

## بررسی تأثیر سازه‌های تقاطعی و ضریب زبری بر عمق و پهنه سیلاب در مسیل‌های شهری (مطالعه موردی مسیل زرکش مشهد)

سیدعلیرضا اسماعیلی و ابوالفضل مساعدی<sup>\*۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۴/۲)

### چکیده

در دهه‌های اخیر افزایش جمعیت، گسترش شهرنشینی، تغییرات محیطی شهرها و مسائل ناشی از آن یکی از موضوعات مهم در برنامه‌ریزی صحیح به منظور مدیریت محیط زیست شهری است. یکی از مسائل مطرح در توسعه شهری، موضوع وقوع سیلاب و آب‌گرفتگی ناشی از بارندگی‌های شدید است. در این پژوهش به مدل‌سازی سیلاب در مسیل زرکش مشهد پرداخته شد. در این راستا با استفاده از آمار بیشترین بارش ۲۴ ساعته سه ایستگاه باران‌سنجی نزدیک‌تر به حوضه مسیل زرکش جاغرق، سرآسیاب و طرفیه طی سال‌های آماری ۱۳۶۴ الی ۱۳۹۰، مقدار بارش به ازاء دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال توسط نرم‌افزار CumFreq استخراج شد. سپس میزان دبی پیک از روش بارش-رواناب سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) محاسبه شد. مسیل زرکش در حاشیه شهر مشهد است که مدل‌سازی جریان رودخانه و سیلاب با استفاده از نرم‌افزارهای Arc GIS، HEC-GEORAS و HEC-RAS در دو شرایط عدم وجود سازه (پل) و وجود سازه انجام گرفت. از طرفی توسعه شهری و تغییر کاربری اراضی در این منطقه بدلیل حاشیه نشینی شهری گسترش زیادی یافته است. نتایج شبیه‌سازی سیلاب نشان داد سطوح سیل‌گیری با دوره بازگشت ۵۰ سال، در شرایط وجود سازه نسبت به حالت بدون سازه به میزان ۵۰ هزار مترمربع معادل ۲۲ درصد افزایش می‌یابد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که احداث پل بر روی رودخانه، ضریب زبری ناشی از تغییر کاربری و شماره منحنی بدلیل تغییر نفوذپذیری اراضی بر پهنه سیلاب تأثیرگذار هستند.

واژه‌های کلیدی: توسعه شهری، سیلاب، بارش-رواناب، SCS، HEC-GEORAS، پل

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: [mosaedi@um.ac.ir](mailto:mosaedi@um.ac.ir)

## مقدمه

زمین شاهد بحران‌های طبیعی از جمله تغییرات آب و هوایی گسترده، تخریب منابع طبیعی، خشکسالی‌های پیاپی و کم‌آبی، بیابان‌زایی، جاری شدن سیل، بروز طوفان‌های شدید، افزایش ریزگردها و تغییرات وسیع کاربری اراضی با تأثیر از عوامل انسانی و غیرانسانی بوده است. در پی این وقایع منابع انسانی و اقتصادی در معرض تهدید قرار گرفته است. در کشور ایران در طی ۵۰ سال اخیر ۲۴۰۰ سیل با میانگین سالانه ۳۰ سیل رخ داده است که این آمار حاکی از رشد وقوع سیل در سال‌های اخیر به میزان ۴۵٪ هستند (۹). ۹۱ میلیون هکتار از سطح کشور در تولید رواناب مستقیم و سریع تأثیر داشته که در حدود ۴۲ میلیون هکتار آن شدت سیل خیزی متوسط تا خیلی زیاد دارند. از این‌رو ۵۹۲ شهر، ۶۶ هزار روستا، ۲ هزار رشته قنات، یک میلیون هکتار از اراضی زارعی و بخش بزرگی از جاده‌های کشور و تأسیسات صنعتی در معرض خطر سیل‌گیری و تخریب قرار دارند (۲۷). افزایش جمعیت، تغییر کاربری اراضی تغییرات سیستم‌های آبی از دلایل عمده این روند افزایشی بوده است. با توجه به شرایط موجود و پیچیدگی بیشتر سیستم‌های هیدرولوژیکی و عدم امکان شناخت کامل آن‌ها، استفاده از روش یا روش‌هایی که بتوان به کمک آن‌ها میزان رواناب حاصل از بارندگی را در حوضه‌های فاقد آمار یا دارای آمار ناقص تخمین زد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۲۸). توسعه شهری فرایندی است که کاربری اراضی را از حالت طبیعی خود خارج کرده و بر اثر آن کاربری قبلی (مرتع، کشاورزی و یا...) به یک ناحیه توسعه اقتصادی، صنعتی و یا جمعیتی تبدیل می‌شود. این فرایند از نظر فرایندهای هیدرولوژیکی و محیط‌های شهری باعث کاهش نفوذپذیری و همچنین کاهش میزان رواناب‌ها و افزایش ورود جریان به زهکش‌ها و فاضلاب‌روها می‌شود. بر این اساس تراکم جمعیت و توسعه شهری از عوامل ایجاد سیل در زمان بارندگی‌های شدید است و سبب افزایش خطرات ناشی از آن می‌شود (۴). جهت پهنه‌بندی و شناسایی نواحی سیل خیر، پژوهش‌های مختلفی در سطح جهان و ایران صورت گرفته است. در این زمینه نوحه‌گر

و همکاران (۲۲) به بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر پتانسیل سیل خیزی با استفاده از مدل بارش رواناب در حوضه آبریز تنگ بستانک شیراز پرداختند. این پژوهشگران جهت شبیه‌سازی سیلاب با ثابت نگه داشتن عامل بارش، تأثیر تغییر کاربری اراضی و پوشش گیاهی بر حجم رواناب و سیل‌خیزی را محاسبه کرده و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی مناطق سیل خیر را شناسایی کرده و پیشنهادهایی جهت مدیریت کاربری اراضی و جلوگیری از تخریب رویشگاه‌های طبیعی ارائه کردند. یانگ و همکاران (۲۹) اثرات شهرنشینی در سیستم‌های رودخانه منتهی به دریاچه تایهو چین و تأثیر فعالیت‌های انسانی در تغییرات سیستم رودخانه را مورد بررسی قرارداد. نتایج حاکی از آن است با رشد شهرنشینی طی ۷۱ سال گذشته، تغییر کاربری اراضی در پیرامون رودخانه‌ها افزایش یافته و از انحنا مسیر رودخانه کاسته شده است که در نتیجه سرعت انتقال جریان از بالادست تا خروجی حوضه افزایش یافته است. زوپ و همکاران (۳۰) اثرات توسعه شهری بر ایجاد سیل در حوضه آبریز شهر بمبئی هندوستان با استفاده از سه نرم‌افزار HEC-RAS، HEC-HMS و ArcGIS و آمار ۳۳ ایستگاه‌های باران‌سنجی از سال ۱۹۶۹ الی ۲۰۰۸ برای رودخانه میتی را مورد بررسی و تحلیل قراردادند. سپس با تعیین مقاطع در محیط نرم‌افزاری HEC-RAS وسعت و اراضی تحت تأثیر سیل را در محیط GIS به دست آوردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که با توجه به توسعه چشم‌گیر ساخت‌وسازها در سال ۲۰۰۹ به میزان ۵۹/۶۶ درصد، میزان اراضی کشاورزی، پارک‌ها و اراضی سبز در مقایسه با سال ۱۹۶۶ به مقدار ۳۹/۵ درصد کاهش یافته است. فرزادمهر و همکاران (۱۱) به بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر پهنه سیل خیز طغیانی با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی پرداختند و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۱، شرایط هیدرولوژیکی رودخانه مورد مطالعه را، در دوره بازگشت‌های مشخص تعیین کردند. آن‌ها با استفاده از مدل HEC-GEORAS مساحت کاربری اراضی سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۱ را مشخص کردند و با دو نقشه سیل‌گیر در دوره بازگشت‌های ۲ تا ۲۰۰ ساله

پژوهشگران با توجه به بررسی و مقایسه سیل‌های سال‌های دوره اخیر با دوره‌های قبل در این شهر، تغییر کاربری اراضی در بالادست حوضه‌های آبریز شهر و همچنین توسعه شهرنشینی کنترل نشده در مجاورت رودخانه‌های اصلی این شهر را دو عامل اصلی در افزایش عمق سیلاب‌ها در اثر بارندگی‌ها می‌دانند. فروتن و همکاران (۱۲) تأثیر تغییر کاربری اراضی بر رواناب سیلاب شهری شهر اسدآباد استان همدان را با استفاده از داده‌های رقوم ماهواره لندست ۵ و ۷ بر روی باندها TM و ETM اردیبهشت سال‌های ۱۳۷۱، ۱۳۸۱ و ۱۳۹۳ و معادلات بارش-رواناب (NRCS-CN) مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که با افزایش ۴/۹۵ درصد مساحت کاربری اراضی طی سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۴ میزان تغییرات رواناب سطحی به میزان ۱۶ درصد افزایش یافته است که حجمی معادل با ۳۵۰ مترمکعب خواهد داشت که این حجم رواناب برای این منطقه قابل ملاحظه و خطرناک است. جمال و همکاران (۱۴) پهنه‌بندی سیلاب بخشی از رودخانه ایران‌شهر با استفاده از مدل بارش-رواناب SCS و مدل هیدرولیکی HEC-RAS مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که اختلاف تراز سطح آب با دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۱۰۰ سال ۰/۵ متر بوده است که به علت شیب کم منطقه است. بایازیت و همکاران (۵) تأثیر توسعه شهری بر سیلاب‌های ناگهانی و شدید در شهر بدروم کشور ترکیه با استفاده از روش SCS و مدل MCDM مورد آنالیز قرار دادند. این پژوهشگران مقادیر بارش سال‌های ۱۹۸۴، ۲۰۱۰، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۹ برای پنج حوضه آبریز مورد استفاده قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که توسعه شهری و افزایش سطوح نفوذناپذیر و عدم اجرای سیستم رواناب سطحی در شرایط رخداد بارندگی‌های شدید و سیلابی به‌خصوص مرکز شهر به‌طور مداوم در خطر است. بلواسی و همکاران (۶) به بررسی نقش تغییرات کاربری اراضی بر ویژگی‌های رواناب و سیل‌خیزی در حوضه آبریز دوآب با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS برای سال‌های ۱۳۷۴ و ۱۳۹۸ پرداختند. نتایج آن‌ها بیانگر کاهش مساحت اراضی جنگلی و مراتع به میزان ۵۶/۷ و ۲۸/۳ کیلومترمربع و افزایش ۶/۸

تفاضل هر لایه را تعیین کرده و پیشنهاد کردند در تعیین پهنه‌های سیلابی علاوه بر تعیین کاربری اراضی، به تغییرات آن توجه ویژه ای شود و پاسخ هیدرولوژیک کل حوضه موردنظر نسبت به این تغییرات و نقش آن در پهنه‌های سیل‌گیری مدنظر قرار گیرد. عبدالعزیز و همکاران (۱) خطرپذیری سیلاب شهر مکنس کشور مراکش را با استفاده از مدل رقوم ارتفاعی و تلفیق دو نرم‌افزار ARCGIS و HEC-RAS موردبررسی قرار دادند. پس از تعیین مقاطع و انتقال آن به HEC-RAS، مقدار زمان تمرکز را از روش‌های گیاندوتی، ونتورا، کریچ و پاسینی برآورد کردند و میانگین سه روش آخر را به‌عنوان زمان تمرکز مدنظر قرار دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند با توجه به کوهستانی بودن شرایط شهر مکنس، وجود دامنه‌های شیب‌دار و توسعه شهری انجام شده در آن، سیستم‌های جمع‌آوری رواناب سطحی در آن ناکافی می‌باشد و این امر میزان خطرپذیری سیل این شهر را افزایش داده است. مودشیرو و همکاران (۲۰) روش‌های تعیین میزان دبی اوج با استفاده از خصوصیات حوضه آبریز رودخانه گورارای کشور نیجریه در محیط نرم‌افزاری ArcGIS را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها جهت تعیین دبی اوج از روش‌های استدلالی، سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) و سیپرس کریک (Cypress-Creek) برای دوره بازگشت‌های ۲۵ الی ۱۰۰ سال استفاده کردند و نتایج آن‌ها نشان داد که دقت دو روش SCS و سیپرس کریک نسبت به روش استدلالی بیشتر بوده و مقادیر این دو روش به هم نزدیک است. این دو روش عواملی از جمله بارش، شماره منحنی و پوشش گیاهی را در برمی‌گیرد. سازوگزیک و همکاران (۲۸) تأثیر تغییر کاربری اراضی بر خطرپذیری سیل در شهر کارپات‌های لهستان با استفاده از روش سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها حاکی از آن است که با توسعه مناطق با پوشش جنگل در منطقه مورد مطالعه، دبی اوج لحظه‌ای سیلاب‌های با دوره بازگشت کم به مقدار ۵ درصد کاهش یافته است. آورونگل و همکاران (۳) نسبت به تحلیل اثر الگوهای بارندگی بر روند سیلاب شهری با مدل‌سازی هیدرولوژیکی شهر ویلاهرمسایالت تاباسکو کشور مکزیک پرداختند. این

مسیل زرکش مشهد یکی از سرشاخه‌های رودخانه کشف رود به‌علت تغییر کاربری اراضی در اطراف آن و اقدامات توسعه شهری دستخوش تغییرات متعددی شده است. همچنین به نظر می‌رسد که تغییرات کاربری اراضی (تغییر به مناطق مسکونی و صنعتی)، راه‌سازی و احداث پل‌ها، در بالادست این مسیل باعث کاهش نفوذپذیری آب باران و در نتیجه افزایش حجم رواناب شده باشد که تا کنون مدل‌سازی و پهنه‌بندی سیلاب در این منطقه صورت نگرفته است و نوآوری موضوع را نشان می‌دهد. بنا بر این، هدف از این پژوهش تأثیر سازه‌های تقاطعی احداث شده در مسیل زرکش بر تغییرات عمق، سرعت و پهنه‌های سیل‌گیر این مسیل با دوره بازگشت ۱۰ الی ۲۰۰ سال در دو شرایط وجود و عدم وجود پل می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مطالعاتی

مسیل زرکش در ۱۵ کیلومتری شمال غربی شهر مشهد و در محدوده جغرافیایی  $36^{\circ}23'52''$  تا  $36^{\circ}25'25''$  عرض شمالی و  $59^{\circ}29'28''$  تا  $59^{\circ}32'40''$  طول شرقی واقع شده است. حوضه آبریز این مسیل از ارتفاعات مجاور حوضه رودخانه طرچه سرچشمه گرفته و در محدوده جغرافیایی  $36^{\circ}18'42''$  تا  $36^{\circ}23'48''$  عرض شمالی و  $59^{\circ}16'59''$  تا  $59^{\circ}29'19''$  طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). طول مسیل زرکش ۶/۶ کیلومتر است. در طول مسیل مذکور هیچ ایستگاه هیدرومتری قرار ندارد. بر این اساس آمار دبی سیلاب برای این مسیل وجود ندارد.

### روش تحقیق

ابتدا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، در محیط نرم‌افزاری WMS مرز حوضه آبریز مسیل زرکش مشخص شد و حوضه آبریز آن براساس ویژگی‌های فیزیوگرافی شبکه آبراهه به ۱۴ زیر حوضه تقسیم‌بندی شد که نقاط متصل آبراهه‌های

کیلومترمربع مناطق مسکونی است. همچنین به‌طور میانگین مقدار شماره منحنی (CN) از ۶۴/۶ به ۷۶/۸ افزایش یافته که سبب افزایش اوج رواناب به میزان ۱۵/۵۶ درصد و حجم ۱۹/۷ درصد است که تغییرات کاربری اراضی در محدوده مطالعاتی موجب افزایش اوج و حجم رواناب شده و منجر به افزایش سیل‌خیزی شده است. عابدی کوپایی و بابایی (۱۷) با استفاده از تلفیق دو نرم‌افزار ArcGIS و HEC-RAS حریم و پهنه سیلاب رودخانه زاینده‌رود را به ازاء دوره بازگشت‌های ۲ الی ۲۰۰ سال مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که ۹۶ درصد اراضی سیل‌گیر مربوط به دوره بازگشت ۲۵ ساله است و عدم رعایت حریم رودخانه باعث بروز خسارات جبران‌ناپذیری خواهد بود. ماناسچنستن و نالینی (۱۹) به بررسی تغییر کاربری پوشش اراضی بر روی رواناب در شهر بمبئی هند با استفاده از مدل Arc SWAT جهت شبیه‌سازی رواناب حوضه آبریز مورد مطالعه از سال ۱۹۹۵ الی ۲۰۱۶ پرداختند. این پژوهشگران ابتدا به طبقه‌بندی کاربری اراضی و طبقه‌بندی سطحی اراضی شهر بمبئی با استفاده از سنجش از دور و GIS پرداختند و سپس با استفاده از مدل Arc SWAT تأثیر تغییر کاربری اراضی بر رواناب را مورد تحلیل قرار دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند که با افزایش شهرنشینی و رشد ۲۳/۸ درصدی سطح اراضی شهری، وضعیت پوشش گیاهی و جنگلی به ترتیب به مقدار ۱۷/۷ و ۵/۵ درصد کاهش یافته است که این امر در افزایش چشم‌گیر رواناب از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۱۶ برای میزان بارش نسبتاً یکسان را نشان می‌دهد. مونیروزمان و همکاران (۲۱) با استفاده از قابلیت سنجش از دور پتانسیل رواناب سطحی شهر داکا در اثر تغییر کاربری اراضی مورد بررسی قرار دادند. این پژوهشگران برای ارزیابی رواناب، از روش SCS و بر اساس بیشترین بارش صورت گرفته به میزان ۳۴۱ میلی‌متری پتانسیل سیل‌خیزی و رواناب سطحی حوضه آبریز را بر اساس سال ۱۹۷۸ و ۲۰۱۸ میلادی مقایسه کرده و نتیجه گرفتند میزان مساحت سیل‌گیری از ۱۶۰ کیلومتر مربع در سال ۱۹۷۸ به ۳۱۹ کیلومترمربع افزایش یافته است که علت آن افزایش توسعه شهری و کاهش سطوح نفوذپذیر است.

بر اساس رابطه پیشنهادی توسط شواب (Schwab) زمان تمرکز از رابطه ۴ برآورد شود.

$$T_c = \frac{L^{0.8} \left[ \left( \frac{1000}{CN} \right) - 9 \right]^{0.7}}{4407(S)} \quad (4)$$

$$T_p = 0.6 T_c + \sqrt{T_c} \quad (5)$$

دبی اوج (Qp) بر اساس رابطه (۶) برآورد شد.

$$Q_p = \frac{0.208 A R}{T_p} \quad (6)$$

در روابط بالا A: مساحت حوضه آبریز (کیلومتر مربع)، CN: شماره منحنی، S: نمایه نگهداشت رطوبت خاک (میلی‌متر)، P: مقدار بارندگی (میلی‌متر)، R: ارتفاع رواناب (میلی‌متر)، Tp: زمان رسیدن دبی سیل به حداکثر مقدار خود (ساعت)، Tc: زمان تمرکز (ساعت) Qp: مقدار دبی اوج سیلاب (مترمکعب بر ثانیه) است.

جهت پهنه‌بندی سیلاب مسیل زرکش و تأثیر سازه‌های تقاطعی (پل) با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS، ابتدا با استفاده از نقشه توپوگرافی بستر نقشه TIN و DEM در نرم‌افزار ArcGIS استخراج شد. سپس با استفاده از الحاقیه HEC-GEORAS خط مرکزی جریان، سواحل چپ و راست، کانال اصلی و مقاطع عرضی عمود بر جریان در فواصل یکسان بر روی TIN رسم شد. در گام بعد اطلاعات تولید شده در محیط GIS توسط HEC-GEORAS به مدل هیدرولیکی HEC-RAS انتقال داده شد و مشخصات هیدرولیکی رودخانه نظیر سازه‌های تقاطعی، شرایط مرزی بالادست و پایین‌دست، شیب بستر، دبی سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف و ضریب زبری مانینگ به مدل معرفی و شبیه‌سازی شد (۹). شیب بستر زرکش با استفاده از GIS محاسبه و مقدار ۰/۷ درصد برآورد شد. در طول مسیر رودخانه دو پل ساخته شده است. مشخصات هندسی این دو پل و موقعیت آن‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به اطلاعات موجود شمای کلی مسیل زرکش در نرم‌افزار HEC-Ras معرفی و مقاطع عرضی مشخص شدند (شکل ۳).

از مهمترین علل عدم قطعیت در نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیل،

فرعی با رودخانه اصلی به‌عنوان خروجی هر زیرحوضه شناخته می‌شوند (شکل ۱). سپس در محیط نرم‌افزاری GIS از ویژگی‌های فیزیکی حوضه و زیر حوضه‌ها به‌عنوان مقادیر مورد نیاز در مطالعه حاضر استفاده شد (جدول ۱).

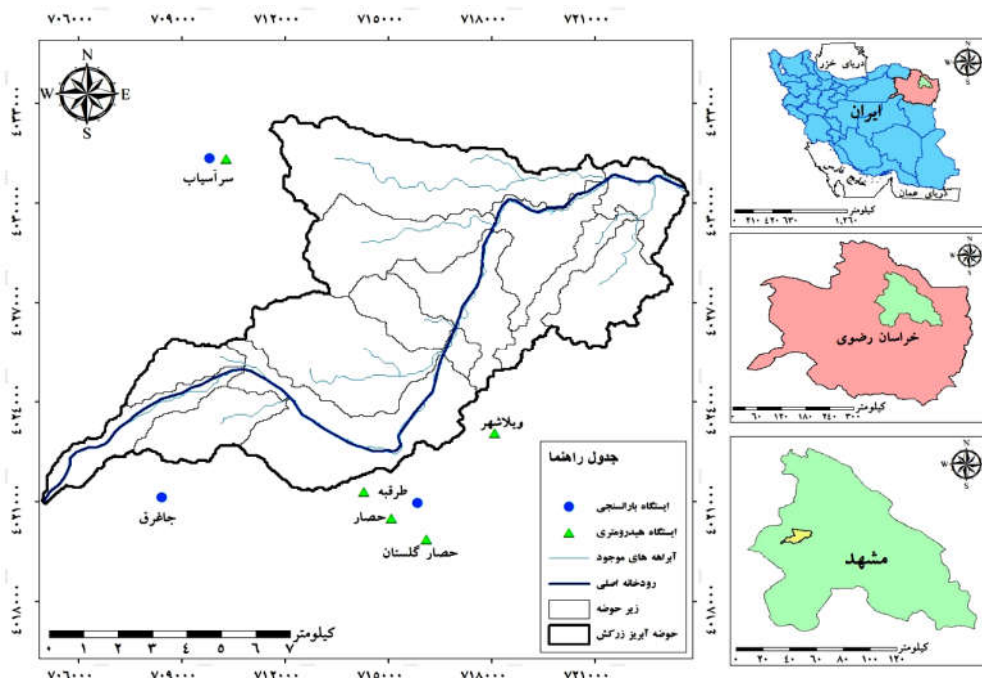
برای مدل‌سازی سیلاب از روش بارش-رواناب سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) استفاده شد. به این منظور آمار بیشترین بارش ۲۴ ساعته ایستگاه‌های باران‌سنجی جاغرق، سرآسیاب و طرهبه طی سال‌های آماری ۱۳۶۴ الی ۱۳۹۰ مورد استفاده قرار گرفت. سپس با استفاده از توسط نرم‌افزار Cumfreq با توزیع احتمال لاپلاس مقادیر بارش (P) به ازاء دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال برای حوضه آبریز زرکش محاسبه شد (شکل ۲). نرم‌افزار مذکور یک ابزار تجزیه و تحلیل تجمعی متغیر واحد با توابع توزیع احتمالی مختلف از جمله گامبل، لاپلاس، پارتو، فریشت، لوگ نرمال، لجستیک، کوشی و... است که مناسب‌ترین نوع تابع توزیع احتمال را بر اساس اطلاعات ورودی پیشنهاد می‌کند.

به‌منظور مدل‌سازی بارش-رواناب بر اساس روش سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS)، ابتدا باید با توجه به خصوصیات حوضه از لحاظ پوشش گیاهی، نوع کاربری اراضی، گروه هیدرولوژیکی خاک و شرایط رطوبت پیشین، شماره منحنی (CN) را از رابطه (۱) برای حوضه آبریز مشخص کرده و با توجه به این شماره منحنی مقدار پتانسیل نگهداشت (S) را از رابطه (۲) به‌دست آورد. آنگاه با توجه به رابطه اصلی روش SCS مقدار روان‌آب خالص (R) حاصله از یک واقعه بارش از رابطه (۳) به‌عنوان جریان ورودی به مسیل زرکش محاسبه می‌شود (۱۰).

$$\overline{CN} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i (CN)_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (1)$$

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

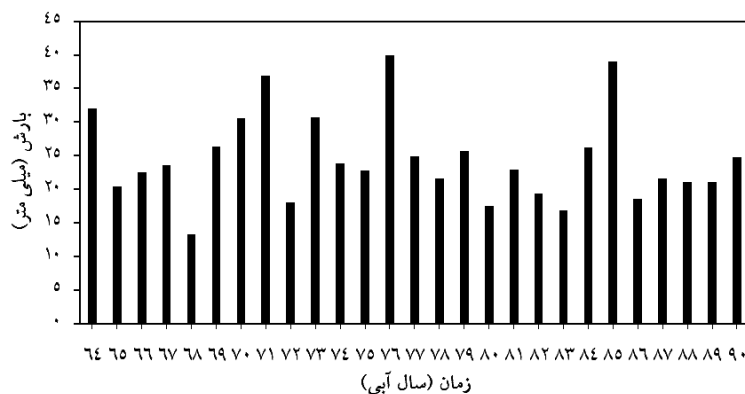
$$R = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.18S)} \quad (3)$$



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز مسیل زرکش

جدول ۱. مشخصات فیزیوگرافی حوضه آبریز مسیل زرکش

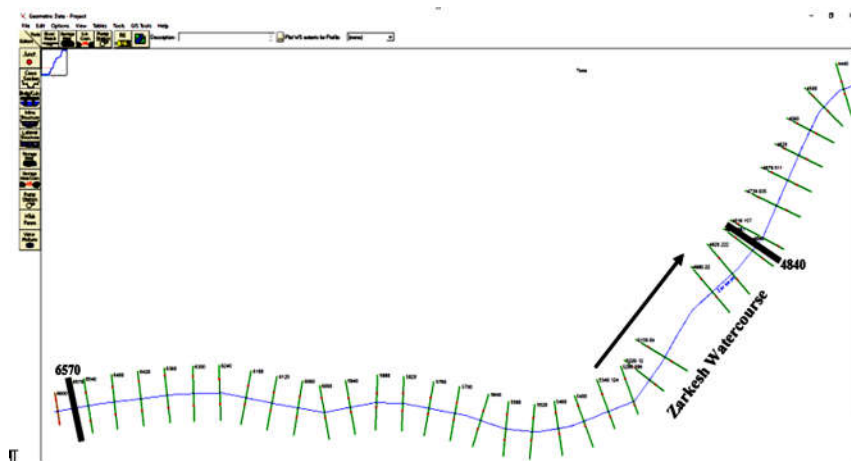
| مساحت حوضه<br>(کیلومتر مربع) | محیط حوضه<br>(کیلومتر) | طول آبراهه<br>(کیلومتر) | شیب آبراهه<br>(درصد) | شیب عمومی حوضه<br>(درصد) | حداکثر ارتفاع<br>(متر) | حداقل ارتفاع<br>(متر) |
|------------------------------|------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------|
| ۱۰۱/۸                        | ۸۱/۵۰                  | ۲۷                      | ۳/۳۷                 | ۳/۶۲                     | ۱۹۶۰                   | ۱۰۳۰                  |



شکل ۲. مقادیر بارش حداکثر ۲۴ ساعته ایستگاه‌های برای سال‌های آبی ۱۳۶۴ الی ۱۳۹۰ در حوضه آبریز زرکش

جدول ۲. مشخصات هندسی و فاصله پل‌ها نسبت به ابتدای مسیر

| شماره پل | طول دهانه | عرض دهانه | ارتفاع دهانه | قطر پایه | تعداد پایه | موقعیت نسبت به ابتدا مسیر (متر) |
|----------|-----------|-----------|--------------|----------|------------|---------------------------------|
| ۱        | ۳۰        | ۳۰        | ۲/۵          | ۱        | ۲          | ۳۰                              |
| ۲        | ۳۰        | ۶۵        | ۲/۵          | ۱        | ۲          | ۱۷۶۰                            |



شکل ۳. شمای کلی مقاطع و پل‌های موجود مسیل زرکش در محیط HEC-RAS

### نتایج و بحث

به منظور شبیه‌سازی سیلاب، با استفاده از مقادیر حداکثر بارش ۲۴ ساعته ثبت شده مربوط به ایستگاه‌های باران‌سنجی در محدوده حوضه، مقادیر این متغییر در دوره بازگشت‌های مدنظر با استفاده از نرم‌افزار Cumfreq و بر اساس مناسب‌ترین توزیع برازش یافته تعیین شد. جهت تخمین زمان تأخیر از روابط تجربی روش SCS استفاده شد و سپس زمان تأخیر محاسبه شد. پس از تعیین مقادیر دبی اوج سیل در دوره‌های بازگشت مختلف (جدول ۴)، هیدروگراف سیل هم برای همین دوره‌های بازگشت تعیین شدند (شکل ۴).

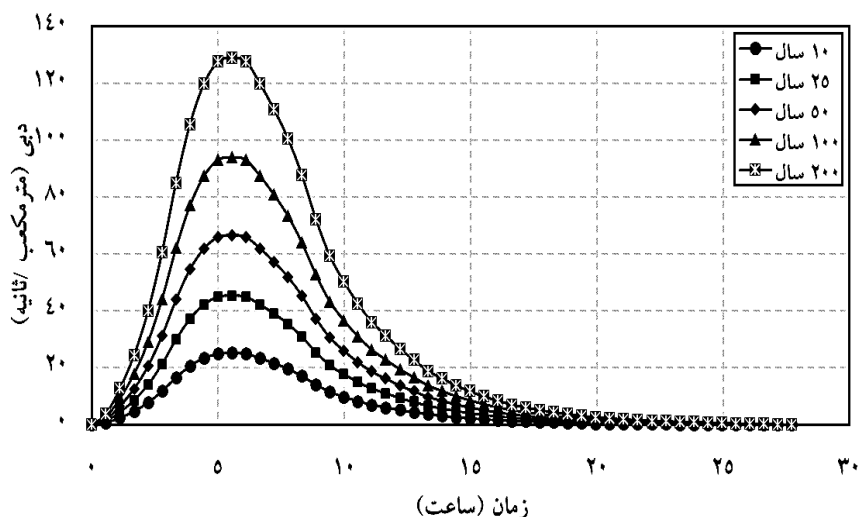
مقادیر ضریب زبری رودخانه هم بر اساس جدول چاو (Chow) تخمین زده شد و سپس با استفاده از رابطه (۷) تصحیح شده است که نتایج در جدول ۳ ارائه شده است. پس از رسم هیدروگراف واحد ورودی به ازاء دوره بازگشت‌های مختلف، با اجرای مدل HEC-Ras نسبت به شبیه‌سازی سیلاب زرکش و انجام تحلیل‌های لازم در محیط نرم‌افزاری GIS در خصوص پهنه‌های سیل‌گیر برای دوره بازگشت‌های مختلف صورت گرفت. با توجه به جدول ۴، زمان پایه هیدروگراف سیل در کلیه موارد یکسان است و با افزایش دوره بازگشت زمان رسیدن به دبی اوج تغییر نمی‌نماید و ۵/۵۴ ساعت است.

عدم قطعیت در برآورد ضریب زبری مانینگ است (۲۶). پژوهش‌های مختلفی برای محاسبه و تخمین ضریب زبری مانینگ توسط سایر پژوهش‌گران صورت گرفته است (۲۳، ۱۸). در این پژوهش به منظور تعیین ضریب زبری مانینگ، از رابطه کووان (Cowan) با توجه به عواملی همچون درجه ناهمواری، وجود موانع، پوشش گیاهی و شکل مسیر استفاده شد رابطه (۷).

$$n = (n_b + n_1 + n_p + n_r + n_m)m \quad (7)$$

که در رابطه فوق  $n$ : ضریب مانینگ ترکیبی،  $n_b$ : ضریب مانینگ مربوط به دانه‌بندی مواد بستر،  $n_1$ : ضریب مانینگ مربوط به درجه ناهمواری در سطح بستر رودخانه،  $n_p$ : ضریب مانینگ تغییرات مقطع رودخانه،  $n_r$ : ضریب مانینگ مربوط به موانع موجود در مسیر رودخانه،  $n_m$ : ضریب مانینگ مربوط به پوشش گیاهی و  $m$ : ضریب مانینگ مربوط به درجه انحنای مسیر رودخانه.

در بخش دیگری از پژوهش، به منظور بررسی میزان حساسیت عواملی مانند سرعت سیل، عمق جریان و پهنه سیل به تغییرات ضریب مانینگ، با اجرای مدل در هر وضعیت از تغییرات زبری، مقادیر این پارامترها، به ازاء سیل با دوره بازگشت ۵۰ سال، تعیین شد. علاوه بر این، با توجه به تغییرات شماره منحنی رواناب (CN) در حوضه آبریز و تأثیرپذیری آن از کاربری اراضی در بالادست حوضه، مقادیر تغییرات همین عوامل در برابر تغییرات CN، به میزان  $\pm 5$ ،  $\pm 10$  و  $\pm 15$  درصد تعیین شد.



شکل ۴. هیدروگراف واحد ورودی مسیل زرخش به ازاء دوره بازگشت‌های ۱۰ تا ۲۰۰ سال

جدول ۳. مقادیر ضریب زبری استفاده شده در محدوده مورد مطالعه

| محل مورد نظر | $n_1$ | $n_2$ | $n_3$ | $n_4$ | $n_5$ | $n$   | $m$ | $n$   |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|
| بستر         | ۰/۰۲  | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۱۰ | ۰/۰۰۸ | ۱   | ۰/۰۶۸ |
| ساحل چپ      | ۰/۰۲۳ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۱۰ | ۱   | ۰/۰۴۴ |
| ساحل راست    | ۰/۰۲۰ | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۱۵ | ۰/۰۰۹ | ۱   | ۰/۰۵۵ |

جدول ۴. مقادیر بارش، رواناب و دبی اوج سیلاب روش SCS، حوضه آبریز زرخش

| دوره بازگشت (سال) | شماره منحنی | نمایه نگهداشت آب در خاک (میلی‌متر) | زمان تمرکز (ساعت) | بارش (میلی‌متر) | رواناب (میلی‌متر) | دبی اوج (مترمکعب/ثانیه) |
|-------------------|-------------|------------------------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------------|
| ۱۰                |             |                                    |                   | ۳۴/۷            | ۶/۶۳              | ۲۵/۳                    |
| ۲۵                |             |                                    |                   | ۴۳/۷            | ۱۱/۹              | ۴۵/۵                    |
| ۵۰                | ۸۴/۸        | ۴۵/۶                               | ۵/۳۷              | ۵۲              | ۱۷/۵              | ۶۶/۸                    |
| ۱۰۰               |             |                                    |                   | ۶۱/۷            | ۲۴/۷              | ۹۴/۱                    |
| ۲۰۰               |             |                                    |                   | ۷۳/۳            | ۳۳/۸              | ۱۲۹                     |

افزایش دوره بازگشت روند صعودی و افزایشی داشته است و به علت کاهش ظرفیت آنگذری جریان سیلاب وارد سیلاب دشت شده است که با نتایج سایر پژوهشگران از جمله دامالاگ و همکاران (۸)، احمدعلیپور و همکاران (۲)، گلشن و همکاران (۱۳) و زراعتکار (۳۱) همخوانی دارد. همچنین نتایج مدل‌سازی نشان دادند که سازه‌های موجود در مسیل زرخش

نتایج مدل‌سازی سیلاب در شرایط وجود و یا عدم وجود پل افزایش مقدار دبی جریان، باعث افزایش سطح آب می‌شود، افزایش تراز آب رودخانه ممکن است از ارتفاع عرشه پل هم بیشتر شود و در این حالت پل به عنوان سرریز لبه پهن عمل کرده و جریان از روی سرریز شناخته می‌شود (۱۶). نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد که سطح سیلاب، تراز سطح سیلاب، با



### گستره پهنه سیلاب

یکی از راه‌های مدیریت سیلاب تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی آن است. برای تحلیل خطر سیل در مناطق شهری، میزان عمق آب‌گرفتگی اهمیت دارد و نقش پتانسیل سرعت جریان غیرقابل چشم‌پوشی است. با استفاده از الحاقیه HEC-GeoRAS پروفیل مسیل زرکش شبیه‌سازی انجام شد. نتایج پهنه‌های سیلاب به ازاء دوره بازگشت ۲۰۰ سال برای دو حالت وجود و عدم وجود پل مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. همان‌طور که از جدول ۵ معلوم است سطوح سیل‌گیری با دوره بازگشت ۵۰ سال، در شرایط وجود سازه (پل) نسبت به حالت بدون سازه به میزان ۵۰ هزار مترمربع افزایش می‌یابد.

### ۳-۴- نتایج تحلیل حساسیت

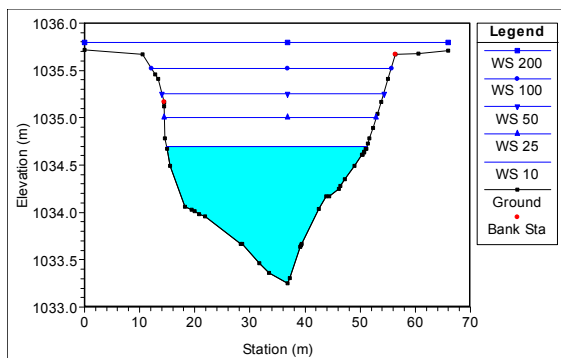
همان‌گونه که در مواد و روش‌ها بیان شد، جهت بررسی حساسیت میزان تأثیرگذاری پارامترها بر نتایج مدل‌سازی سیلاب به ازاء دوره بازگشت ۵۰ سال، ضریب زبری مانینگ (n) با تغییرات  $\pm 5$ ،  $\pm 10$ ،  $\pm 15$  و  $\pm 20$  درصد بررسی شد (جدول ۶). همچنین تأثیر تغییر شماره منحنی رواناب (CN) به میزان  $\pm 2$ ،  $\pm 5$ ،  $\pm 10$  و  $\pm 15$  درصد در حوضه آبریز بر حساسیت پارامترهای تأثیرگذار بر نتایج مدل‌سازی سیلاب، تعیین شد (جدول ۷).

همان‌طور که نتایج جدول (۶) نشان می‌دهد بیشترین حساسیت سطح سیل‌گیری و سرعت جریان به ترتیب به میزان  $10/66$  و  $9/88$  درصد به ازاء افزایش ۲۰ درصدی ضریب زبری مانینگ است. همچنین با توجه به نتایج جدول (۷) بیشترین حساسیت در تغییر شماره منحنی در حوضه آبریز مربوط به سرعت و پهنه سیل‌گیر است. مقایسه جدول شماره (۶) و (۷) نشان می‌دهد بیشترین حساسیت پارامترها، مربوط به متوسط سرعت جریان و سطح سیل‌گیر در اثر تغییرات ضریب زبری مانینگ و CN است. به طوری که افزایش مقدار CN بر تغییر ارتفاع رواناب و دبی سیلاب تأثیر مستقیم و بسزایی دارد. این تغییرات نشان دهنده تأثیر بسزای پارامترهای هیدرولیکی بر سرعت و سطح سیل‌گیر در مدل‌سازی سیلاب

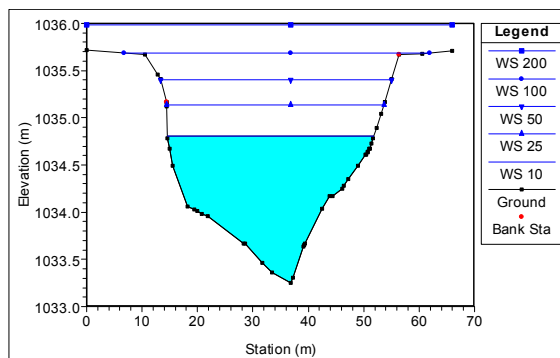
توانایی عبور سیلاب‌های با دوره بازگشت ۵۰ سال به بالا را ندارند و سبب روگذری جریان در مقطع ۶۵۷۰ (شکل ۵) و یا گسترش سیلاب در دشت سیلابی به علت عدم روگذری در مقطع ۴۸۴۰ (شکل ۶) می‌شود. پخش شدن سیلاب همچنین باعث ایجاد خسارت به مناطق مسکونی و اراضی زراعی مجاور بستر مسیل زرکش می‌شود.

با توجه به شکل‌های ۷ تا ۱۰ می‌توان دریافت که با افزایش دوره بازگشت مقادیر عمق جریان، سطح سیل‌گیری، سرعت و عدد فرود افزایش یافته و سیر صعودی دارند. همچنین عدد فرود با استفاده مقادیر عمق جریان محاسبه شده است. همان‌طور که این نتایج نشان می‌دهد در صورت عدم وجود پل عمق و سطح سیل‌گیری به مراتب کمتر از شرایط وجود پل بوده اما درباره مقادیر سرعت و عدد فرود این شرایط بلعکس است که با نتایج سایر پژوهشگران همخوانی دارد (۲۵).

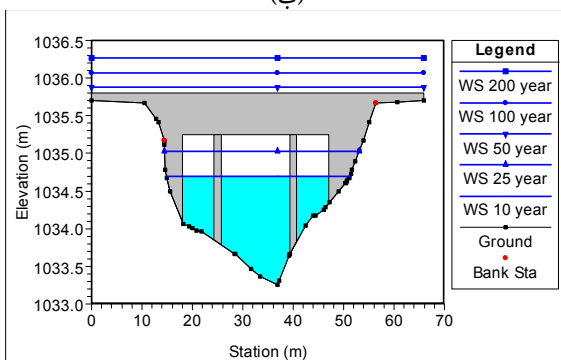
همان‌طور که شکل ۷ نشان می‌دهد با در نظر گرفتن سازه برای دبی با دوره بازگشت ۵۰ سال میزان تغییرات عمق جریان سیلابی ۲۷ درصد برای پل شماره ۱ و برای پل شماره ۲ به میزان  $2/7$  درصد نسبت به عدم اعمال سازه افزایش یافته است. همچنین با توجه به شکل ۹ میزان تغییرات سطح سیل‌گیر به ازاء دوره بازگشت ۵۰ سال در شرایط اعمال سازه نسبت به عدم وجود سازه، ۴۴ درصد برای پل شماره ۱ و برای پل شماره ۲ به میزان  $4/4$  درصد افزایش یافته است. همچنین شکل ۱۱ تغییرات توزیع سرعت جریان در دوره بازگشت ۲۰۰ سال در شرایط وجود و عدم وجود سازه (پل) نشان می‌دهد تغییرات سرعت جریان در شرایط وجود سازه (پل) مشهود است. در شرایط عدم وجود سازه (پل) بیشترین و متوسط سرعت جریان به ترتیب  $4/20$  و  $1/80$  متر بر ثانیه و در شرایط وجود سازه (پل) بیشترین و متوسط مقدار سرعت جریان به ترتیب  $3/30$  و  $1/50$  متر بر ثانیه است که این مسئله نشان می‌دهد وجود سازه (پل) باعث کاهش سرعت متوسط جریان در مسیل زرکش شده است.



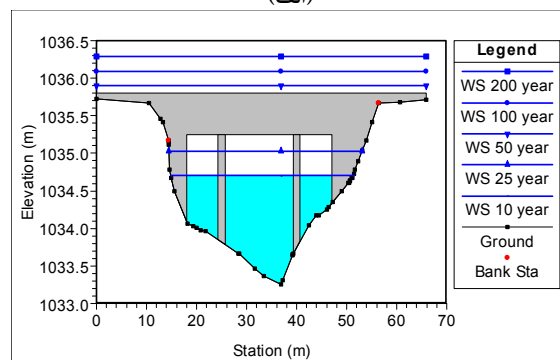
(ب)



(الف)

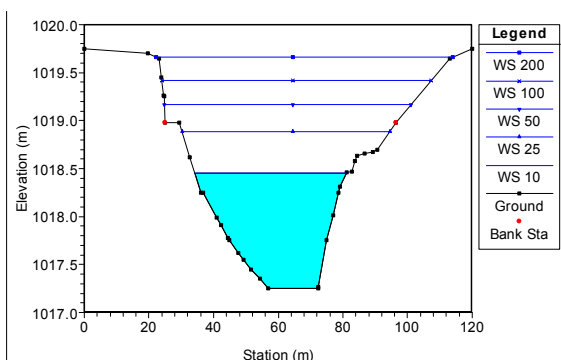


(د)

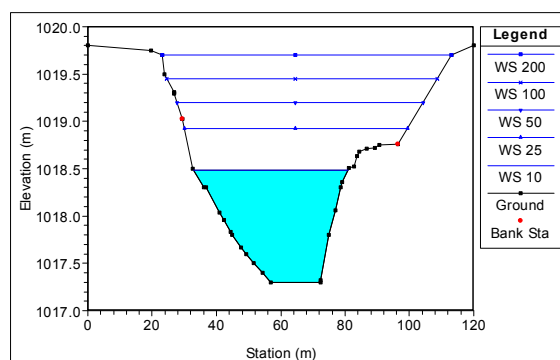


(ج)

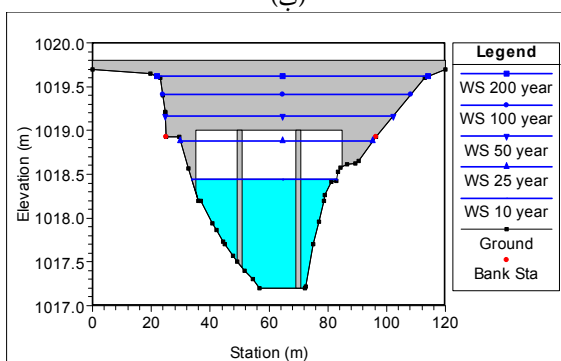
شکل ۵. نیمرخ مقطع عرضی ۶۵۷۰ در شرایط وجود و عدم وجود سازه، پل شماره ۱- الف و ج) بالادست، ب و د) پایین دست (رنگی در نسخه الکترونیکی)



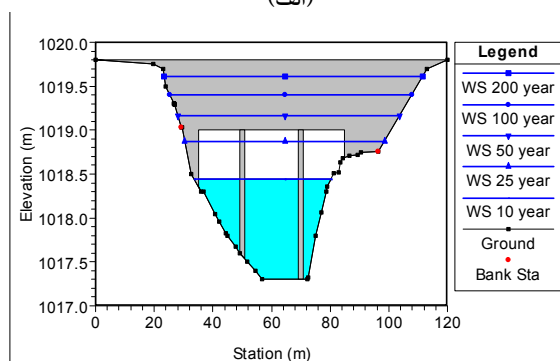
(ب)



(الف)

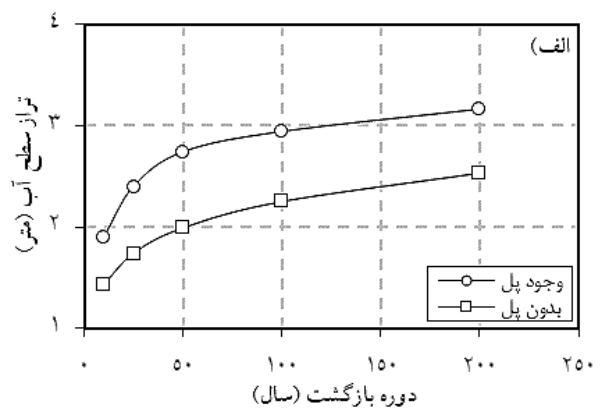
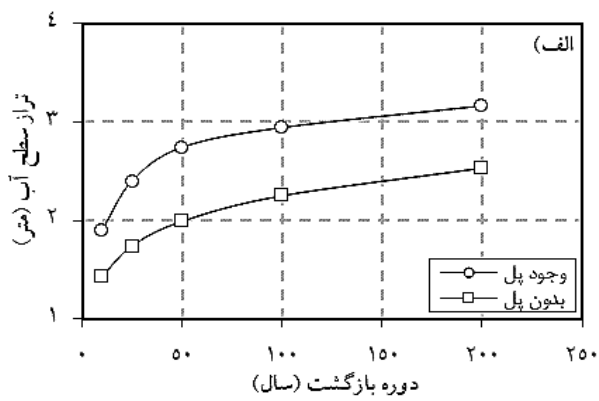


(د)

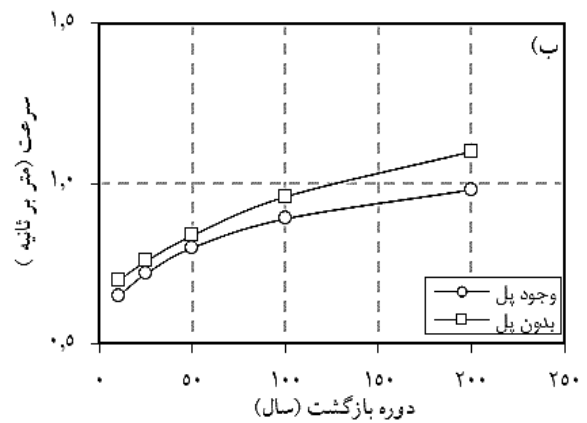
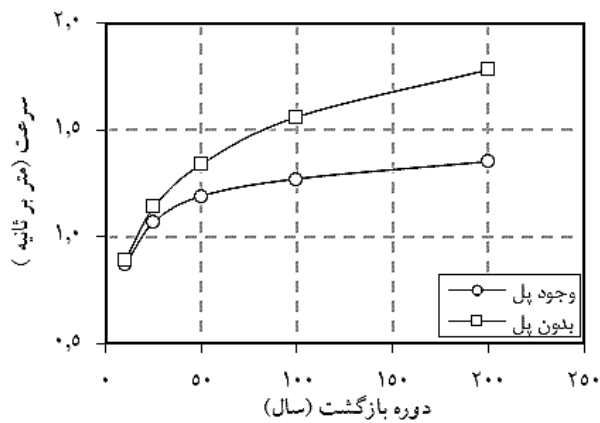


(ج)

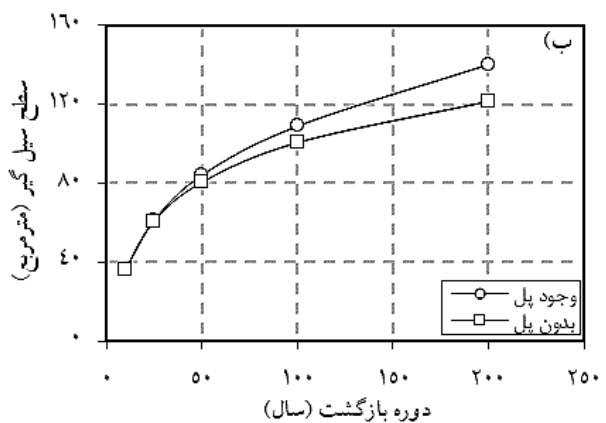
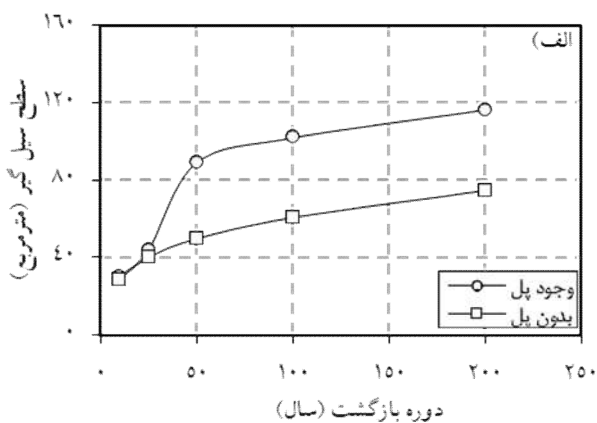
شکل ۶. نیمرخ مقطع عرضی ۴۸۴۰ در شرایط وجود و عدم وجود سازه، پل شماره ۲- الف و ج) بالادست، ب و د) پایین دست (رنگی در نسخه الکترونیکی)



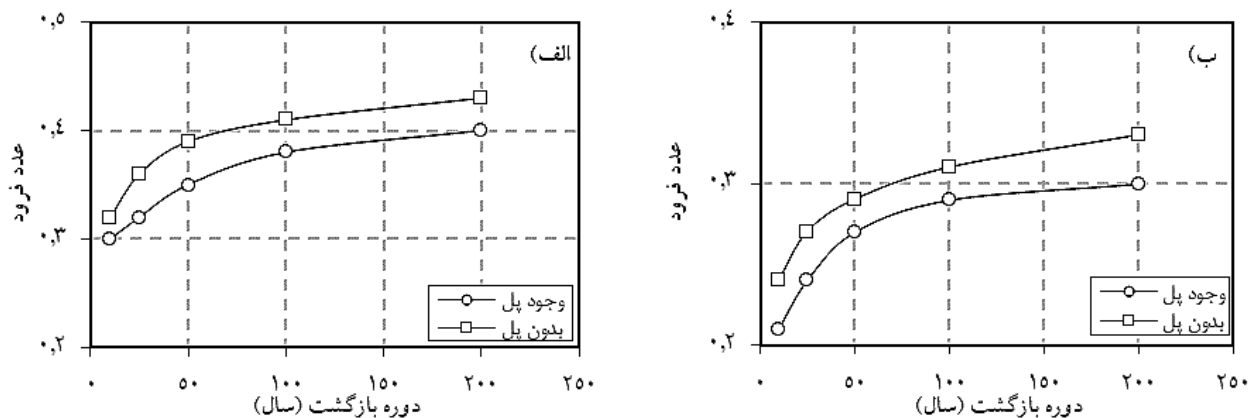
شکل ۷. تغییرات عمق سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف در صورت وجود و عدم وجود سازه الف) پیل ۱، ب) پیل ۲



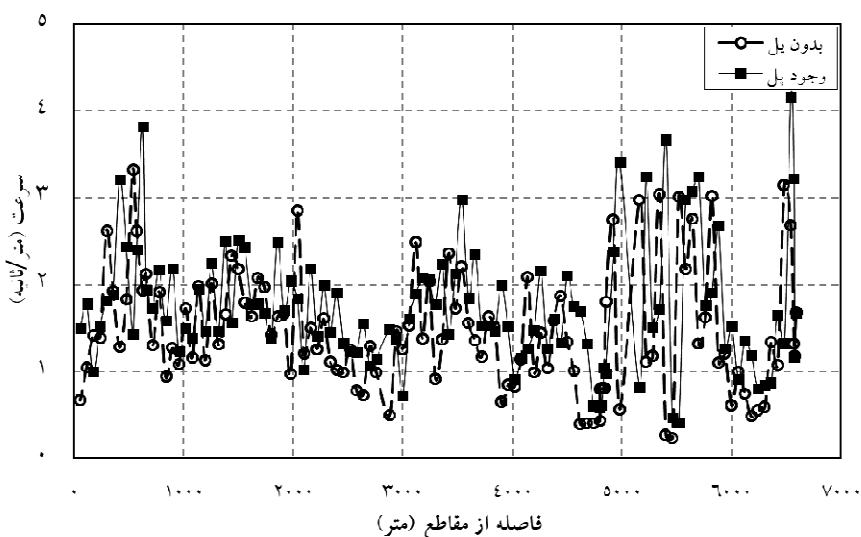
شکل ۸. تغییرات سرعت سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف در صورت وجود و عدم وجود سازه الف) پیل ۱، ب) پیل ۲



شکل ۹. تغییرات سطح سیل گیر با دوره بازگشت‌های مختلف در صورت وجود و عدم وجود سازه الف) پیل ۱، ب) پیل ۲



شکل ۱۰. تغییرات عدد فرود با دوره بازگشت‌های مختلف در صورت وجود و عدم وجود سازه الف) پیل ۱، ب) پیل ۲



شکل ۱۱. تغییرات سرعت جریان در طول بازه مسیل زرکش با دوره بازگشت ۲۰۰ سال در شرایط آنگ وجود یا عدم وجود پیل

جدول ۵. میزان سطح سیل گیر به ازاء دوره بازگشت مختلف

| دوره‌های بازگشت | میزان سطح سیل گیر در شرایط بدون پیل (مترمربع) | میزان سطح سیل گیر در شرایط وجود پیل (مترمربع) | میزان افزایش سطح سیل گیر در شرایط وجود پیل (درصد) | میزان افزایش سطح سیل گیر در شرایط وجود پیل (مترمربع) |
|-----------------|---|---|---|--|
| ۱۰              | ۱۶۰۲۸۰  | ۱۸۳۸۶۰  | ۱۵  | ۲۳۵۸۰  |
| ۲۵              | ۱۹۳۹۸۰  | ۲۳۲۷۷۰  | ۲۰  | ۳۸۷۹۰  |
| ۵۰              | ۲۲۸۱۲۰  | ۲۷۸۱۲۰  | ۲۲  | ۵۰۰۰۰  |
| ۱۰۰             | ۲۸۰۶۵۰  | ۳۴۹۶۶۰  | ۲۵  | ۶۹۰۱۰  |
| ۲۰۰             | ۳۷۴۵۳۰  | ۴۹۴۳۸۰  | ۳۲  | ۱۱۹۸۵۰   |

جدول ۶. مقادیر درصد تغییر پارامترهای مورد بررسی نسبت به تغییرات ضریب زبری مائینگ

| تغییرات ضریب زبری | میانگین سرعت جریان<br>(%) | میانگین پهنه سیل گیر<br>(%) | میانگین تراز سطح جریان<br>(%) |
|-------------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| ۰                 | ۱/۵                       | ۵۹/۶                        | ۳/۴۵                          |
| +۵                | +۲/۷                      | +۳/۱۰                       | +۰/۲۶                         |
| +۱۰               | +۵/۳۲                     | +۵/۸۴                       | +۰/۲۶                         |
| +۱۵               | ۷/۶۵                      | +۸/۳۴                       | +۰/۲۷                         |
| +۲۰               | +۹/۸۸                     | +۱۰/۶۶                      | +۰/۲۷                         |
| -۵                | -۳/۲۵                     | -۳/۵                        | -۰/۲۴                         |
| -۱۰               | -۶/۴۵                     | -۶/۶۶                       | -۰/۲۴                         |
| -۱۵               | -۹/۷۶                     | -۱۰/۱۰                      | -۰/۲۳                         |
| -۲۰               | -۱۴/۵                     | -۱۴/۹                       | -۰/۲۳                         |

جدول ۷. مقادیر درصد تغییر پارامترهای مورد بررسی نسبت به تغییرات CN

| تغییرات (CN) | میانگین سرعت جریان<br>(%) | میانگین پهنه سیل گیر<br>(%) | میانگین تراز سطح جریان<br>(%) |
|--------------|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| +۲           | +۵/۴                      | +۱۱/۰۵                      | +۱۰/۴۹                        |
| +۵           | +۲۵/۶                     | +۲۳                         | +۳/۸                          |
| +۱۰          | +۴۴/۷۱                    | +۳۷/۹۵                      | +۵/۹۷                         |
| +۱۵          | +۵۴/۷۷                    | +۴۴/۷۱                      | +۸/۹۸                         |
| -۲           | -۰/۰۵                     | -۷/۱                        | +۲/۲۶                         |
| -۵           | -۰/۱۶                     | -۱۵/۵                       | +۲/۰۵                         |
| -۱۰          | -۰/۴                      | -۲۶/۶                       | +۱/۷۲                         |
| -۱۵          | -۰/۶                      | -۳۵/۸                       | +۱/۳۹                         |

نسبت به عمق جریان در مسیل زرکش دارد که این مسئله بیان می‌نماید که هنگام بروز سیلاب، آب به راحتی از بستر مسیل بیرون زده و اراضی و ساختمان و ابنیه اطراف را در بر گرفته و باعث بروز خسارات مالی و جانی جبران ناپذیری می‌شود.

### نتیجه گیری

برای برآورد سیلاب مسیل زرکش از روش سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS)، شبیه‌سازی سیلاب برای دوره

بازگشت‌های ۱۰ الی ۲۰۰ سال بر اساس حداکثر بارش ۲۴ ساعته سالیانه انجام شد. بازه مسیل زرکش در حدود ۶/۶ کیلومتر طول دارد و مدل‌سازی رودخانه در این مسیر با استفاده از نرم‌افزارهای Arc GIS، HEC-GEORAS و HEC-RAS در دو شرایط عدم وجود سازه و وجود سازه (پیل) انجام گرفت. حساسیت پارامترهای مهمی مانند سرعت جریان، عمق جریان و پهنه سیل به عواملی مانند تغییر در خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه (شماره منحنی، CN) و خصوصیات هیدرولوژیکی

همکاران (۱۵) که در مطالعات خود در سایر رودخانه‌ها حساسیت ضریب مانینگ بر عمق جریان و پهنه سیلاب را بررسی کردند همخوانی دارد.

با توجه به اینکه منطقه مسیل زرکش از پتانسیل بالایی جهت سیلابی شدن برخوردار است پیشنهاد می‌شود:

۱- ملزم کردن مردم حاشیه مسیل زرکش به رعایت بیشتر حریم رودخانه.

۲- از تغییر کاربری اراضی حریم مسیل جلوگیری شده و در صورت نیاز به احداث سازه‌های تقاطعی، از نظر هیدرولیکی به گونه‌ای طراحی شوند تا کمترین تأثیر منفی را بر توان آبگذری مسیل زرکش داشته باشند.

۳- تجهیز ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری استاندارد برای مدل‌سازی جریان غیرماندگار جهت پهنه‌بندی سیل.

۴- استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی سیلاب از جمله SWMM، Mike11 و... در تعیین پهنه سیلاب مسیل زرکش و مقایسه با نتایج این پژوهش.

رودخانه (ضریب زبری،  $n$ ) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد که احداث پل بر روی رودخانه موجب افزایش سطح سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف می‌شود که این موضوع بر روی تأسیسات و کاربری‌های اطراف رودخانه تأثیرگذار است. همچنین نتایج شبیه‌سازی سیلاب مسیل زرکش نشان داد سطوح سیل‌گیری با دوره بازگشت ۵۰ سال، در شرایط وجود سازه (پل) نسبت به حالت بدون سازه به میزان ۵۰ هزار مترمربع افزایش می‌یابد. لذا این پل‌ها باعث افزایش پهنه سیل‌گیر و آب‌گرفتگی در بالادست خود می‌شوند و کارایی و ظرفیت‌گذردهی مناسب را حتی در دوره بازگشت ۵۰ ساله ندارند که با نتایج اورگاس و همکاران همخوانی دارد (۲۴).

همچنین نتایج نشان داد که بیشترین حساسیت با تغییر ۲۰ درصدی زبری مانینگ مربوط به پهنه سیل‌گیر به میزان ۱۰/۶۶ درصد و با تغییر ۱۵ درصدی شماره منحنی مربوط به سرعت جریان به مقدار ۵۴/۷۷ درصد است که با نتایج سایر پژوهشگران از جمله بوزی و همکاران (۷) و کمالی و

## منابع مورد استفاده

- Abdelaziz, R., E. Ali, E. Abdelhadi and E.H. Abdellah. 2018. Hydraulic Modelling and Mapping of the Risk of Flooding in the City of Meknes by (Hec-Georas). *Hydrology* 6(1): 10-17.
- Ahmadalipour, A. and H. Moradkhani. 2019. A data-driven analysis of flash flood hazard, fatalities, and damages over the CONUS during 1996-2017. *Journal of Hydrology* 578: 124106.
- Areu-Rangel, O. S., L. Cea, R. Bonasia and V. Espinosa-Echavarria. 2019. Impact of urban growth and changes in land use on river flood hazard in Villahermosa, Tabasco (Mexico). *Journal Water* 11(2): 304-319.
- Bae, S. and H. Chang. 2019. Urbanization and floods in the Seoul Metropolitan area of South Korea: What old maps tell us. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 37: 101186-101197.
- Bayazit, Y., C. Koç and R. Bakış. 2020. Urbanization impacts on flash urban floods in Bodrum Province, Turkey. *Hydrological Sciences Journal* 66(1)1-16.
- Belvasi, I., S. Asghari Saraskanroud, F. Esfandyari and B. Zeinali. 2020. The Role of Land Use Changes on Runoff and Flood Properties in the Doab catchment. *Iranian journal of Ecohydrology* 7(2): 331-344 (In Farsi).
- Bozzi, S., G. Passoni, P. Bernardara, N. Goutal and A. Arnaud. 2014. Roughness and Discharge Uncertainty in 1D Water Level Calculations. *Environmental Modeling Assessment* 20: 343-353.
- Dammalage, T. L. and N. T. Jayasinghe. 2019. Land-use change and its impact on urban flooding: A case study on Colombo district flood on May 2016. *Engineering Technology and Applied Science Research* 9(2): 3887-3891.
- Esmaili, S. A. 2020. The effect of urban developments on flood plain of urban stream (Case study: Zarkesh Watercourse, Mashhad, Iran), Master thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Razavi Khorasan, I.R. Iran (In Farsi).
- Esmaili, S. A. and A. Mosaedi. The Survey Effect of Crossover Structures on flood plain (Case study: Zarkesh watercourse, Mashhad, Iran). In: Proceeding of 2021 19th Iranian Hydraulic Conference, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Razavi Khorasan Province, Iran (In Farsi).

11. Farzad Mehr, J., P. Ebrahimi and M. Eslah. 2016. The Impact of land use changes on overflowing zones using *Remote Sensing and GIS*. *Journal of Range and Watershed Management* 3(3): 633-646 (In Farsi).
12. Forotan, S., A. ILdoromi, H. Nouri and M. Safari Shad. 2019. Urban sprawell and land use change effects on surface runoff using NRCS-CN method (Case study: Asadabad city). *Hydrogeomorphology* 6(20): 1-20 (In Farsi).
13. Golshan, M., A. Jahanshahi and A. Afzali. 2016. Flood hazard zoning using HEC-RAS in GIS environment and impact of manning roughness coefficient changes on flood zones in Semi-arid climate. *Desert* 21(1): 24-34.
14. Jamal, A., A. Parvan and D. Valizadeh. 2019. Floodplain Hazard Mapping in the Iranshahr River by Using Two-Dimensional Numerical Modelling and GIS. *Journal of Water and Soil Science* 23(4): 71-83 (In Farsi).
15. Kamali, P., H. Ebrahimian and M. Parsinejad. 2018. Estimation of Manning roughness coefficient for vegetated furrows. *Irrigation Science* 36: 339-348.
16. Koçyiğit, M. B., H. Akay and A. M. Yanmaz. 2016. Flooding and its effects on river bridges in Western Black Sea Region. *Journal Disaster Science Engineering* 2(1): 29-35.
17. Koupai, J. A. and B. Babaiee. 2020. Determination of the Boundaries of Zayandehrud RiverBed Using Arc GIS, HEC-RAS and Hec-GeoRAS Extension. *Journal of Water and Soil Science* 23(4): 361-376 (In Farsi).
18. Li, T., C. Liang, Y. Zhang and P. Zhao. 2017. Comparison and validation of the ratio of Manning coefficient to flow depth for soil erosion prediction using published data with different external impacts. *Journal of Soils Sediments* 17(6): 1682-1695.
19. Manaschintan, S. B. and S. S. Nalini. 2020. Effect of Land Use–Land Cover Change on Runoff Characteristics in Mumbai City. *Applications of Geomatics in Civil Engineering* 33: 183-192.
20. Mudashiru, R., A. Salami and S. Bilewu. 2018. Evaluation of methods of peak runoff determination using catchment characteristics for Jere Sub-basin, Gurara river basin, north central Nigeria. *The Journal of Engineering Research* 15(1): 26-41.
21. Moniruzzaman, M., P. K. Thakur, P. Kumar, A. Alam, V. Garg, I. Rousta and H. Olafsson. 2021. Decadal urban land use/land cover changes and its impact on surface runoff potential for the Dhaka city and surroundings using remote sensing. *Remote Sensing* 13(1): 83-105.
22. Nohegar, A., M. Kazemi, M. Roshan and P. Rezaei. 2012. Survey of the effects of land use variation on flooding potential in Tang-e-Bostanak watershed. *Environmental Erosion Research Journal* 2(5): 28-41 (In Farsi).
23. Ong, T. D. B., C. Doscher and M. Mohssen. 2017. Simulated annealing for calibrating the Manning's roughness coefficients for general channel networks on a basin scale. *Arabian Journal of Geosciences* 10(24): 532-535.
24. Ogras, S. and F. Onen. 2020. Flood analysis with HEC-RAS: A case study of Tigris river. *Advances in Civil Engineering* 1-13.
25. Park, K. and J. H. Won. 2019. Analysis on distribution characteristics of building use with risk zone classification based on urban flood risk assessment. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 38: 101192.
26. Saberi Tanasvan, M., Z. Ganji Noroozi, M. Delghandi, S. Nikghalb Ashouri and V. Dorostkar. 2020. Sensitivity analysis of flood parameters to roughness variation. *Journal Irrigation and Water Engineering* 10(40): 164-177 (In Farsi).
27. Shafiei Motlagh, K. and N. Ebadati. 2020. Flood Zoning and Hydraulic Behavior Simulation Using HEC RAS in (GIS) (Case Study: Maroon River-Southwestern Iran). *Iranian Journal of Ecohydrology* 7(2): 397-409 (In Farsi).
28. Szwagrzyk, M., D. Kaim, B. Price, A. Wypych, E. Grabska and J. Kozak. 2018. Impact of forecasted land use changes on flood risk in the Polish Carpathians. *Journal Natural Hazards* 94(1): 227-240.
29. Yang, M. N., Y. P. Xu, G. B. Pan and L. F. Han. 2014. Impacts of urbanization on precipitation in Taihu Lake Basin, China. *Journal of Hydrologic Engineering* 19(4): 739-746.
30. Zope, P., T. Eldho and V. Jothiprakash. 2015. Impacts of urbanization on flooding of a coastal urban catchment: a case study of Mumbai City, India. *Journal Natural Hazards* 75(1): 887-908.
31. Zeraatkar, Z. 2013. Floodplain Determination of Shahrod and Palbagh Rivers in Birjand city using HEC-RAS and ARC-GIS. Master thesis, University of Zabol, Sistan and Baluchestan, I.R. Iran (In Farsi).

## Study of the Effect of Crossover Structures and Roughness Coefficient on Depth and Flood Plain of the Urban Watercourses (Case Study: Zarkesh Watercourse, Mashhad)

S. A. R. Esmaili and A. Mosaedi<sup>1\*</sup>

(Received: May 17-2021; Accepted: June 23-2021)

### Abstract

In recent decades, population growth, urban sprawl, urban environmental changes, and related issues are one of the significant issues in proper planning to manage the urban environment. One of the issues in urban development is the occurrence of floods and flooding due to heavy rains. In this research, flood modeling was studied in Mashhad Zarkash watercourses. The amount of rainfall for the return period of 10, 25, 50, 100, and 200 years were extracted by CumFreq software using the maximum 24-hour rainfall statistics of three rain gauge stations closer to the Zarkesh, Jagharq, Sar-e-Asyab, and Torqabeh watercourses basins during the statistical years 1364 to 1390. The peak discharge was calculated using the US Soil Protection Organization (SCS) rainfall-runoff method. Zarkesh watercourse is located on the outskirts of Mashhad. River and flood flow modeling was performed using Arc GIS, HEC-GEORAS, and HEC-RAS software in two conditions including structure (bridge) and no structure. Due to urban marginalization, urban development and land use change have greatly expanded in this region. The results of flood simulation showed that flood levels with a return period of 50 years increased by 50000 m<sup>2</sup> equal to 22% in the presence of a structure compared to the state without a structure. The results of this research show that the construction of bridges on the river, the roughness coefficient by land use change, and the number of curves due to land permeability changes are effective in the flood zone.

**Keywords:** Urban development, Floods, Rainfall-runoff, SCS, HEC-GEORAS, Bridge

---

1. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

\*: Corresponding author, Email: [mosaedi@um.ac.ir](mailto:mosaedi@um.ac.ir)