}

Abstract

With the continuous increase in population and the subsequent growth of residential areas, flood mapping and management have become essential tasks. Identifying and highlighting areas at risk of flooding, as well as implementing structural and non-structural measures, are among the most important issues in flood management. The Jajrood River is one of the most important watersheds in Tehran Province. In this paper, the hydrological and water level data for floods with return periods of 200, 100, 50, 25, 10, and 5 years are determined using the HEC-RAS software model. Geographic Information System (GIS) is then used to create flood zoning maps. By matching damage charts to various points along the river based on the obtained water levels, critical areas in the region are identified. Subsequently, flood damage reduction strategies are proposed for these areas. In some engineering studies, predicting and simulating river behavior for different return periods is of great importance. Therefore, determining the dimensions of the riverbed and its boundaries is crucial for any flood management and prevention plan in the surrounding floodplain areas.

Keywords: Groundwater simulation, Intelligent model, Random Forest, Decision tree, Fuzzy inference system.

Received: July 27, 2024

Accepted: September 7, 2024

1- MSc., Civil Engineering Department, Ale-Taha Institute of Higher Education, Tehran, Iran.

2- Assistant Professor, Civil Engineering Department, Ale-Taha Institute of Higher Education, Tehran, Iran.

Email: m.akbarian@aletaha.ac.ir.

**پهنه‌بندی سیلاب و ارزیابی خسارت آن با استفاده از
تلفیق مدل‌های HEC-RAS و ARC-GIS با
رویکرد کاهش خسارات سیلاب
(مطالعه موردی: رودخانه جاجرود-بالادست سد
لتیان)**

الهه اوچاقلو^۱، محمد اکبریان^{۲*}

چکیده

با افزایش روزافزون جمعیت و به دنبال آن افزایش مناطق مسکونی، توجه به پهنه‌بندی سیلاب و مدیریت آن از اقدامات ضروری به حساب می‌آید. شناسایی و معرفی مناطق در معرض خطر وقوع سیل و به کارگیری اقدامات سازه‌ای و غیرسازه‌ای یکی از مهمترین مسائل در مدیریت سیلاب می‌باشد. رودخانه جاجرود از مهمترین حوضه‌های آبریز استان تهران است. در این مقاله اطلاعات مربوط به هیدروگراف و تراز آب برای سیلاب با دوره‌های بازگشت ۲۰۰، ۱۰۰، ۵۰، ۲۵، ۱۰، ۵ سال با استفاده از مدل نرم‌افزاری HEC-RAS مشخص گردیده و سپس در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب از سامانه اطلاعات GIS استفاده شده است. تطبیق نمودار خسارات بر نقاط مختلف رودخانه بر اساس تراز آب بدست آمده، نقاط بحرانی منطقه را مشخص می‌نماید. در برخی از مطالعات مهندسی، پیش‌بینی و شبیه‌سازی رفتار رودخانه‌ها در دوره‌های بازگشت مختلف، دارای اهمیت بسیار بالایی است. به همین منظور، مشخص کردن ابعاد بستر و حریم رودخانه برای هر گونه طرح مدیریتی و پیشگیری از سیلاب‌ها در مناطق دشتی و اطراف آن مهم می‌باشد.

کلمات کلیدی: آبخوان تالش، سامانه استنتاج فازی، شبیه‌سازی آب زیرزمینی، درخت تصمیم، جنگل تصادفی.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۵/۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۶/۱۷

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، موسسه آموزش عالی آل طه، تهران، ایران.

۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، موسسه آموزش عالی آل طه، تهران، ایران.

پهنه‌بندی سیلاب و ارزیابی خسارت آن با استفاده از تلفیق مدل‌های HEC-RAS و ARC-GIS با رویکرد کاهش خسارات سیلاب

(مطالعه موردی: رودخانه جاجرود-بالادست سد لتیان)

الهه اوچاقلو، محمد اکبریان

* Corresponding Author

ایمیل: m.akbarian@aletaha.ac.ir

پهنه‌بندی سیلاب و ارزیابی خسارت آن با استفاده از تلفیق مدل‌های HEC-RAS و ARC-GIS با رویکرد
کاهش خسارات سیلاب
(مطالعه موردی: رودخانه جاجرود-بالادست سد لتیان)
الهه اوجاقلو، محمد اکبریان

مقدمه

مورد مطالعه، بخش گسترده‌ای از اطلاعات از طریق مطالعه دستاوردهای پیشین بدست می‌آید. لذا بررسی مطالعات گذشته در سطح جهانی و داخل کشور حائز اهمیت می‌باشد. نخستین فعالیت‌ها در مورد کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی در مطالعه پدیده سیلاب به اوایل دهه ۱۹۸۰ میلادی برمی‌گردد که اولین کارها در این زمینه با آنالیز مدل ارتفاعی رقومی بر کاربردهای هیدرولوژیکی شروع شد. اما ارتباط مدل‌های هیدرولوژیکی و GIS به اواخر دهه ۸۰ میلادی و اوایل دهه ۹۰ برمی‌گردد. مهم‌ترین کارهایی که در این زمینه صورت گرفت توسط Olivera و Maidment در دانشگاه تگزاس انجام گرفت (راد، ۱۳۸۱).

رسولی و همکاران (۱۳۸۷)، مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز لگشای نکارود با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نرم‌افزار GIS انجام دادند. در این تحقیق، رابطه بین بارش و رواناب با مدل HEC-GEOHMS شبیه‌سازی گردید (نیار، مه‌ماه ۱۳۸۷).

براتی و همکاران (۱۳۸۴)، پهنه‌بندی سیلاب رودخانه قمرود در شهر قم با استفاده از GIS و RS را بررسی کردند. تحلیل مدل منجر به ساخت سازه‌هایی در پل‌های فدک، ربانی و نیروگاه شد که اثرگذارترین سازه‌ها بودند (سراب، ع، ۱۳۸۴).

سلیمانی ساردو و همکاران (۱۳۸۸)، از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS برای شبیه‌سازی حوضه سد جیرفت استفاده کردند. نتایج نشان داد که حوضه‌های K4 و Solteni با دبی اوج بالا، دارای بیشترین مقدار دبی در حوضه سد جیرفت بودند (سلاجقه، ع، بهمن ۱۳۸۸). خدایی و همکاران

آنچه از گذشته تا به اکنون مورد توجه پژوهشگران قرار داشته‌است، تاثیرات ناشی از انجام عملیات انسانی می‌باشد. ساخت و ساز مناطق مسکونی، تفریحی، تجاری و ... در حریم رودخانه‌ها بدون رعایت نکات اولیه ایمنی، احداث بیشمار پل‌ها و گذرگاه‌ها، تخریب پوشش گیاهی از مهم‌ترین عوامل ایجاد خسارات پس از وقوع سیلاب می‌باشد.

مهم‌ترین خصوصیت نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب، تخمین میزان خسارات با توجه به دوره بازگشت‌های متفاوت سیل در منطقه مورد بررسی می‌باشد. چگونگی استفاده از این نقشه‌ها در روند کاهش خسارات مسئله اصلی این پژوهش به حساب می‌آید. ناحیه‌بندی حریم رودخانه از نظر میزان خسارات وارده و ارائه راهکار مناسب و قابل توجه از نظر موقعیت اقتصادی و اجتماعی از مهم‌ترین اهداف آن برشمرده می‌شود. این تحقیق بر اساس آخرین اطلاعات موجود در سیستم وزارت نیرو در رابطه با سیلاب‌های اخیر رودخانه جاجرود در قسمت بالادست سد لتیان تهیه شده‌است. بروز رسانی نقشه‌های پهنه‌بندی این بخش از رودخانه جاجرود که تحت عنوان نوآوری این تحقیق می‌باشد، منجر به پیش‌بینی دقیق‌تر و ارائه راهکارهای مناسب در جهت جلوگیری از خسارات ناشی از سیلاب می‌گردد. در ایران، توجه به پهنه‌بندی سیلاب و مدیریت حریم رودخانه از دهه ۸۰ افزایش یافت.

مطالعه سیلاب به منظور پیش‌بینی خطرات آن از مسائل مهم در مدیریت منابع آب می‌باشد. علاوه بر جمع‌آوری داده‌ها و بررسی رفتار هیدرولوژیکی منطقه

پهنه‌بندی سیلاب و ارزیابی خسارت آن با استفاده از تلفیق مدل‌های HEC-RAS و ARC-GIS با رویکرد کاهش خسارات سیلاب

(مطالعه موردی: رودخانه جاجرود-بالادست سد لتیان)

الهه اوچاقلو، محمد اکبریان

را بررسی کرد و به پهنه‌بندی خطر سیلاب پرداخت (نگهبان، ۱۳۹۵).

سعیدی نیا (۱۳۹۵)، برای تعیین ضریب خطرپذیری در رودخانه کرج از مدل SCS و GIS استفاده کرد و فقدان پوشش گیاهی را عامل اصلی سیلاب‌خیزی منطقه معرفی کرد (سعیدینیا، ۱۳۹۵).

زنگنه‌تبار (شهریور ۱۳۹۵)، برای برآورد رواناب در حوضه زیلرچای از مدل HEC-HMS و روش CN استفاده کرد. نتایج نشان داد که شیب منطقه نقش بسزایی در سیلاب‌خیزی دارد (تبار، شهریور ۱۳۹۵). غلامی (شهریور ۱۳۹۶)، به بررسی پهنه‌های سیل‌گیر در حوضه کن با استفاده از مدل HEC-RAS و HEC-GEORAS پرداخت و نشان داد که جنس سنگ‌ها عامل مهمی در تنگ‌شدگی و بازشدگی دره است (غلامی، شهریور ۱۳۹۶).

کاوپانی (۱۳۹۷)، در تحقیق خود از مدل SCS برای پهنه‌بندی سیلاب حوضه آبخیز شش‌رودبار استفاده کرد و نشان داد که با توجه به باریک بودن حوضه، خطر سیلاب در بعضی نواحی وجود دارد (کاوپانی، ۱۳۹۷). ملازهی (۱۳۹۷)، برای پتانسیل‌سنجی خطر سیلاب در حوضه سرباز از مدل هم‌پوشانی و تحلیل سلسله مراتبی استفاده کرد (ملازهی، ۱۳۹۷).

قلیزاده (۱۳۹۸)، پهنه‌بندی سیلاب حوضه آذرشهرچای را با استفاده از مدل ANP انجام داد و نشان داد که بارش و شیب بیشترین تأثیر را در خطر سیلاب دارند (قلیزاده، ۱۳۹۸).

خدری (۱۳۹۹)، با استفاده از مدل HEC-RAS و GIS، پهنه‌بندی سیلاب را در بالادست و پایین‌دست سد قشقلاق بررسی کرد (خدری، ۱۳۹۹).

(۱۳۸۹)، همچنین بررسی کردند که رعایت نکردن حریم رودخانه و عدم تعیین پهنه سیلابی عامل خسارات در رودخانه کهنوج در کرمان است (ا، ۱۳۸۹).

مهندسین مشاور یکم (۱۳۸۹)، مطالعات ساماندهی رودخانه کاجو در سال ۱۳۸۹ را انجام دادند تا بستر رودخانه ساماندهی شود (یکم، ۱۳۸۹).

جوان و همکاران (۱۳۸۹)، استفاده از تصمیم‌گیری چندمنظوره در تعیین حریم رودخانه فردو در شهر قم را بررسی کردند. نتایج نشان داد که افزایش خطر سیلاب به کاربری‌ها مربوط است (ا، ۱۳۸۹).

رضائیه و همکاران (۱۳۹۰)، با تعیین دوره شاخص آبدهی و روش‌های مختلف توزیع آماری به بررسی خطر سیلاب در یکی از سرشاخه‌های رودخانه طالقان پرداختند (دپلمی، ۱۳۹۰).

صدرافشاری (۱۳۹۰)، با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS تراز آب برای سیلاب‌های با دوره بازگشت‌های مختلف در رودخانه کلکان محاسبه کرده و به پهنه‌بندی سیلاب پرداخته است. نتایج نشان داد که پهنه سیلاب از ۲/۳۶ تا ۵/۱۱۵ متر تغییر کرده است (صدرافشاری، ۱۳۹۰).

گراوندی (۱۳۹۱)، در مطالعات خود از سیستم GIS و تحلیل حساسیت برای تعیین موثرترین عوامل سیلاب در کرمانشاه استفاده کرد. نتایج نشان داد که فاصله از کانال‌های اصلی و شیب در سطح منطقه تأثیر زیادی دارند (گراوندی، ۱۳۹۱).

نگهبان (۱۳۹۵)، با استفاده از مدل HEC-HMS رواناب حاصل از بارش در حوضه بالیقلو چای اردبیل

پهنه‌بندی سیلاب و ارزیابی خسارت آن با استفاده از تلفیق مدل‌های HEC-RAS و ARC-GIS با رویکرد کاهش خسارات سیلاب

(مطالعه موردی: رودخانه جاجرود-بالادست سد لتیان)

الهه اوجاقلو، محمد اکبریان

برای جذب آب را مورد توجه قرار داده‌اند. با وجود این، همچنان جوامع بشری با خسارات مالی و جانی ناشی از سیلاب‌ها روبه‌رو هستند. کاهش خسارات سیلاب در تحقیقات گذشته کمتر مورد توجه قرار گرفته است، که این تحقیق به دنبال ارائه راهکارهایی برای کاهش این خسارات است.

بررسی مطالعات پیشین در خصوص مدل‌سازی سیلاب و تعیین پهنه‌بندی نشان می‌دهد که تلفیق مدل‌های HEC-RAS و ARC-GIS جهت تعیین خسارت سیلاب و ارائه راهکار جهت کاهش آن کمتر مورد توجه محققان قرار گرفته است که نقطه تمرکز تحقیق حاضر توجه به این مهم است. در این راستا منطبق‌سازی نمودار خسارات و هیدروگراف جریان آب در قسمت‌های مختلف مطالعه موردی و ارائه راهکارهای مناسب جهت کاهش خسارات با توجه به ویژگی خاص هر نقطه به عنوان نتایج مورد انتظار پژوهش پیشرو می‌باشد. مطالعه موردی منتخب با توجه به آخرین آمار مربوط به دوره بازگشت سیلاب در سال‌های اخیر و بررسی میزان اثرات آن برگزیده شده است. دستیابی به پیش‌بینی میزان خسارات وارد شده و ارائه بهترین راهکارهای پیشنهادی در منطقه مورد مطالعه با توجه به جدیدترین اطلاعات ثبت شده در ادامه پژوهش‌های پیشین از دیگر نوآوری‌های این تحقیق می‌باشد.

در انجام تحقیقات در تمامی مراحل پروژه نیازمند جمع‌آوری و استفاده از داده‌های دقیق می‌باشد. این داده‌ها باید از نظر دوره آماری اعتبار لازم را داشته باشند. استفاده از روش‌های تحلیلی و مدل‌های ریاضی مناسب جهت دستیابی به هدف حائز اهمیت می‌باشد. اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل مورد نظر

مروری بر تحقیقات گذشته در سطح جهان:

فواگارا و همکاران (۲۰۰۸)، با استفاده از مدل MIKE و GIS پهنه‌بندی سیلابی در کوالامپور را شبیه‌سازی کردند و امکان پیش‌بینی راهکارهایی برای کاهش خسارات شهری را فراهم کردند (Fuagara, 2008).

هاگن و همکاران (۲۰۱۰)، روشی به نام مهندسی معکوس سیلاب برای نقشه‌برداری سیلاب در کشورهای در حال توسعه ارائه کردند (Hagen, 2010). گیچامو و همکاران (۲۰۱۲)، برای تولید مقاطع عرضی در رودخانه Tisza از HEC/RAS/GEORAS استفاده کردند (Gichamoa, 2012).

سیلوا و همکاران (۲۰۱۴)، با مدل HEC-RAS و GIS پهنه‌بندی سیلاب در سدروس برزیل را انجام دادند و نشان دادند که جاده‌ها و ساختمان‌ها بیشتر در معرض خطر سیلاب هستند (Silva, 2014).

دمیر و همکاران (۲۰۱۶)، در ترکیه با استفاده از GIS و HEC-RAS به پهنه‌بندی سیلاب پرداخته و نشان دادند که اضافه کردن خاکریز می‌تواند خطر سیلاب را کاهش دهد (Demir, 2016). خاتک و همکاران (۲۰۱۶)، در پاکستان به پهنه‌بندی خطر سیلاب در رودخانه کابل پرداختند و دریافتند که ۴۰ درصد از سطح منطقه در معرض سیلاب است (Khattak, 2016).

مطالعات پیشین در زمینه پهنه‌بندی و کنترل سیلاب نشان‌دهنده اهمیت شناسایی عوامل انسانی مانند از بین بردن پوشش گیاهی و تغییر کاربری‌ها در افزایش خسارات سیلاب است. همچنین، مطالعات اخیر عوامل غیرانسانی مانند توپوگرافی و ظرفیت محدود خاک

پهنه‌بندی سیلاب و ارزیابی خسارت آن با استفاده از تلفیق مدل‌های HEC-RAS و ARC-GIS با رویکرد کاهش خسارات سیلاب

(مطالعه موردی: رودخانه جاجرود-بالادست سد لتیان)

الهه اوجاقلو، محمد اکبریان

اصلی است: اول، محاسبه پروفیل سطح آب در شرایط جریان ماندگار؛ دوم، شبیه‌سازی جریان غیر-ماندگار برای تحلیل تغییرات موقت جریان؛ و سوم، محاسبات انتقال رسوب در مرزهای متحرک. تمامی این مولفه‌ها با استفاده از داده‌های هندسی مشترک و روند محاسبات هیدرولیکی مشابه به یکدیگر متصل هستند. در این تحقیق، برای شبیه‌سازی سیلاب، نقشه رقوم به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ از رودخانه و اراضی اطراف آن تهیه شد. این نقشه به کمک فیلد اطلاعاتی ارتفاعی و ایجاد توپوگرافی سه‌بعدی رودخانه مورد استفاده قرار گرفت. همچنین با استفاده از افزونه HEC-geo-RAS در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، هندسه رودخانه شبیه‌سازی شد، شامل تعریف خط مرکزی جریان، سواحل کانال و مسیر جریان. مقاطع عرضی رودخانه در فواصل مناسب از کناره چپ به سمت راست بر روی مدل سه‌بعدی توپوگرافی ترسیم شدند تا انطباق دقیقی با مسیر رودخانه در بازه مورد نظر ایجاد شود.

در فرآیند انتقال داده‌ها به محیط نرم‌افزار HEC-RAS، از افزونه HEC-geo-RAS استفاده شد. این افزونه فایل‌هایی با پسوند Spatial Data Framework (SDF) تولید کرد که شامل مشخصات هندسی رودخانه و لایه‌های مرتبط می‌شود. به‌منظور شبیه‌سازی سیلاب در مدل HEC-RAS، داده‌های هیدرولیکی، توپوگرافی و جریان سیلاب باید وارد نرم‌افزار شوند. این داده‌ها شامل ضرایب زبری، وضعیت مسیر رودخانه، پروفیل‌های طولی و عرضی رودخانه، هیدروگراف ورودی سیلاب، منحنی دبی-اشل و سایر اطلاعات مرتبط هستند.

شامل اطلاعات توپوگرافی منطقه تحت مطالعه، شرایط مرزی رودخانه، هیدروگراف سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف، ضریب زبری مانینگ، می‌باشند. در تحقیق پیشرو از مدل ریاضی HEC-RAS و سیستم اطلاعات جغرافیایی ARC-GIS استفاده می‌شود که در ادامه ترکیب اطلاعات و چگونگی انجام تحقیق شرح داده می‌شود. مدارکی که توسط سازمان ملل متحد انتشار یافته‌است پهنه سیل‌گیر یا سیلاب‌دشت رودخانه‌ها را مطابق شکل ۱-۱ به سه منطقه ممنوعه، مشروط و مجاز تقسیم می‌کند (آبخیزداری، ۱۳۸۱).

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، نرم‌افزار HEC-RAS برای شبیه‌سازی جریان رودخانه جاجرود و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب استفاده شده است. هدف اصلی، شبیه‌سازی سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ ساله است. روش تحقیق به صورت مطالعه موردی انجام شده و از داده‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی موجود برای مدل‌سازی استفاده شده است. این مدل شامل تحلیل‌های مختلف مانند جریان ماندگار و غیرماندگار، و محاسبه پروفیل سطح آب در بازه‌های مختلف است. در نهایت، با استفاده از نرم‌افزار HEC-GEORAS و GIS، پهنه‌های سیلابی برای دوره‌های بازگشت مختلف محاسبه و نقشه‌های مورد نیاز استخراج شده است.

مدل HEC-RAS

مدل HEC-RAS یک ابزار هیدرولیکی پیچیده است که برای تحلیل جریان در رودخانه‌ها و پهنه‌بندی سیلاب استفاده می‌شود. این مدل دارای سه مولفه

پهنه‌بندی سیلاب و ارزیابی خسارت آن با استفاده از تلفیق مدل‌های HEC-RAS و ARC-GIS با رویکرد کاهش خسارات سیلاب

(مطالعه موردی: رودخانه جاجرود-بالادست سد لتیان)

الهه اوجاقلو، محمد اکبریان

جریان ماندگار، انتخاب نوع رژیم جریان است. جریان در کانال‌های باز می‌تواند به صورت زیربحرانی، فوق بحرانی یا بحرانی باشد، که تشخیص این رژیم برای تعیین روش‌های محاسباتی پروفیل سطح آب اهمیت دارد. در جریان زیربحرانی، امواج ثقلی که بر اثر اغتشاشات یا انسداد ایجاد می‌شوند، به سمت بالادست حرکت می‌کنند، در حالی که در جریان فوق بحرانی این امواج تأثیر بیشتری بر نقطه شروع و محاسبات پروفیل سطح آب می‌گذارند. رژیم جریان با استفاده از عدد فرود مشخص می‌شود که نسبت نیروی ثقلی به نیروی اینرسی را نشان می‌دهد. اگر عدد فرود کمتر از یک باشد، جریان زیربحرانی، اگر برابر یک باشد، بحرانی و اگر بیشتر از یک باشد، جریان فوق بحرانی است. برای آغاز محاسبات، سطح آب آغازین در رژیم جریان تعیین می‌شود. در جریان زیربحرانی، شرایط مرزی تنها در انتهای پایین‌دست ضروری است، در حالی که در جریان فوق بحرانی، شرایط مرزی فقط در انتهای بالادست مورد نیاز است. در شرایط مختلط، باید شرایط مرزی در هر دو انتهای سیستم وارد شود. در این تحقیق، رژیم جریان ابتدا به صورت مختلط تعریف شده است و نرم‌افزار HEC-RAS به‌طور خودکار مشخص می‌کند که در کدام نقاط جریان فوق بحرانی و زیربحرانی است، که معمولاً در نقاط با شیب زیاد، جریان فوق بحرانی و در نقاط با شیب کم، جریان زیربحرانی است.

استخراج نقشه کاربری اراضی

همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، برای به‌دست آوردن نقشه کاربری اراضی در حوضه مورد مطالعه، از داده‌های سازمان جنگل‌ها، مراتع و

مراحل مدل‌سازی در HEC-RAS به‌طور دقیق شامل ورود و ویرایش داده‌های هندسی است که شامل تعریف پلان رودخانه و مختصات مقاطع عرضی آن می‌شود. سپس ضریب زبری رودخانه، که بر اساس مطالعات میدانی و ویژگی‌های محیطی مانند نوع پوشش گیاهی، دانه‌بندی مواد جدار آبراهه و وجود موانع تعیین می‌شود، مشخص می‌شود. برای تعیین شرایط مرزی بالادست و پایین‌دست، سطح آب آغازین در دو انتهای سیستم رودخانه تعریف می‌شود. در این راستا، شیب خط انرژی و مقادیر دبی برای این شرایط مرزی وارد مدل می‌شود. همچنین از داده‌های دبی ورودی برای شبیه‌سازی جریان استفاده می‌شود.

پس از وارد کردن داده‌های هندسی و دبی، پروفیل‌های سطح آب در شرایط جریان ماندگار محاسبه می‌شوند. این محاسبات در دوره‌های بازگشت مختلف انجام شده و خروجی‌هایی مانند پروفیل‌های طولی مسیر رودخانه، هیدروگراف‌ها و نمودارهای سه‌بعدی در مقاطع مختلف به‌دست می‌آید. در این مرحله، خطاهای موجود در درون‌یابی مقاطع جدید شناسایی و اصلاح می‌شوند. در نهایت، نتایج به‌دست‌آمده از محاسبات سطح آب در دوره‌های بازگشت مختلف با استفاده از افزونه HEC-geo-RAS به سیستم اطلاعات جغرافیایی منتقل می‌شود تا پهنه‌های سیلابی هر دوره به‌طور سه‌بعدی نمایش داده شوند. این اطلاعات می‌توانند برای محاسبه مساحت هر پهنه سیلابی مورد استفاده قرار گیرند.

تعیین نوع رژیم

در شبیه‌سازی جریان با نرم‌افزار HEC-RAS، یکی از مراحل مهم پس از وارد کردن داده‌های هندسی و

پهنه‌بندی سیلاب و ارزیابی خسارت آن با استفاده از تلفیق مدل‌های HEC-RAS و ARC-GIS با رویکرد کاهش خسارات سیلاب

(مطالعه موردی: رودخانه جاجرود-بالادست سد لتیان)

الهه اوچاقلو، محمد اکبریان

دلیل مرزی بودن مشخص است. هدف در این مرحله تعیین تراز سطح آب در مقطع بالادست است. پس از استخراج مشخصات هندسی رودخانه در سیستم اطلاعات جغرافیایی، ویژگی‌هایی مانند ضریب مانینگ و دبی سیلاب طراحی به مدل HEC-RAS وارد می‌شود تا پهنه سیلاب به‌طور دقیق شبیه‌سازی شود.

آبخیزداری کشور که بر اساس تصاویر ماهواره‌ای تهیه شده‌اند، استفاده شد. در ادامه، برای محاسبه پروفیل سطح آب، از رابطه انرژی و روش گام به گام استاندارد در نرم‌افزار HEC-RAS استفاده گردید. در جریان زیربحرانی، حل معادلات از اولین مقطع در پایین دست به آغاز می‌شود و تراز سطح آب در مقطع پایین دست به



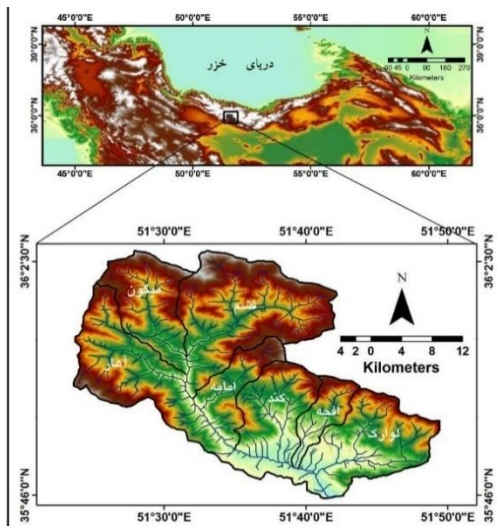
شکل ۱-شکل شماتیک از نحوه اجرای مدل HEC-RAS

پهنه‌بندی سیلاب و ارزیابی خسارت آن با استفاده از تلفیق مدل‌های HEC-RAS و ARC-GIS با رویکرد کاهش خسارات سیلاب

(مطالعه موردی: رودخانه جاجرود-بالادست سد لتیان)

الهه اوجاقلو، محمد اکبریان

گراولی و ماسه‌ای است. حوضه آبریز جاجرود از شمال و غرب با حوضه کرج، از شمال و شرق با حوضه لار، از جنوب با حوضه ایوانکی و از جنوب غرب با حوضه سولقان هم‌مرز است. مهم‌ترین سرشاخه‌های آن از دامنه‌های خرسنگ و کلون بستک سرچشمه می‌گیرند و در فشم با یکدیگر پیوسته و رودخانه جاجرود را تشکیل می‌دهند.



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

وضعیت توپوگرافی

محدوده مورد مطالعه در دامنه جنوبی کوه های البرز مرکزی قرار دارد. بر اساس نقشه توپوگرافی محدوده مطالعاتی، کم‌ترین ارتفاع در بخش‌های جنوبی و محدوده‌ای که سد لتیان در آن جای گرفته‌است قرار دارد و هر چه به سمت شمال و شمال غرب حوضه حرکت می‌کنیم، به میزان ارتفاعات محدوده افزوده می‌شود. به طوری که ارتفاعات بالای ۴۰۰۰ متر در بخش‌های شمالی و شمال غربی حوضه مورد مطالعه قرار دارند. در این بین رودخانه‌هایی از اطراف این

در مدل HEC-RAS، پهنه سیلاب به صورت رقوم سطح آب محاسبه و در مقاطع عرضی نمایان می‌گردد. با استفاده از رقوم سطح آب در هر مقطع عرضی و ماکروهای پس‌پردازنده HEC-geoRAS، یک فایل سه‌بعدی ارتفاعی تهیه می‌شود که به عنوان پایه استخراج خصوصیات هندسی بازه عمل می‌کند. در نهایت، با تلفیق توپوگرافی سه‌بعدی، پهنه سیلاب در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه می‌شود. طراحی بستر و حریم رودخانه برای سیلاب‌های با دوره‌های بازگشت متفاوت انجام می‌گیرد. پس از انجام محاسبات مربوط به مشخص کردن رقوم سطح آب، نقشه پهنه سیل تهیه شد. در این مرحله، با تعیین محل مقاطع عرضی بر روی نقشه‌ها، سطح آب برای هر مقطع عرضی مشخص گردید و با استفاده از شیب طولی رودخانه در هر بازه، رقوم آب بر اساس درون‌یابی تعیین شد. در نهایت، با توجه به رقوم آب، پهنه‌های سیل برای دبی‌های با دوره‌های بازگشت مختلف مشخص گردید.

منطقه مورد مطالعه

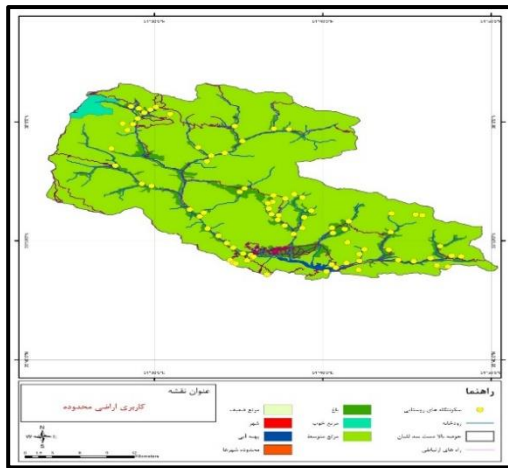
همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، رودخانه جاجرود در استان تهران از ارتفاعات البرز سرچشمه گرفته و به دریاچه نمک ختم می‌شود. حوضه آبریز این رودخانه در شمال شرقی استان تهران و در محدوده طولی ۲۲°۵۱' تا ۵۲°۵۱' شرقی و عرضی ۳۵°۴۵' تا ۳۶°۵۰' شمالی قرار دارد. مساحت کل حوضه آبخیز جاجرود ۱۸۹۰ کیلومتر مربع است که از این مساحت، ۷۱۰ کیلومتر مربع در بالادست سد لتیان و ۱۱۸۰ کیلومتر مربع در پایین دست سد واقع شده‌اند. این رودخانه با طول ۴۰ کیلومتر و شیب ۰.۴٪،

پهنه‌بندی سیلاب و ارزیابی خسارت آن با استفاده از تلفیق مدل‌های HEC-RAS و ARC-GIS با رویکرد کاهش خسارات سیلاب

(مطالعه موردی: رودخانه جاجرود-بالادست سد لتیان)

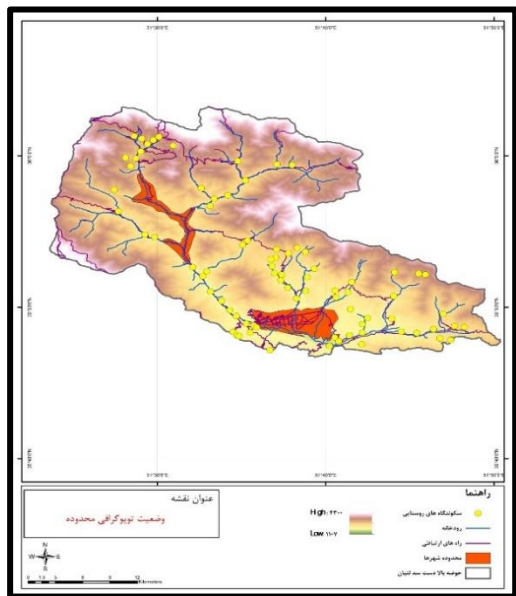
الهه اوچاقلو، محمد اکبریان

در محدوده مورد مطالعه با توجه به میزان بارش و نوع بارش‌ها ملاحظه می‌شود که اراضی مرتعی در شرایط متوسط می‌باشند و اراضی با مرتع فقیر بسیار محدود می‌باشد. با توجه مساحت مراتع متوسط در این حوضه مشاهده می‌شود که بیش از ۸۰ درصد از کل حوضه مطالعاتی را اراضی مرتعی متوسط به خود اختصاص داده‌اند. بعد از اراضی مرتعی متوسط، باغ‌ها در این حوضه بیش‌ترین مساحت را به خود اختصاص داده‌اند. باغ‌های موجود در این حوضه بیشتر در امتداد رودخانه شاهرود و سرشاخه‌های این رودخانه شکل گرفته‌اند. شکل ۳-۴ کاربری اراضی حوضه آبریز بالادست سد لتیان را نشان می‌دهد. برداشت سالانه از آبخوان تالش حدود ۱۱۸ میلیون مترمکعب است (شکل ۴). با وجود تعداد زیاد چاه‌ها، مقدار برداشت توسط هر چاه محدود است.



شکل ۴- کاربری اراضی حوضه آبریز بالادست سد لتیان

توپوگرافی به سمت سد لتیان حرکت می‌کند که این رودخانه‌ها سرشاخه‌های رودخانه جاجرود به شمار می‌روند. این منطقه یکی از حوضه‌های آبخیز کوهستانی کشور با ارتفاع و شیب زیاد می‌باشد. ارتفاع متوسط منطقه حدود ۲۳۰۰ متر از سطح دریا و شیب متوسط آن ۴۱ درصد می‌باشد. از لحاظ جهت شیب در قسمت جنوبی رشته کوه البرز قرار دارد. شکل ۳ وضعیت توپوگرافی حوضه آبریز بالادست سد لتیان را نشان می‌دهد.



شکل ۳- وضعیت توپوگرافی حوضه آبریز بالادست سد لتیان

وضعیت کاربری اراضی

همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، برای بررسی وضعیت کاربری اراضی در حوضه مورد مطالعه از اطلاعات و نقشه‌های تولید شده توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور استفاده شده است.

نتایج و بحث

پهنه‌بندی سیلاب و ارزیابی خسارت آن با استفاده از تلفیق مدل‌های HEC-RAS و ARC-GIS با رویکرد کاهش خسارات سیلاب

(مطالعه موردی: رودخانه جاجرود-بالادست سد لتیان)

الهه اوچاقلو، محمد اکبریان

محاسبات با حداکثر بده سیلاب برای دوره‌های بازگشت مختلف انجام شده است.

تهیه مقاطع عرضی و مشخصات سازه‌های متقاطع

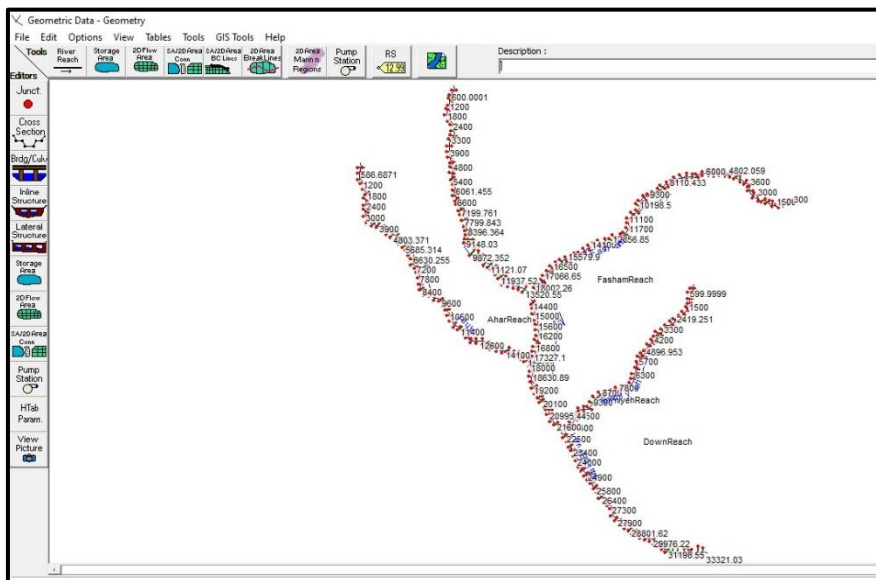
تهیه پلان و هندسه رودخانه از ابتدایی‌ترین و ضروری‌ترین اطلاعات برای شبیه‌سازی هیدرولیک رودخانه است. جریان رودخانه بر اساس مسیر پلان و شکل سطح مقطع آن، پارامترهای هیدرولیکی مانند سرعت، عمق و سطح آب‌گرفتگی را مشخص می‌کند. شرایط طبیعی رودخانه بدون در نظر گرفتن تغییرات مصنوعی یا سازه‌های ایجاد شده توسط انسان، بدست می‌آید. این تغییرات می‌توانند رژیم جریان و مقطع رودخانه را تحت تأثیر قرار دهند. پارامتر هندسه مقطع تأثیر زیادی بر هیدرولیک جریان دارد و به دلیل نواقص اطلاعات، این پارامتر از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ در محیط GIS تهیه و سپس با بازدید میدانی اصلاح شده است. در طول رودخانه جاجرود، ۲۵۶ مقطع عرضی انتخاب شده است. شکل ۵ مقاطع عرضی انتخاب‌شده بر روی رودخانه جاجرود را نشان می‌دهد.

مطالعات هیدرولیک جریان پیش‌نیاز انجام کلیه مطالعات رودخانه‌ای است. شناخت وضعیت جریان و تحلیل ویژگی‌های هیدرولیکی رودخانه، به‌ویژه در شرایط سیلابی، مبنای تعیین محدوده بستر و پهنه‌های سیلابی و همچنین تجزیه و تحلیل رفتار رودخانه و تصمیم‌گیری برای اقدامات موثر بر آن می‌باشد. شبیه‌سازی هیدرولیک جریان رودخانه جاجرود در شرایط موجود و طبیعی به‌منظور تعیین حد بستر و حریم آن انجام می‌شود. مراحل تحلیل هیدرولیک شامل انتخاب نحوه تحلیل جریان، تهیه پلان رودخانه و مقاطع عرضی، ارزیابی ضریب مانینگ، انتخاب مقادیر بده سیلاب، تعیین شرایط مرزی، مدل‌سازی انشعابات جریان، اجرا و واسنجی مدل و ارائه نتایج هیدرولیک جریان است. به‌دلیل مشکلات و خطای بیشتر محاسبات جریان غیرماندگار نسبت به جریان ماندگار، از جریان ماندگار برای انجام محاسبات هیدرولیکی استفاده شده است. در این تحقیق، جریان به‌صورت دائمی و یکنواخت در نظر گرفته شده و

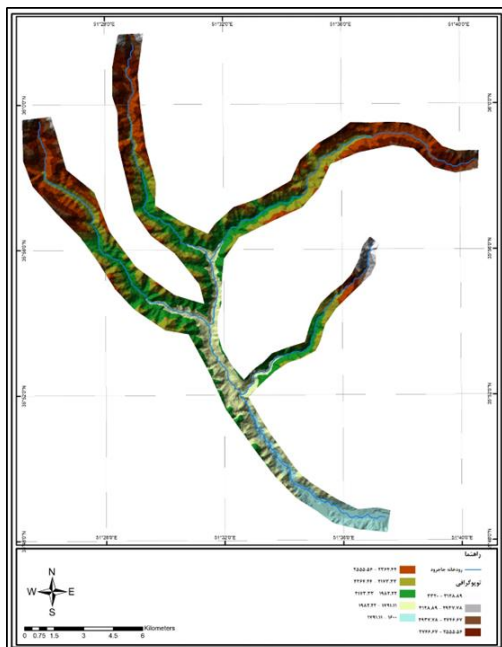
پهنه‌بندی سیلاب و ارزیابی خسارت آن با استفاده از تلفیق مدل‌های HEC-RAS و ARC-GIS با رویکرد کاهش خسارات سیلاب

(مطالعه موردی: رودخانه جاجرود-بالادست سد لتیان)

الهه اوجاقلو، محمد اکبریان



شکل ۵- پلان و موقعیت مقاطع عرضی انتخاب شده بر روی رودخانه جاجرود در محیط نرم افزار HEC-RAS



مدل رقومی زمین

برای ارزیابی خصوصیات هیدرولیک جریان رودخانه، تعیین مقاطع عرضی در طول مسیر رودخانه ضروری است. این مقاطع شامل خصوصیات جغرافیایی مورد نیاز برای انجام محاسبات در مدل HEC-RAS می‌باشند. اطلاعات جغرافیایی مقاطع از مدل رقومی زمین (TIN) استخراج می‌شود. همان طور که در شکل ۶ نشان داده شده است، برای تهیه مدل TIN از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ اصلاح شده استفاده شده است. ابتدا یک پروژه جدید در ArcGIS تعریف و نقشه‌های مذکور وارد آن شدند تا پس از فراخوانی ابزارهای لازم، مدل رقومی زمین رودخانه جاجرود در قالب TIN تهیه گردد.

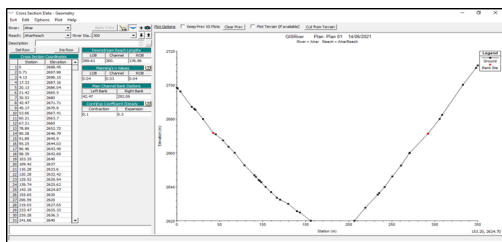
پهنه‌بندی سیلاب و ارزیابی خسارت آن با استفاده از تلفیق مدل‌های HEC-RAS و ARC-GIS با رویکرد کاهش خسارات سیلاب

(مطالعه موردی: رودخانه جاجرود-بالادست سد لتیان)

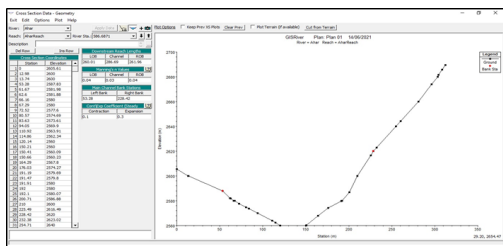
الهه اوچاقلو، محمد اکبریان

هندسه مقاطع عرضی رودخانه

در این بخش، هندسه مقاطع عرضی رودخانه جاجرود و سرشاخه‌های اصلی آن بر اساس توپوگرافی استفاده شده در مدل HEC-RAS تهیه شده است. با توجه به تعداد زیاد مقاطع در طول رودخانه، تنها نمونه‌هایی از مقاطع عرضی رودخانه جاجرود و سرشاخه‌های آن نمایش داده شده است. اشکال ۸ تا ۱۰ تعدادی از این مقاطع عرضی را نشان می‌دهند.



(الف)



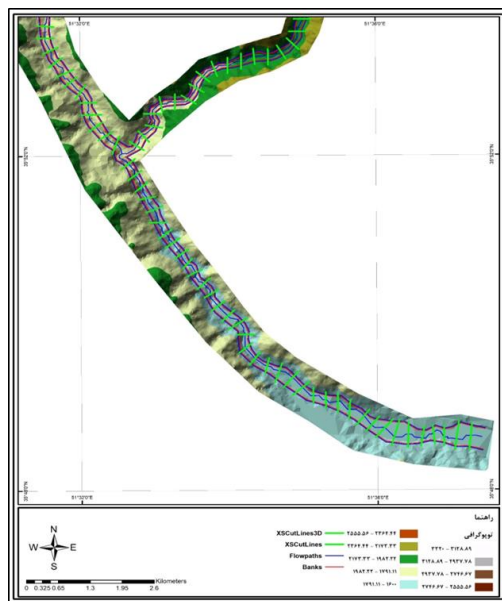
(ب)

شکل ۶- مدل رقومی TIN تهیه شده از محدوده مورد مطالعه رودخانه جاجرود در محیط Arc-GIS

مشخصات مقاطع عرضی رودخانه جاجرود در بازه مطالعاتی در جدول ۱ خلاصه شده است. بخشی از لایه‌های ساخته شده رودخانه جاجرود در GIS برای انتقال به مدل HEC-RAS نیز در شکل ۷ نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات مقاطع عرضی رودخانه جاجرود در بازه مطالعاتی

متوسط فاصله بین مقاطع (متر)	تعداد مقاطع : ۲۵۶	طول رودخانه : ۸۰ کیلومتر
حداکثر فاصله بین مقاطع (متر) ۴۱/۶۱	حداکثر فاصله بین مقاطع (متر) ۲۱۸/۲۶	حداقل فاصله بین مقاطع (متر) ۵۰/۰۲



شکل ۷- بخشی از لایه‌های ساخته شده رودخانه جاجرود در GIS برای انتقال به مدل HEC-RAS

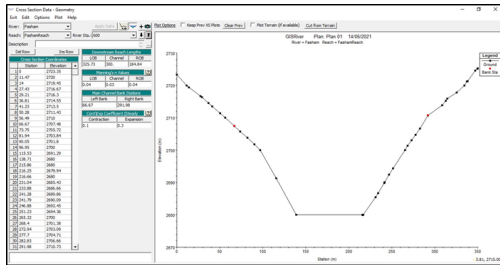
پهنه‌بندی سیلاب و ارزیابی خسارت آن با استفاده از تلفیق مدل‌های HEC-RAS و ARC-GIS با رویکرد کاهش خسارات سیلاب

(مطالعه موردی: رودخانه جاجرود-بالادست سد لتیان)

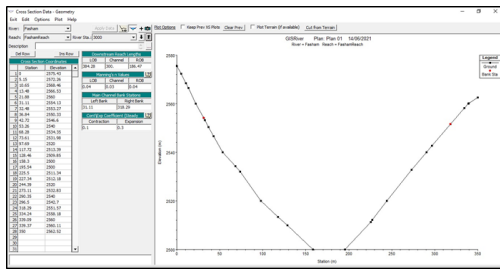
الهه اوچاقلو، محمد اکبریان

(ج)

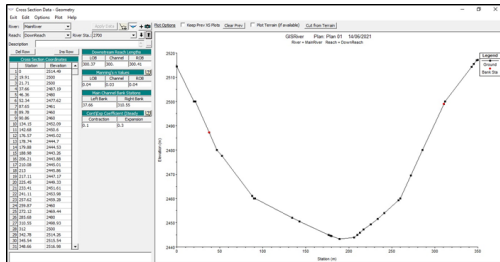
شکل ۹- مقطع عرضی بر روی رودخانه اهار؛ (الف) در مقطع عرضی ۱۰۵۰۰؛ (ب) ۳۳۳-۶۲؛ (ج) مقطع عرضی ۲۴۱۹-۲۵.



(الف)



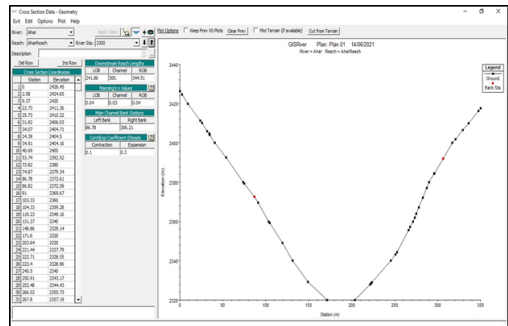
(ب)



(ج)

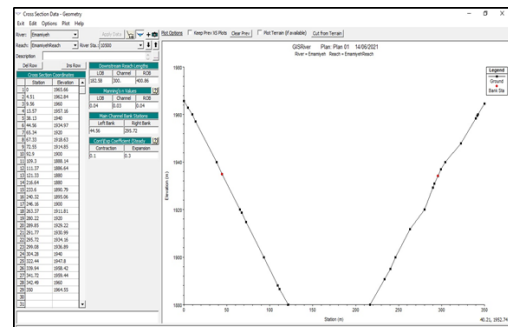
شکل ۱۰- مقطع عرضی بر روی رودخانه اهار؛ (الف) در مقطع عرضی ۶۰۰؛ (ب) ۳۰۰۰؛ (ج) مقطع عرضی ۸۴۰۰.

پس از تهیه مقاطع عرضی شکل‌های مربوط به سطح آب‌گرفتگی در مقاطع در رودخانه اصلی جابجود و سرشاخه‌های آن تهیه می‌گردد. بخشی از مقاطع سطح آب‌گرفتگی در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

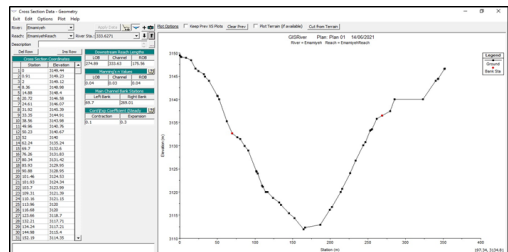


(ج)

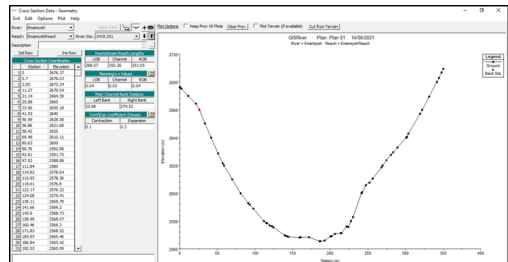
شکل ۸- مقطع عرضی بر روی رودخانه اهار؛ (الف) در مقطع عرضی ۳۰۰؛ (ب) ۵۸۶-۶۸؛ (ج) مقطع عرضی ۳۳۰۰.



(الف)



(ب)

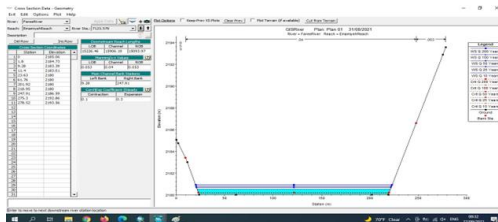


پهنه‌بندی سیلاب و ارزیابی خسارت آن با استفاده از تلفیق مدل‌های HEC-RAS و ARC-GIS با رویکرد کاهش خسارت سیلاب

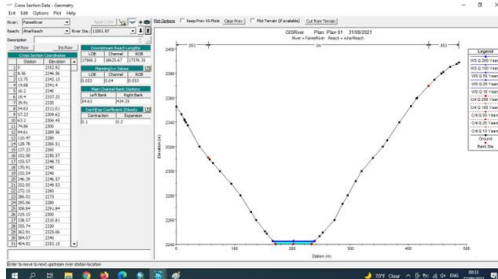
(مطالعه موردی: رودخانه جابجود-بالادست سد لتیان)

الهه اوجاقلو، محمد اکبریان

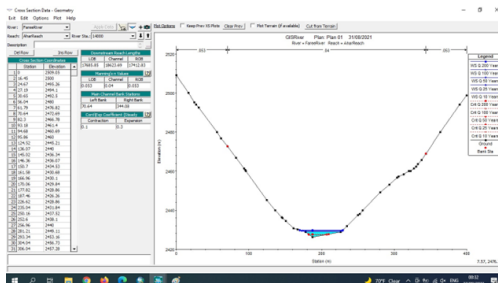
برای تعیین عمق جریان و پروفیل سطح آب در رودخانه‌ها، معادله مانینگ یکی از روابط مهم است که در نرم‌افزار HEC-RAS نیز استفاده می‌شود. ضریب زبری مانینگ در این معادله نقش کلیدی دارد و عوامل مختلفی همچون جنس و نوع دانه‌بندی بستر رودخانه، ناهمواری بستر، موانع در مسیر جریان، پوشش گیاهی و تغییرات مقاطع رودخانه در تعیین این ضریب تأثیر دارند. در این مطالعه، روش کاون (Cowen) برای برآورد ضریب زبری مانینگ استفاده شده است که کلیه این عوامل را در محاسبات خود در نظر می‌گیرد. این ضریب ترکیبی از عوامل مختلف از جمله جنس بستر، نامنظمی‌های بستر، تغییرات مقطع رودخانه، موانع و وضعیت پوشش گیاهی است. جدول ۴-۲ مقادیر ضریب زبری مانینگ برای بازه‌های مختلف رودخانه جاجرود و سرشاخه‌های آن را نشان می‌دهد. همچنین، در صورت عدم اطمینان از مقادیر ضریب مانینگ، امکان انجام تحلیل حساسیت برای ارزیابی دقیق‌تر وجود دارد. اطلاعات مربوط به این ضریب از سازمان آب منطقه‌ای تهران دریافت شده است (آب منطقه‌ای، ۱۳۹۹).



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۱۱- بخشی از سطح آب گرفتگی مقاطع؛ (الف) مقطع عرضی ۵۷۹؛ (ب) مقطع عرضی ۱۱۰۰۱؛ (ج) مقطع عرضی ۱۴۰۰۰.

تعیین ضریب مانینگ

جدول ۲- مقادیر ضریب زبری مانینگ بازه‌های مختلف رودخانه جاجرود

نام رودخانه	محل مورد نظر	ضریب مانینگ	درجه ناهمواری در سطح کانال	ضریب حاصل از تغییرات مقطع	ضریب مربوط به موانع موجود	ضریب مربوط به پوشش گیاهی	ضریب مربوط به انحنا	ضریب مانینگ کل
رودخانه جاجرود	مورد نظر	مانینگ مربوط به دانه بندی	ناهمواری در سطح کانال	تغییرات مقطع	موانع موجود	پوشش گیاهی	مربوط به انحنا	مانینگ کل

پهنه‌بندی سیلاب و ارزیابی خسارت آن با استفاده از تلفیق مدل‌های HEC-RAS و ARC-GIS با رویکرد کاهش خسارات سیلاب

(مطالعه موردی: رودخانه جاجرود-بالادست سد لتیان)

الهه اوجاقلو، محمد اکبریان

۰/۰۵۳	۱	۰/۰۱۷	۰/۰۰۶	۰	۰/۰۰۵	۰/۰۲۵	بستر رودخانه اهار
۰/۰۶۰	۱	۰/۰۱۷	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳	۰/۰۰۷	۰/۰۲۵	کناره
۰/۰۵۰	۱	۰/۰۱	۰/۰۰۷	۰	۰/۰۰۵	۰/۰۲۸	بستر رودخانه امامیه
۰/۰۵۵	۱	۰/۰۱۵	۰/۰۰۷	۰	۰/۰۰۵	۰/۰۲۸	کناره
۰/۰۵۷	۱	۰/۰۱۷	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	۰/۰۲۵	بستر رودخانه فشم
۰/۰۶۲	۱	۰/۰۱۷	۰/۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۸	۰/۰۲۵	کناره
۰/۰۶۵	۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۰۷	۰/۰۲۸	بستر رودخانه جاجرود
۰/۰۷	۱	۰/۰۲۵	۰/۰۱	۰	۰/۰۰۷	۰/۰۲۸	کناره

تعیین دوره‌های بازگشت

پیرسون تیپ ۳ که در مطالعات هیدرولوژی مورد استفاده قرار می‌گیرد، بهره‌برداری شده است. در این مطالعه، مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای بر اساس توزیع‌های آماری مختلف پردازش شده و با استفاده از آن‌ها، دبی اوج سیلاب در دوره‌های بازگشت مختلف محاسبه گردید (جدول ۳).

در مدل هیدرولیکی HEC-RAS برای رودخانه جاجرود، دبی حداکثر لحظه‌ای برای هر رودخانه در نظر گرفته شده است. این دبی‌ها برای دوره‌های بازگشت مختلف (مانند ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰ ساله) مورد استفاده قرار گرفتند. اطلاعات مورد نیاز برای این تحلیل‌ها از گزارشات معاونت مطالعات و پژوهش منابع آب وزارت نیرو و دیگر منابع معتبر جمع‌آوری شده است.

تحلیل طغیان‌ها یکی از روش‌های مناسب برای برآورد مقادیر سیلاب است که به کمک آن می‌توان احتمال وقوع سیلاب‌ها با دوره‌های بازگشت مختلف را پیش‌بینی کرد. در این مطالعه، به منظور بررسی فراوانی طغیان‌ها و احتمال وقوع سیلاب در رودخانه جاجرود، از داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای ایستگاه‌های هیدرومتری مختلف استفاده شده است. نرم‌افزار SMADA برای تحلیل داده‌ها و محاسبات هیدرولوژیکی به کار رفته است.

برای هر رودخانه در منطقه، از ایستگاه‌های هیدرومتری مانند زیرپل فشم، اوشان، کمرخانی-کلوکان و رودک استفاده شده است. برای تعیین دوره‌های بازگشت سیلاب از توزیع احتمالاتی لوگ

پهنه‌بندی سیلاب و ارزیابی خسارت آن با استفاده از تلفیق مدل‌های HEC-RAS و ARC-GIS با رویکرد کاهش خسارات سیلاب

(مطالعه موردی: رودخانه جاجرود-بالادست سد لتیان)

الهه اوجاقلو، محمد اکبریان

جدول ۳- دوره های بازگشت مختلف در ایستگاه های مورد بررسی

نام رودخانه (نام ایستگاه)				
دوره های بازگشت	رودخانه آهار(اوشان)	رودخانه فشم(زیر پل فشم)	رودخانه امامیه(کمرخانی- کلوکان)	رودخانه جاجرود(رودک)
۲	۱۲/۵۵۸	۲۰/۷۹۷	۸/۳۲۸	۶۳/۰۰۴
۵	۲۱/۰۳۶	۲۶/۷۱۷	۱۷/۸۸۷	۱۰۵/۱۷۰
۱۰	۲۷/۲۸۳	۳۲/۳۶۰	۲۵/۸۲۵	۱۳۷/۶۴۳
۲۰	۳۳/۵۲۴	۳۸/۶۹۱	۳۴/۲۱۳	۱۷۲/۰۱۲
۲۵	۳۵/۵۳۹	۴۰/۸۵۲	۳۶/۹۹۸	۱۸۳/۵۷۳
۵۰	۴۱/۸۳۰	۴۷/۹۰۱	۴۵/۸۸۲	۲۲۱/۲۱۴
۱۰۰	۴۸/۱۷۸	۵۵/۴۱۰	۵۵/۰۹۹	۲۶۱/۷۱۷
۲۰۰	۵۴/۵۹۱	۶۳/۳۳۰	۶۴/۶۱۷	۳۰۵/۳۳۵
۵۰۰	۶۳/۱۷۷	۷۴/۳۷۰	۷۷/۶۳۱	۳۶۸/۱۸۶

دوره‌های بازگشت سیلاب

طراحی به طور کلی حدود ۵۰ سال در نظر گرفته شده است. این اطلاعات به منظور ارزیابی و طراحی بهتر سیستم‌های مدیریت سیلاب در کشورها و کاهش خطرات ناشی از سیلاب‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد

در این بخش از تحقیق، دوره‌های بازگشت سیل در آیین‌نامه‌های کشورهای مختلف بررسی شده است. بر اساس جدول ۴ مشاهده می‌شود که دوره بازگشت سیل برای اراضی مسکونی، تجاری و صنعتی در اکثر کشورها بین ۲۵ تا ۱۰۰ سال است. برای اراضی کشاورزی، این دوره بین ۵ تا ۵۰ سال برآورد شده است و حداکثر دوره بازگشت طراحی سیلاب در این کشورها به ۲۰۰ سال محدود می‌شود. با در نظر گرفتن خطرات جانی، حد پایین دوره بازگشت سیلاب برای

پهنه‌بندی سیلاب و ارزیابی خسارت آن با استفاده از تلفیق مدل‌های HEC-RAS و ARC-GIS با رویکرد کاهش خسارات سیلاب

(مطالعه موردی: رودخانه جاجرود-بالادست سد لتیان)

الهه اوجاقلو، محمد اکبریان

جدول ۴- دوره بازگشت سیل در کشورهای مختلف بر اساس کاربری اراضی

کشور	کاربری اراضی			توضیحات
	مسکونی	تجاری	صنعتی	
آمریکا	۲۵-۱۰۰	۲۵-۱۰۰	۲۵-۱۰۰	در مناطق غیر کشاورزی حد بالا برای حالت وجود خطر جانی و حد پایین عدم وجود خطر جانی است
استرالیا	۵۰-۱۰۰	۵۰-۱۰۰	۵۰-۱۰۰	-
بلغارستان	۳۰-۲۰۰	۱۰۰-	۱۰۰-	مناطق مسکونی پر جمعیت حد بالا و مناطق مسکونی کم جمعیت حد پایین را استفاده کنند.
چکسلواکی	۱۰۰	۱۰۰	۵۰-۱۰۰	-
چین	۱۰۰-۲۰۰	-	-	-
ژاپن	۱۰۰-۲۰۰	۲۰۰	۱۰۰-	تقسیم بندی بر اساس رودخانه بوده و فقط رودخانه های بزرگ در این جدول آورده شده است
سوئیس	۱۰۰	۱۰۰	-	-
فیلیپین	۵۰-۱۰۰	۱۰۰	-	-
لهستان	۱۰۰-	۱۰۰۰	۵۰۰	-
کانادا	۱۰۰	-	-	-
هندوستان	۵۰	۵۰	۲۵	-

پهنه بندی سیلاب

جاجرود و سرشاخه‌های آن، پهنه‌بندی سیلاب انجام شد. در این مطالعات، به دلیل وجود سه سرشاخه اصلی در رودخانه جاجرود، ابتدا هر یک از این شاخه‌ها مورد بررسی قرار گرفت و سپس مساحت‌های مربوط به دوره‌های بازگشت مختلف هر یک از سرشاخه‌ها محاسبه شد. در نهایت، به بررسی رودخانه جاجرود پرداخته شد که به دو بخش بالا دست و پایین دست تقسیم شد تا نتایج واضح‌تر مشخص گردد.

در این بخش از مطالعات، از الحاقیه Hec-GeoRAS در محیط نرم‌افزار ArcGIS برای پهنه‌بندی سیلاب استفاده شده است. به منظور انجام این عملیات، خروجی نرم‌افزار HEC-RAS به همراه فایل توپوگرافی سه‌بعدی (TIN) وارد سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) گردید. با توجه به دوره‌های بازگشت مختلف (۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله) برای رودخانه

پهنه‌بندی سیلاب و ارزیابی خسارت آن با استفاده از تلفیق مدل‌های HEC-RAS و ARC-GIS با رویکرد کاهش خسارات سیلاب

(مطالعه موردی: رودخانه جاجرود-بالادست سد لتیان)

الهه اوجاقلو، محمد اکبریان

پایین‌دست رودخانه نیز تحت تاثیر سیلاب خواهند بود.

با افزایش دوره بازگشت، مساحت سیلاب افزایش می‌یابد. برای دوره بازگشت ۲۵ ساله، مساحت سیلاب به اندازه ۱ هکتار بیشتر از دوره ۱۰ ساله بوده و اراضی بیشتری را شامل می‌شود. در دوره بازگشت ۵۰ ساله، مساحت سیلاب به ۱۳۲,۸۲ هکتار می‌رسد. حدود ۹۹ درصد از سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در محدوده سیلاب دوره بازگشت ۵۰ ساله قرار دارد. جدول ۵، مساحت و سهم نسبی هر یک از دوره‌های بازگشت نشان می‌دهد. همچنین، شکل ۱۲ پهنه‌های سیل در دوره‌های بازگشت مختلف برای محدوده فشم را نشان می‌دهد.

نتایج بررسی دوره‌های بازگشت مختلف نشان می‌دهد که بیشترین مساحت سیلاب مربوط به دوره بازگشت ۲۰۰ ساله است، در حالی که کمترین مساحت مربوط به دوره بازگشت ۱۰ ساله می‌باشد. در تحلیل‌های مربوط به دوره‌های بازگشت ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله، تلاش شده است که مساحت و پهنه‌های سیلاب نسبت به دوره بازگشت ۱۰۰ ساله بررسی و مقایسه شوند.

بررسی رودخانه فشم

رودخانه فشم که یکی از سرشاخه‌های شمالی رودخانه جاجرود است، در دوره بازگشت ۱۰ ساله مساحتی معادل ۱۳۰,۰۸ هکتار از اراضی را تحت تاثیر سیلاب قرار می‌دهد. در بخش‌های ابتدایی رودخانه این مساحت کمتر است، اما در بخش‌های انتهایی و پایین‌دست رودخانه مساحت بیشتری را در بر می‌گیرد. در این دوره بازگشت، تنها روستای زایگان در محدوده پهنه سیلاب قرار دارد. اراضی کشاورزی

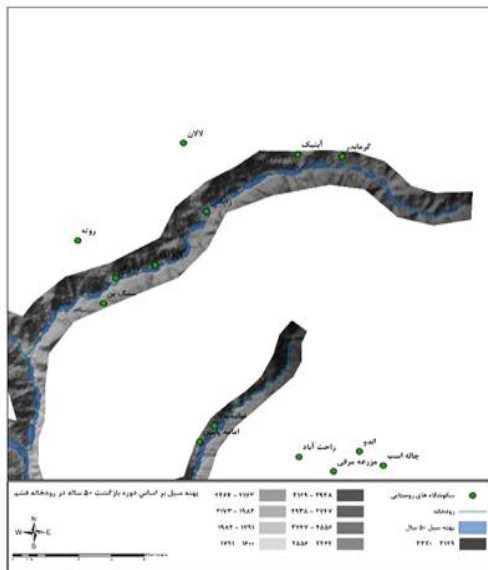
جدول ۵- مساحت و سهم نسبی هر یک از دوره‌های بازگشت در رودخانه فشم

دوره بازگشت	۱۰ ساله	۲۵ ساله	۵۰ ساله	۱۰۰ ساله	۲۰۰ ساله
مساحت (هکتار)	۱۳۰,۰۸	۱۳۱,۴۸	۱۳۲,۸۲	۱۳۴,۰۲	۱۳۵,۲۲
سهم نسبی نسبت به دوره بازگشت ۱۰۰ ساله	۹۷,۰۶	۹۸,۱۰	۹۹,۱۰	۱۰۰,۰۰	۱۰۰,۸۹

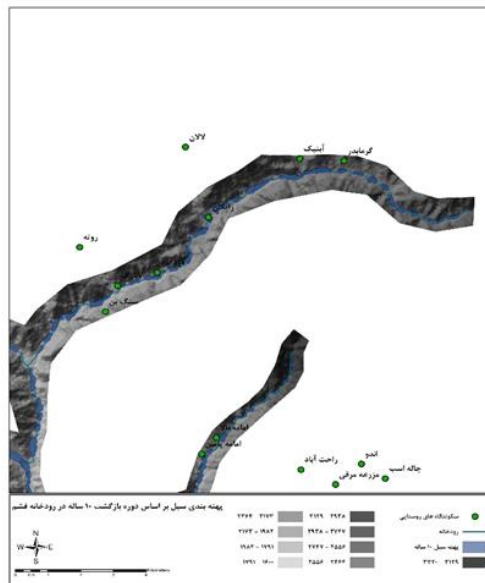
پهنه‌بندی سیلاب و ارزیابی خسارت آن با استفاده از تلفیق مدل‌های HEC-RAS و ARC-GIS با رویکرد کاهش خسارات سیلاب

(مطالعه موردی: رودخانه جاجرود-بالادست سد لتیان)

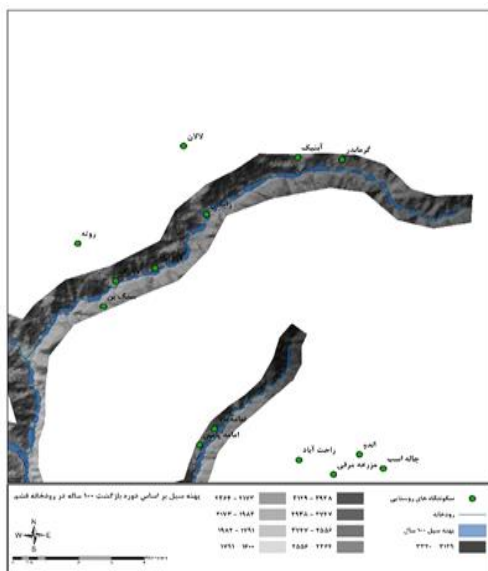
الهه اوجاقلو، محمد اکبریان



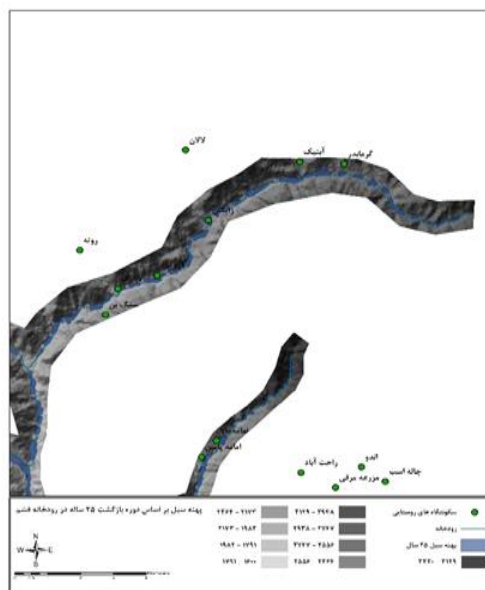
(ج)



(الف)



(د)



(ب)

پهنه‌بندی سیلاب و ارزیابی خسارت آن با استفاده از تلفیق مدل‌های HEC-RAS و ARC-GIS با رویکرد کاهش خسارات سیلاب

(مطالعه موردی: رودخانه جاجرود-بالادست سد لتیان)

الهه اوچاقلو، محمد اکبریان

به همین ترتیب مساحت و سهم نسبی هر یک از دوره‌های بازگشت برای رودخانه‌های امامیه و جاجرود نیز در جداول ۶ و ۷ ارائه شده است.

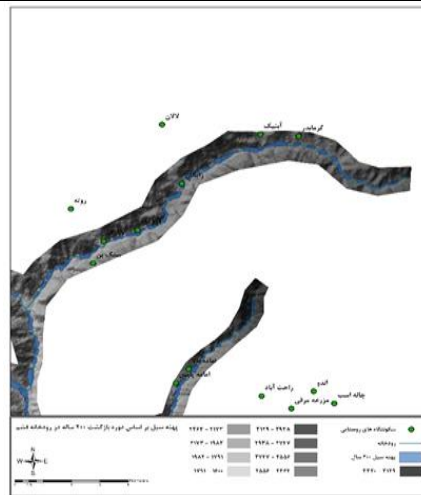
نتایج حاصل از پهنه بندی سیلاب

بر اساس نتایج به دست آمده از مطالعات سیلاب در رودخانه جاجرود و سرشاخه‌های آن، سه روستا در پهنه‌های سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف قرار

جدول ۶- مساحت و سهم نسبی هر یک از دوره های بازگشت در رودخانه امامیه

دوره بازگشت	۱۰ ساله	۲۵ ساله	۵۰ ساله	۱۰۰ ساله	۲۰۰ ساله
مساحت (هکتار)	51.67	53.67	54.70	55.47	56.51
سهم نسبی نسبت به دوره بازگشت ۱۰۰ ساله	93.15	96.74	98.61	100.00	101.87

دارند. روستاهای زردکوه و حاجی‌آباد در پهنه‌های سیلاب با دوره بازگشت ۱۰ ساله و بالاتر قرار دارند، در حالی که روستای رودک در پهنه سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ ساله واقع شده است. از آنجا که پهنه‌های سیلاب با توجه به شرایط خاص هر بخش از رودخانه تغییر می‌کنند، مشاهده می‌شود که با حرکت از بخش‌های بالادست به سمت پایین‌دست رودخانه، مساحت این پهنه‌ها افزایش می‌یابد.



(ه)

شکل ۱۲- پهنه های سیل در دوره بازگشت ۲۰۰ رودخانه فشم

جدول ۷- مساحت و سهم نسبی هر یک از دوره های بازگشت در رودخانه جاجرود

دوره بازگشت	۱۰ ساله	۲۵ ساله	۵۰ ساله	۱۰۰ ساله	۲۰۰ ساله
-------------	---------	---------	---------	----------	----------

پهنه‌بندی سیلاب و ارزیابی خسارت آن با استفاده از تلفیق مدل‌های HEC-RAS و ARC-GIS با رویکرد کاهش خسارات سیلاب

(مطالعه موردی: رودخانه جاجرود-بالادست سد لتیان)

الهه اوچاقلو، محمد اکبریان

65.51	65.16	64.83	64.24	63.72	مساحت (هکتار)
100.51	100.00	99.50	98.60	97.80	سهام نسبی نسبت به دوره بازگشت ۱۰۰ ساله

بیشترین عمق جریان در بالادست رودخانه مشاهده می‌شود، جایی که رودخانه تنگ و مقاطع عمیق‌تری دارد. این عمق جریان در پایین دست رودخانه کاهش می‌یابد، زیرا بستر رودخانه عریض‌تر می‌شود. مشابه این روند در رودخانه فشم مشاهده می‌شود که در دوره بازگشت ۲۵ ساله، عمق جریان در بالادست بیشتر از پایین دست است. در رودخانه جاجرود، عمق جریان در دوره بازگشت ۲۰۰ ساله تقریباً یک متر بیشتر از دوره بازگشت ۱۰ ساله است. به‌طور کلی، در تمامی رودخانه‌ها، عمق جریان در دوره‌های بازگشت بزرگتر بیشتر از دوره‌های کوچک‌تر است، و این افزایش عمق در بخش‌های بالادست و در مناطقی که بستر رودخانه دارای شیب بیشتری است، بیشتر مشهود است.

این نتایج شبیه‌سازی شده در محیط نرم‌افزار GIS می‌تواند به مدیران منابع آب و مهندسان طراحی کمک کند تا بهتر بتوانند در برابر سیلاب‌ها و بحران‌های ناشی از آن برنامه‌ریزی کرده و اقدامات لازم را انجام دهند. همچنین این داده‌ها می‌تواند در طراحی زیرساخت‌ها و تعیین مکان‌های حساس برای برنامه‌های مقابله با سیلاب مفید واقع شود.

ارزیابی خسارت

یکی از اهداف اصلی این پژوهش، ارزیابی میزان خسارات ناشی از سیلاب‌ها بوده است. برای این منظور از نرم‌افزار HEC-FIA استفاده شده است. در این نرم‌افزار برای شبیه‌سازی سناریوهای مختلف، دو روش

حداکثر سرعت جریان

در این تحقیق همچنین، یکی دیگر از خروجی‌های نرم‌افزار ArcGIS محاسبه میزان سرعت جریان در طول رودخانه جاجرود و سرشاخه‌های آن است. نتایج حاصل از این مطالعات نشان می‌دهد که بیشترین سرعت جریان در رودخانه‌های مختلف در بالادست رودخانه‌ها و در مناطقی که شیب بیشتری دارند مشاهده می‌شود. به‌طور خاص، در رودخانه امامیه، بیشترین سرعت جریان در دوره بازگشت ۲۰۰ ساله ثبت شده، در حالی که کمترین سرعت مربوط به دوره بازگشت ۱۰ ساله است. به تدریج که به سمت پایین دست رودخانه حرکت می‌کنیم، میزان سرعت جریان کاهش می‌یابد. مشابه همین روند در رودخانه فشم نیز دیده می‌شود، به‌طوری که در دوره بازگشت ۲۵ ساله، سرعت جریان در ابتدا بیشتر است و سپس در میانه و انتهای رودخانه کاهش می‌یابد. در رودخانه جاجرود، سرعت جریان در دوره بازگشت ۵۰ ساله بیشتر از دوره‌های بازگشت قبلی است و در بخش‌های ابتدایی به دلیل شیب زیاد، سرعت جریان بیشتر بوده و سپس در میانه رودخانه کاهش می‌یابد.

حداکثر عمق جریان

علاوه بر سرعت جریان، عمق جریان نیز یکی از پارامترهای مهمی است که در این تحقیق بررسی شده است. در رودخانه امامیه، عمق جریان در دوره بازگشت ۱۰ ساله بین ۰٫۱۲ متر تا ۲۳٫۶۸ متر متغیر است و

پهنه‌بندی سیلاب و ارزیابی خسارت آن با استفاده از تلفیق مدل‌های HEC-RAS و ARC-GIS با رویکرد کاهش خسارات سیلاب

(مطالعه موردی: رودخانه جاجرود-بالادست سد لتیان)

الهه اوجاقلو، محمد اکبریان

دارند که بیشترین حجم آن در اطراف رودخانه اصلی جاجرود واقع است. در صورت وقوع سیل با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، خسارات وارده به این اراضی حدود ۷،۹۰۵ میلیون ریال برآورد شده است. در مجموع، خسارات وارده به واحدهای مسکونی در سیلاب‌های با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله به حدود ۱۵،۱۱۲ میلیون ریال می‌رسد. این میزان خسارت نیازمند راهکارهایی برای کاهش اثرات سیلاب است.



(الف)



(ب)



(ج)

انتخاب وجود دارد. روش اول مربوط به وضعیت‌هایی است که پروژه‌های سازه‌های مانند سد، مخزن و بند وجود داشته باشد. در این حالت، دو گزینه برای شبیه‌سازی تعریف می‌شود؛ یکی با وجود پروژه‌های سازه‌ای و دیگری بدون این پروژه‌ها. در این تحقیق، از روش دوم استفاده شده است که داده‌های هیدرولوژیکی به صورت شبکه طغیان رودخانه وارد نرم‌افزار می‌شوند. در مرحله دوم، بازه زمانی و زمان شروع و پایان شبیه‌سازی تعیین گردید که برای این تحقیق یک بازه ۶ ساعته در نظر گرفته شد.

نتایج نرم‌افزار به صورت جدول‌هایی ارائه می‌شود که میزان خسارات را برای هر یک از کاربری‌ها مشخص می‌کند. در این تحقیق، عمده خسارات به اراضی کشاورزی وارد شده است که محصولات عمده آن شامل آلوچه، سیب و گردو بوده‌اند. با توجه به حجم کم محصولات دیگر، این محصولات از محاسبات حذف شده‌اند. حدود ۴۲۰ هکتار از اراضی کشاورزی در پهنه سیل قرار گرفته‌اند که بیشترین مساحت آن به رودخانه اصلی جاجرود اختصاص دارد. میزان خسارات وارده به اراضی کشاورزی در مجموع حدود ۱۱،۱۱۹،۷ میلیون ریال برآورد شده است. تصاویر نقشه‌ها از پهنه‌های سیلاب در محدوده‌های مختلف رودخانه‌ها نشان‌دهنده این مناطق هستند (شکل ۱۳).

یکی دیگر از خروجی‌های نرم‌افزار HEC-FIA، ارزیابی خسارات به کاربری‌های مسکونی است. از آنجا که اطلاعات دقیقی از نوع کاربری‌های انسان‌ساخت در محدوده وجود نداشت، تمامی کاربری‌ها به عنوان مسکونی در نظر گرفته شدند. طبق محاسبات، حدود ۱۸۰ هکتار از اراضی مسکونی در معرض سیلاب قرار

پهنه‌بندی سیلاب و ارزیابی خسارت آن با استفاده از تلفیق مدل‌های HEC-RAS و ARC-GIS با رویکرد کاهش خسارات سیلاب

(مطالعه موردی: رودخانه جاجرود-بالادست سد لتیان)

الهه اوچاقلو، محمد اکبریان

به‌ویژه در مناطقی که دارای خسارات زیادی بودند، مورد بررسی قرار گرفته است. راهکار دوم، افزایش ارتفاع دیواره‌های رودخانه است که برای مناطق با کاربری مسکونی در نظر گرفته شده است. پس از اعمال این تغییرات در نرم‌افزار HEC-RAS، محدوده سیل و میزان خسارات ناشی از آن محاسبه شد.

نتایج نشان داد که پس از اعمال تغییرات در عرض رودخانه، میزان خسارات به اراضی کشاورزی کاهش یافته است. میزان خسارات پس از اعمال این تغییرات در رودخانه‌های با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، به حدود ۷،۳۲۶ میلیون ریال رسید که نشان‌دهنده کاهش ۳۰ درصدی نسبت به حالت اولیه است. همچنین در مورد کاربری مسکونی، با اعمال تغییرات در مسیر رودخانه و ایجاد دیواره‌های حائل، میزان خسارات به طور متوسط حدود ۳۶ درصد کاهش یافته است. این کاهش خسارات در مناطق مختلف به‌طور متفاوتی مشاهده شده است، اما به طور کلی نشان‌دهنده کاهش چشم‌گیر در میزان خسارات است. جداول ۸ تا ۱۰، به ترتیب، مساحت و میزان خسارت سیل وارد شده به اراضی کشاورزی، کاربری مسکونی، و کاربری کشاورزی پس از اعمال تغییرات را نشان می‌دهد.



(د)



(ه)

شکل ۱۳- پهنه‌ی سیلاب در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله؛ (الف) ر در محدوده بالادست سد لتیان؛ (ب) در محدوده روستای امامه بالا؛ (ج) در محدوده روستای زایگان؛ (د) در محدوده روستای میگون؛ (ه) در محدوده روستای آهار.

راهکارهای کاهش خسارت

در این تحقیق، دو راهکار اصلی برای کاهش خسارات ناشی از سیلاب‌ها پیشنهاد شده است. اولین راهکار تعریض عرض رودخانه‌ها است که بیشتر در اراضی با کاربری کشاورزی پیشنهاد شده است. این راهکار

جدول ۸- مساحت و میزان خسارات سیل وارد شده به اراضی کشاورزی

نام منطقه تحت تاثیر	مساحت(هکتار)	ارزش زمین(میلیون ریال)	خسارت وارد شده(میلیون ریال)
جاجرود	۹۵/۲۰۴	۳۰	۵۸/۶۱۴۷
امامیه	۸۳/۳۸	۲۵	۷۷/۹۷۰
آهار	۷۵/۸۲	۲۰	۹۳/۱۶۵۴
فشم	۸۲/۹۸	۲۵	۳۴/۲۳۴۵
جمع کل	۳۵/۴۲۰	۱۰۰	۷/۱۱۱۱۹

پهنه‌بندی سیلاب و ارزیابی خسارت آن با استفاده از تلفیق مدل‌های HEC-RAS و ARC-GIS با رویکرد کاهش خسارات سیلاب

(مطالعه موردی: رودخانه جاجرود-بالادست سد لتیان)

الهه اوجاقلو، محمد اکبریان

جدول ۹- مساحت و میزان خسارات سیل وارد شده به کاربری مسکونی

نام منطقه تحت تاثیر	مساحت (هکتار)	ارزش زمین (میلیون ریال)	خسارت وارد شده (میلیون ریال)
جاجرود	۸۴/۸۷	۹۰	۳/۷۹۰۵
امامیه	۶۴/۱۶	۸۰	۳۵/۱۳۳۱
آهار	۴۶/۳۵	۷۵	۷۷/۲۶۵۹
فشم	۲۱/۴۰	۸۰	۵۴/۳۲۱۶
جمع کل	۱۵/۱۸۰	۳۲۵	۹۸/۱۵۱۱۲

خسارات وارد شده به اراضی کشاورزی و مسکونی قابل توجه بوده و در صورت وقوع سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، میزان خسارات به اراضی کشاورزی حدود ۱۱،۱۱۹،۷ میلیون ریال و به واحدهای مسکونی حدود ۱۵،۱۱۲ میلیون ریال خواهد بود. با این حال، پیشنهادات مختلفی برای کاهش این خسارات ارائه شده است. اعمال تغییرات در عرض رودخانه برای اراضی کشاورزی و افزایش ارتفاع دیواره‌ها برای اراضی مسکونی می‌تواند به‌طور چشمگیری خسارات را کاهش دهد. به‌طور خاص، پس از اعمال اصلاحات در عرض رودخانه، میزان خسارات به اراضی کشاورزی حدود ۳۰ درصد کاهش یافت و با افزایش ارتفاع دیواره‌ها در اراضی مسکونی، میزان خسارات به‌طور متوسط ۳۶ درصد کاهش یافت. این یافته‌ها نشان می‌دهند که استفاده از راهکارهای سازه‌ای نظیر تعریض رودخانه و افزایش ارتفاع دیواره‌ها می‌تواند در کاهش خسارات ناشی از سیلاب‌ها موثر باشد و نیازمند اقدامات بیشتر در حوزه مدیریت و پیشگیری از سیلاب‌ها است.

با توجه به نتایج به دست آمده، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از راهکارهای سازه‌ای، مانند تعریض عرض رودخانه و افزایش ارتفاع دیواره‌ها، می‌تواند تاثیر قابل توجهی در کاهش خسارات ناشی از سیلاب‌ها داشته باشد. البته باید اشاره کرد که در این تحقیق، خسارات وارده به تاسیسات و زیرساخت‌ها بررسی نشده است و پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آینده به این جنبه‌ها نیز پرداخته شود.

به عنوان یک نتیجه گیری کلی، استفاده از مدل HEC-RAS و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای پهنه‌بندی سیلاب‌ها نشان داد که شش روستا در پهنه‌های سیلابی مختلف رودخانه جاجرود و سرشاخه‌های اصلی آن قرار دارند. مساحت کل پهنه‌های سیلابی در دوره‌های بازگشت مختلف به ترتیب برای دوره بازگشت ۱۰ ساله ۳۷۶،۵ هکتار، برای دوره بازگشت ۲۵ ساله ۳۹۰ هکتار و برای دوره بازگشت ۵۰ ساله ۴۱۵ هکتار بوده که نزدیک به ۹۴ درصد از مساحت سیلاب با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله را پوشش می‌دهند. این نتایج نشان‌دهنده اهمیت بررسی پهنه‌های سیلابی در برنامه‌ریزی‌های مدیریت سیلاب است. علاوه بر این، ارزیابی خسارات ناشی از سیلاب‌ها به کمک نرم‌افزار HEC-FIA نشان داد که

پهنه‌بندی سیلاب و ارزیابی خسارت آن با استفاده از تلفیق مدل‌های HEC-RAS و ARC-GIS با رویکرد کاهش خسارات سیلاب

(مطالعه موردی: رودخانه جاجرود-بالادست سد لتیان)

الهه اوجاقلو، محمد اکبریان

جدول ۱۰- مساحت و میزان خسارات سیل وارد شده به اراضی کشاورزی پس از اعمال تغییرات.

نام منطقه تحت تاثیر	مساحت (هکتار)	ارزش زمین (میلیون ریال)	خسارت وارد شده (میلیون ریال)
جاجرود	۴۷/۱۳۵	۳۰	۲۸/۴۰۶۴
امامیه	۱۱/۲۸	۲۵	۸۴/۷۰۲
آهار	۵۱/۵۶	۲۰	۳۷/۱۱۳۰
فشم	۰۴/۶۹	۲۵	۲۱/۱۷۲۶
جمع کل	۵۷/۱۷۵	۱۰۰	۶۰/۷۳۲۶

جمع‌بندی

و عمق جریان سیلاب‌ها در طول رودخانه جاجرود است که نشان داد سرعت جریان در بالادست رودخانه بیشتر است و در بخش‌های پایین‌دست با کاهش سرعت جریان و عمق جریان مواجه هستیم.

در نهایت، این تحقیق به اهمیت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب و شبیه‌سازی‌های دقیق برای پیش‌بینی و مدیریت سیلاب‌ها اشاره دارد. همچنین، نتایج نشان می‌دهند که روش‌های غیر سازه‌ای مانند مدیریت کاربری‌های اراضی، اجرای پوشش گیاهی مناسب و اجرای برنامه‌های پیش‌بینی و هشدار می‌توانند تأثیر قابل توجهی در کاهش خسارات سیلاب‌ها داشته باشند. همچنین، تحقیق نشان داد که ساخت و سازه‌های غیرقانونی در حریم رودخانه باعث افزایش خسارات جانی و مالی می‌شود و ضروری است که قوانین و مقررات در این زمینه به‌طور جدی‌تر رعایت شوند. در این راستا، پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آینده، پروژه‌های مشابه با در نظر گرفتن شرایط محلی و استفاده از داده‌های دقیق‌تر انجام شود و روش‌های غیر سازه‌ای به‌طور ویژه مورد توجه قرار گیرد.

این تحقیق به بررسی ارزیابی خسارات ناشی از سیلاب در رودخانه جاجرود و سرشاخه‌های آن پرداخته است و نتایج به دست آمده، به ویژه در زمینه مدل‌سازی و مدیریت بحران‌های سیلابی، اهمیت بسیاری دارد. نتایج نشان می‌دهند که افزایش دوره بازگشت سیلاب‌ها باعث افزایش میزان دبی و گسترش پهنه‌های سیلابی می‌شود. به طور خاص، در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله، مساحت پهنه سیلابی به ۴۳۸ هکتار و در دوره بازگشت ۲۰۰ ساله، به ۴۸۳ هکتار می‌رسد. این پهنه‌های سیلابی، مناطق مختلفی از جمله شش روستا را در بر می‌گیرند که در صورت وقوع سیلاب، خسارات زیادی به اراضی کشاورزی و مسکونی وارد خواهد شد. به طور خاص، خسارات به اراضی کشاورزی به میزان ۱۱،۱۱۹،۷ میلیون ریال و به اراضی مسکونی به ۱۵،۱۱۲ میلیون ریال می‌رسد. همچنین، استفاده از نرم‌افزار HEC-FIA برای ارزیابی خسارات نشان داد که انجام اقدامات اصلاحی مانند تعریض عرض رودخانه در اراضی کشاورزی و افزایش ارتفاع دیواره‌ها در اراضی مسکونی می‌تواند به ترتیب تا ۳۰٪ و ۳۶٪ خسارات را کاهش دهد. از دیگر نتایج این تحقیق، بررسی سرعت

پهنه‌بندی سیلاب و ارزیابی خسارت آن با استفاده از تلفیق مدل‌های HEC-RAS و ARC-GIS با رویکرد کاهش خسارات سیلاب

(مطالعه موردی: رودخانه جاجرود-بالادست سد لتیان)

الهه اوجاقلو، محمد اکبریان

مراجع

خدری، غ. (۱۳۹۹). HEC-RAS پهنه بندی سیلاب در محدوده بالادست و پایین دست سد قشقلق سنندج با استفاده از مدل. موسسه آموزش عالی توسعه دانش-رشته مهندسی و مدیریت منابع آب.

راهنمای پهنه بندی سیلاب و تعیین حد بستر و حریم رودخانه، نشریه شماره ۳۰۷ (۱۳۸۴)

دیلمی، آ. ر. ر. س. ج. ق. ا. ا. (۱۳۹۰). GIS پهنه بندی خطر سیلاب با استفاده از نرم افزار هکرس در محیط. پنجمین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک کشور مطالعه موردی طالقان.

راد، ر. ج. (۱۳۸۱). GIS پهنه بندی سیلاب در بخشی از حوزه آبخیزداری شهر تهران با استفاده از. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

رضایی مقدم محمدحسین، ا. س. ص. فیض اله پور مهدی. (پاییز ۱۳۹۰). مدل سازی جریان سیلاب حوضه آبریز رودخانه جاجرود با استفاده از رگرسیون چند متغیره. جغرافیا/دوره ۹/شماره ۳۰، ۱۷۶-۱۶۳.

سراب، ع. ب. م. ع. ا. ش. ع. و. ع. (۱۳۸۴). مطالعه موردی رودخانه قمرود-شهر قم GIS, RS پهنه بندی سیلاب رودخانه های درون شهری با رویکرد (پایان نامه کارشناسی ارشد سنجش از دور سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه شهید بهشتی).

ا. ج. پ. م. ج. (۱۳۸۹). تعیین حد بستر و حریم سیلاب رودخانه ها با استفاده از تصمیم گیری های چند معیاره. نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران-دانشگاه تربیت مدرس-تهران، ایران.

ا. خ. ک. ص. ا. (۱۳۸۹). لزوم تعیین حریم رودخانه های درون شهری برای کاهش خسارات وقوع سیلاب-از موارد بررسی: رودخانه کهنوج استان کرمان اولین کنفرانس ملی مدیریت سیلاب های شهری-تهران، ایران.

آبخیزداری، م. (۱۳۸۱). بررسی وضعیت سیلاب کشور.

ایران (ایرنا)، خ. ج. ا. (۱۳۹۹). ضرورت تهیه و تدوین نقشه پهنه بندی سیلاب کشور. کد خبر: ۸۳۲۷۹۶۴۳-میز گرد تخصصی. Retrieved from www.irna.ir/news/83279643

ایران (ایسنا)، خ. د. (۱۳۹۸). علم و فناوری ایران. Retrieved from www.Isna.ir

تبار، ز. ز. (شهریور ۱۳۹۵). مطالعه موردی: حوضه آبریز زیلبرچای HEC-HMS پهنه بندی سیلاب با استفاده از مدل دانشگاه تبریز-دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی

چی، م. ش. ز. س. ع. ح. ع. ک. (۱۳۹۷). برای شبیه سازی هیدروپدینامیکی و پهنه بندی سیلاب رودخانه جاجرود GIS, RS تلفیق. ششمین کنفرانس جامع مدیریت و مهندسی سیلاب.

پهنه بندی سیلاب و ارزیابی خسارت آن با استفاده از تلفیق مدل های HEC-RAS و ARC-GIS با رویکرد کاهش خسارات سیلاب

(مطالعه موردی: رودخانه جاجرود-بالادست سد لتیان)

الهه اوجاقلو، محمد اکبریان

سیستم اطلاعات جغرافیایی طرح پایان نامه کارشناسی ارشد-دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی.

گراوندی، ی. (۱۳۹۱). GIS و سیستم اطلاعات جغرافیایی (MCDA) پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری با استفاده از آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره طرح پایان نامه کارشناسی ارشد-دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. مطالعه موردی: شهر کرمانشاه.

ملازهی، ا. (۱۳۹۷). پهنه بندی مناطق مستعد سیلاب در حوضه آبریز سرپاز. دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی.

نگهبان، ح. (۱۳۹۵). HEC-HMS پهنه بندی خطر سیلاب شهری با استفاده از مدل.

نیارو، ر. ع. ا. ب. ه. م. و. د. ح. (مهرماه ۱۳۸۷). GIS مدل سازی هیدرولوژیکی حوضه های آبریز با استفاده از تصاویر ماهواره ای و سومین کنفرانس مدیریت منابع آب-دانشگاه تبریز، دانشکده مهندسی عمران ۲۳-۲۵.

نیرو، م. ا. ع. ا. و. ک. و. (۱۳۹۸). Retrieved from <http://lib.moe.gov.ir>

ولیزاده، ک. (۱۳۸۶). کاربرد جی آی اس در پهنه بندی خطر سیلاب-مطالعه موردی: حوضه رود ليقوان مجله فضایی جغرافیایی، سال هفتم ۱۷۰-۱۵۳.

وهایی، ج. (اردیبهشت ۱۳۸۴). پهنه بندی خطر سیل با استفاده از مدل های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی.

سعیدینیا، آ. (۱۳۹۵). پهنه بندی سیلاب در بخشی از کلانشهر کرج-محدوده رودخانه آتشفشان باغستان. پایان نامه کارشناسی ارشد-دانشگاه خوارزمی.

سلاجقه، ع. س. ف. س. ک. س. و. (بهمن ۱۳۸۸). HEC-HMS کاربرد مدل هیدرولوژیکی در شبیه سازی جریان با استفاده از هشتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه-اهواز دانشگاه شهید چمران، حوزه سد جیرفت، ۱۱-۱۲.

صدرافشاری، س. (۱۳۹۰). HEC-RAS پهنه‌بندی سیلاب رودخانه کلکان چای با مدل سازی داده‌های بارش-رواناب در مدل طرح پایان نامه کارشناسی ارشد-دانشگاه تبریز.

عبرقی، ه. (۱۳۸۳). GIS پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از مدل ریاضی و. مطالعه موردی رودخانه جاجرود استان تهران، ۴.

غلامی، م. (شهریور ۱۳۹۶). پهنه بندی سیل خیزی و سیل گیری در حوضه کن. دانشگاه خوارزمی-رشته هیدروژئومورفولوژی در برنامه ریزی محیطی.

فنی، د. ت. ض. و. م. (۱۳۸۴).

قلی‌زاده، ه. ح. (۱۳۹۸). -حوضه آبریز آذرشهرچای ANP پهنه بندی خطر وقوع سیلاب با استفاده از مدل تحلیل شبکه رشته ی ژئومورفولوژی گرایش برنامه ریزی محیطی.

کاویانی، م. (۱۳۹۷). GIS پهنه بندی خطر سیلاب در رودخانه شش‌رودبار بخش سواد کوه با استفاده از

پهنه‌بندی سیلاب و ارزیابی خسارت آن با استفاده از تلفیق مدل های HEC-RAS و ARC-GIS با رویکرد کاهش خسارات سیلاب

(مطالعه موردی: رودخانه جاجرود-بالادست سد لتیان)

الهه اوجاقلو، محمد اکبریان

Davis., C. R. D. a. D. W. (1989). An Integrated Software Package for Flood Damage Analysis ; Technical Report Hydrologic Engineering Center(HEC)

Demir, V. K., O. (2016). Flood Hazard Mapping by Using Geographic Information System and Hydraulic Model. Advances in Meteorology, Mert River, Samsun, Turkey

Fuagara, A., Ahmad,T. (2008). The Application Of Hydraulic Model With GIS For Visual Floodplain Mapping. 26(A Case Study Of Kuala City), 273-282

Evaluation of the Efficiency of VIKOR and TOPSIS Methods for Optimal Pressure Reducing Valve Placement in Water Distribution Networks

M. Shokouhi jam¹, P. Taheri Ghazvini^{2*}

مجله پژوهش و سازندگی-شماره مطالعه موردی: طالقان رود، ۳۶.

یکم، م. م. (۱۳۸۹). مطالعات فیزیوگرافی، هواشناسی، هیدرولوژی و تعیین حد بستر و ساماندهی مرحله Casa رودخانه کاجو در محدوده بالادست شهر قصرقند تا محل الحاق به رودخانه باهوکلان.

شرکت آب منطقه ای تهران، هشتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، ۱۳۹۹.

وزارت نیرو، دفتر مطالعات پایه مدیریت منابع آب، ۱۳۹۸.

ارزیابی کارایی روش های VIKOR و TOPSIS برای تعیین مکان بهینه شیرهای فشارشکن در شبکه آبرسانی

مائه شکوهی جم^۱، پژمان طاهری قزوینی^{۲*}

پهنه‌بندی سیلاب و ارزیابی خسارت آن با استفاده از تلفیق مدل‌های HEC-RAS و ARC-GIS با رویکرد کاهش خسارات سیلاب

(مطالعه موردی: رودخانه جاجرود-بالادست سد لتیان)

الهه اوچاقلو، محمد اکبریان