

## بررسی تأثیر شهرنشینی بر تغییر پهنه سیلاب در مسیل‌های شهری (مطالعه موردی: مسیل زرکش مشهد)

سید علیرضا اسماعیلی<sup>۱</sup>، ابوالفضل مساعدی<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آب گرایش سازه‌های آبی گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد [mosaedi@um.ac.ir](mailto:mosaedi@um.ac.ir)

### خلاصه

در دهه‌های اخیر افزایش جمعیت، گسترش شهرنشینی، تغییرات محیطی شهرها و مسائل ناشی از آن یکی از موضوعات مهم در برنامه‌ریزی صحیح به‌منظور مدیریت شهری می‌باشد. یکی از مسائل مطرح در توسعه شهری، موضوع سیلاب و آب‌گرفتگی ناشی از بارندگی‌های شدید می‌باشد؛ بنابراین پیش‌بینی رفتار هیدرولیکی آبراهه‌ها و رودخانه‌ها به‌ویژه مسیل‌های شهری در مقابل سیلاب‌های احتمالی جهت کنترل و کاهش خسارات به مزارع، شهرها، ابنیه و تأسیسات موجود و یا در حال ساخت در حریم آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. در بسیاری از حوضه‌های شهری به دلیل عدم وجود ایستگاه هیدرومتری و یا وجود نواقص آماری زیاد نیاز به انتخاب روش‌های مناسب با توجه به شرایط و خصوصیات حوضه‌ها می‌باشد. در این تحقیق باهدف بررسی دبی پیک سیلاب حوضه آبریز مسیل زرکش شهر مشهد از روش‌های تجربی استفاده گردیده است. به این منظور مسیل زرکش با استفاده از اطلاعات توپوگرافی بستر و مدل HEC-GEORAS در محیط نرم‌افزاری HEC-RAS شبیه‌سازی گردید و پهنه‌های سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف ارائه شده است. وضعیت حریم و بستر مسیل بر اساس تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۲۰ نسبت به هم مقایسه شده و در پایان پیشنهادهایی جهت کاهش خسارات سیلاب ارائه شده است.

**کلمات کلیدی:** توسعه شهری، سیلاب، رواناب سطحی، بارندگی، HEC-RAS.

### ۱. مقدمه

ایران در بخش خشک و نیمه‌خشک کره زمین واقع شده است. مقدار نزولات جوی پراکندگی نامناسب زمانی و مکانی بارش‌ها و عدم دسترسی اکثر مناطق به رودخانه‌های دائمی سبب شده است تا ساکنین این سرزمین پهناور از دیرباز با مشکلات کم‌آبی روبرو باشند. رشد سریع جمعیت و ساخت‌وساز شهری و شهرسازی و همچنین عدم ایجاد و توسعه زیرساخت‌ها، سبب شده است که سیلاب در نواحی شهری نسبت به گذشته شدیدتر شود. از این رو مدیریت سیلاب در یک حوضه نیازمند نگرش یکجا و سیستمی به هیدرولوژی در آن حوضه می‌باشد. در صورت عدم برنامه‌ریزی و پیش‌بینی سیلاب شهری مخصوصاً در کلان‌شهرها، این موضوع بحرانی‌تر می‌گردد. به‌عبارتی دیگر توسعه شهری و روستایی در حاشیه رودخانه‌ها همیشه همراه با توسعه اراضی کشاورزی، تأسیسات برداشت آب، تأسیسات انتقال آب و فاضلاب و

ساختمان سازی می باشد. نتیجه این تغییرات در حوضه های تحت تأثیر شهرسازی، تخریب خط تقسیم آب، قطع کردن مسیل های زهکشی طبیعی و افزایش سطح نفوذناپذیر است. تغییر در مشخصه های رواناب از طریق تغییر الگوی کاربری اراضی برای فهم تأثیرات تغییر کاربری و یا پوشش اراضی، روی فرآیندهای هیدرولوژیکی سطح زمین ضروری است. تغییر کاربری اراضی و گسترش شهرها و افزایش حجم کالبد روستاهای واقع در مجاورت رودخانه ها، خطر سیلاب را به علت افزایش اوج و حجم دبی رودخانه بیشتر کرده و زمان رسیدن دبی به اوج خودش را نیز کاهش می دهد.

## ۲. ضرورت تحقیق

اهمیت و جایگاه مسیل های شهری به گونه ای است که این شبکه ها و کریدورهای طبیعی عامل مهمی در شکل گیری تحولات ساختاری و عملکرد منطقه می باشند. ساختار مناطق شهری، حاصل توزیع همبسته مجموعه لکه ها و کریدورها در بستری از سرزمین است که ویژگی هایشان مبین وضعیت ساختاری یا آسیب پذیری آن می باشد. در این میان مسیل ها شاید مهم ترین این عوامل ساختاری باشند چراکه ایجادکننده ارتباط پایدار بین فضای باز موجود در شهرها هستند. لذا مسیل ها علاوه بر عملکرد استخوان بندی و مبنای ساختاری به عنوان عملکرد محیط زیست شهری نیز ایفای نقش می کنند. گسترش اماکن و تأسیسات شهری در اثر ازدیاد روزافزون جمعیت و تبدیل اراضی کشاورزی به اراضی شهری، همواره موجب بروز مشکلات عدیده ای بوده است که در مجموع باعث برهم خوردن شکل طبیعی اکوسیستم و تعادل هیدرولوژیکی این مناطق می گردد. از بین رفتن تعادل هیدرولوژیکی حوضه های آبی نه فقط موجب سیل های بزرگ و کاهش جریان پایه می شود، بلکه موجب فرسایش خاک، افزایش آلودگی در قسمت های پایاب و کاهش تغذیه سفره آب های زیرزمینی نیز می گردد. از جمله دیگر پیامدهای گسترش شهری به هم ریختن وضعیت آبراهه های طبیعی است که نقش زهکش و کانال هدایت کننده روان آب های دامنه های پرشیب را به سوی رودخانه ها ایفا می نماید. تغییر در این آبراهه ها همواره احتمال خطرات ناشی از وجود سیل را خواهد داشت. مسیل ها و رودخانه های فصلی به دلیل آنکه جریان دائمی در آن ها جاری نمی باشد و از جنبه های بسیاری مورد توجه قرار نمی گیرند در مورد آن ها اطلاعات و آماری ثبت نمی شود و حتی سعی می شود به نحوی آن ها را حذف نمایند. به طور مثال سیل های اوایل فروردین ماه سال ۹۸ در برخی از استان های کشور از جمله فارس، گلستان، لرستان و... نشان داد که مسیل ها می توانند اثرات بسیار متفاوتی از خود نشان دهند، ولیکن در دهه های اخیر علیرغم به گسترش شهرنشینی به این مهم توجهی داده نشده و عده ای افراد سودجو و فرصت طلب با تجاوز به حریم اکثر مسیل ها کاربری آن ها را تغییر دادند.

## ۳. بررسی منابع

میزان افزایش تراز سطح آب در بالادست سازه بیشتر به عواملی از قبیل نوع سازه، مرفولوژی رودخانه و دشت سیلابی آن، موقعیت قرارگیری رودخانه در دشت سیلابی، وضعیت قرارگیری سازه و احتمالاً پایه های آن و دبی عبوری رودخانه، بستگی دارد. بنابراین، احداث سازه هایی نظیر پل ها یا آبگذرها با ابعادی نامتناسب با میزان سیلاب طراحی رودخانه و یا در محل هایی نامناسب، بیشتر سبب تشدید خسارت سیلاب می گردد. در این زمینه تیموتی (۱۹۹۵)، در تحقیق خود ابتدا به بررسی سیلاب به وقوع پیوسته در اثر طوفان آلبرتو در سه رودخانه واقع در ایالت های جورجیا، آلاباما و فلوریدا پرداخت. سپس با استفاده از اطلاعات ایستگاه های هیدرومتری و همچنین اثر داغاب سیل، دبی اوج سیلاب را برآورد نمود. وی با انجام عملیات میدانی عمق سیل در بالادست پلهای احداث شده روی این رودخانه و میزان آب شستگی پایه ها را اندازه گیری نموده و در نهایت نتیجه گیری نمود که دو عامل اساسی افزایش عمق سیل در بالادست پل ها و همچنین حجم بالای

آب‌شستگی در اطراف پایه‌ها از عوامل اصلی تخریب می‌باشند [1]. مارکوس و همکاران (۲۰۰۹)، به بررسی اثر توسعه شهری بر پهنه سیلاب پرداختند و نتیجه‌گیری کردند که به‌طور کلی شهرنشینی موجب افزایش پهنه سیل می‌شود و تغییرات کاربری اراضی نقش مهمی در پهنه سیلاب دارد [2]. مهرآبادی و نصرآبادی (۲۰۱۱)، به بررسی تأثیر مدیریت بهینه سیلاب شهری در کشورهای در حال توسعه پرداختند. آن‌ها به مطالعه مناطق مختلف ایران از جمله اصفهان پرداختند و پیشنهاد کردند که از یک سیستم مدیریت پیوسته می‌توان در جهت استفاده بهینه از سیلاب شهری استفاده کرد [3]. سوریا و همکاران (۲۰۱۲)، به تأثیر توسعه شهری بر سیلاب حوضه آبریز تیروسولام هند پرداختند و به این نتیجه رسیدند که تغییرات کاربری زمین در ارتباط با شهرنشینی در حوضه آبخیز همواره در رژیم جریان منعکس می‌شود ضمن آنکه اثرات هیدرولوژیکی شهرنشینی باید با برنامه‌ریزی شهری مؤثر باشد [4]. یانگ و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی تأثیر شهرنشینی بر ساختار رودخانه چنهوی پرداختند و همچنین وضعیت رودخانه را طی ۳۰ سال بررسی کردند و نتیجه گرفتند شهرنشینی باعث افزایش عظیم فضای غیر قابل نفوذ شده است و تعداد رودخانه‌ها و طول رودخانه‌ها در منطقه مورد مطالعه کاهش یافته است و پیچیدگی و پایداری جریان‌های رودخانه نیز تغییر کرده و در نتیجه ظرفیت ذخیره‌سازی کانال‌های رودخانه در مناطق شهری توسعه یافته نسبت به مناطق کم توسعه بسیار پایین‌تر است که خطر سیل بیشتری را نشان می‌دهد [5]. یانگ و همکاران (۲۰۱۴) اثرات شهرنشینی در سیستم‌های رودخانه منتهی به دریاچه تیهو چین و بررسی تأثیر فعالیت‌های انسانی در تغییرات سیستم رودخانه را مورد بررسی قرار دادند. بر اساس اطلاعات به دست آمده از نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر سنجش از دور، تغییر زمانی و مکانی ژئومورفولوژی رودخانه در منطقه دریاچه تیهو طی ۷۱ سال گذشته در رابطه با شهرنشینی مورد بررسی قرار دادند. نتایج ایشان حاکی از آن بود که با رشد شهرنشینی، تغییر کاربری اراضی در پیرامون رودخانه‌ها افزایش یافته، مسیرهای منحنی رودخانه‌ها به صورت مستقیم درآمد که طول مسیر جهت انتقال جریان به دریاچه کاهش یافته است [6]. زونژیو و ژو (۲۰۱۶) به بررسی تأثیر شهرنشینی سریع بر رواناب شهری و افزایش خطر سیل شهری در حوضه رودخانه لبانشویی در پکن چین پرداخته است. نتایج ایشان نشان داد که حجم رواناب سطحی پس از رشد شهرنشینی ۳/۵ برابر بیشتر از قبل از دوره رشد سریع بوده است. ضریب رواناب از ۰/۱۲ به ۰/۴۱ تغییر و نسبت نفوذ از ۸۸ درصد به ۶۰ درصد کاهش یافته است در نتیجه خطر جاری شدن سیل، افزایش یافته است [7]. زراعتکار (۱۳۹۱)، به بررسی پهنه‌بندی سیلاب رودخانه‌های شاهرود و پل باغ در شهر بیرجند با استفاده از HEC-RAS و ARC-GIS پرداخت و همچنین به شبیه‌سازی بارش رواناب حوضه آبریز بیرجند با استفاده از مدل HEC-HMS در دوره بازگشت‌های ۲۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله پرداخت و نتیجه گرفت که رودخانه پل باغ توان عبور دبی با دوره بازگشت ۵۰ ساله را نداشته و در مناطقی که به حریم رودخانه تجاوز شده است (از جمله مناطق مسکونی و تجاری واقع در حریم کانال‌ها)، رودخانه پل باغ دچار آب‌گرفتگی می‌شود [8]. کیوان لو و همکاران (۱۳۹۱)، به بررسی نقش پل‌ها بر عمق و پهنه سیلاب در رودخانه تالار قائم‌شهر پرداختند. در این پژوهش اثر ۴ پل بر عمق و پهنه سیلاب با دوره بازگشت‌های ۵ تا ۲۰۰ ساله مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که پل‌ها بیشترین تأثیر در افزایش سطح پهنه‌های سیل گیری در اطراف اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی - صنعتی با تراکم زیاد داشته است [9]. سلطانی و همکاران (۱۳۹۲)، به بررسی تأثیر سازه‌های عرضی بر تشدید سیل گیری حوضه آبخیز یزد پرداختند. ایشان در تعیین حریم رودخانه از دبی‌های با دوره بازگشت ۲۵ سال استفاده نمودند و نتیجه گرفتند که به‌منظور کاهش خسارات با حذف سازه‌های عرضی و احداث دیواره‌های حائل طولی نسبت به هدایت سیل به خارج از منطقه باید اقدام گردد [10]. فضل اولی و همکاران (۱۳۹۶) برای شناسایی نقاط آسیب‌پذیر حاشیه رودخانه در زمان وقوع سیلاب از دو مدل HEC-RAS و WMS برای دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله استفاده کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که بیشترین معضل ناشی از سیلاب مربوط به دخل و تصرف در حریم رودخانه و تنگ‌شدگی در اثر ساخت‌وساز زمین‌های کشاورزی در حریم رودخانه بوده است [11]. اسماعیلی و همکاران (۱۳۹۷)، به بررسی اثرات شهرنشینی بر مخاطرات رودخانه و سیلاب‌های شهری پرداختند. در این

تحقیق اثرات شهرنشینی بر روی رودخانه‌های مناطق شهری به‌شهر واقع در استان مازندران مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس بازه‌های رودخانه‌ای، شهر به‌شهر به سه گروه تعدیل‌شده شامل قابل بازیابی، کانال مهندسی و تقریباً طبیعی تقسیم‌بندی شدند که محاسبه ابعاد و ظرفیت کانال برای انتقال جریان سیل نشان می‌دهد که برخی از مقاطع به علت دخالت انسانی و کاهش ابعاد کانال کارایی مناسب برای تخلیه جریان را نداشته و از طرف دیگر وجود برخی از سازه‌ها مانند پل‌های نامناسب مانعی برای انتقال واریزه‌های چوبی بزرگ (تنه‌ها و شاخه‌های درختان) شده و انحراف و بازگشت جریان سیل موجب ایجاد خسارت به مناطق شهری شده است [12]. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر توسعه شهری (تغییر در کاربری اراضی) بر وسعت اراضی سیل‌گیر در دوره بازگشت‌های مختلف در مسیل زرکش واقع در محدوده شهری و حاشیه شهر مشهد می‌باشد.

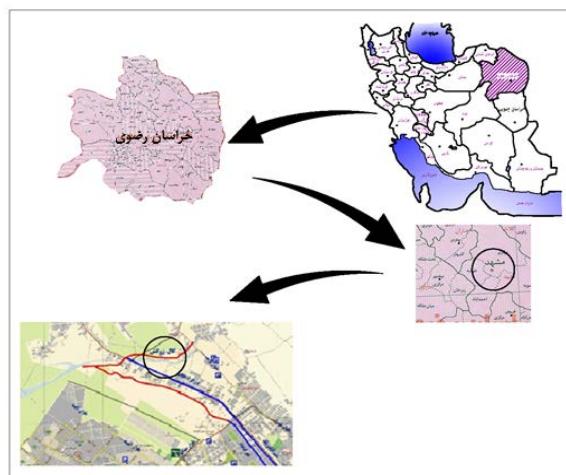
## ۴. مواد و روش

### ۴.۱. معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، مسیل زرکش در محور قدیم مشهد - قوچان (بلوار توس) واقع در ۱۵ کیلومتری شمال غربی شهر مشهد می‌باشد. این مسیل از ارتفاعات مجاور حوضه رودخانه طرقله (دامنه شمالی رشته‌کوه‌های بینالود) سرچشمه گرفته و در جهت شمال شرقی جریان یافته و وارد دشت مشهد می‌شود. این مسیل پس از طی مسافتی حدود ۶/۷ کیلومتر و عبور از جاده آسیایی و روستای ابراهیم‌آباد و اتصال شاخه‌های فرعی دیگری در انتها به کشف‌رود می‌پیوندد. جدول ۱ مختصات جغرافیایی حوضه مورد مطالعه و شکل ۲ موقعیت حوضه را روی نقشه ایران و خراسان رضوی نشان می‌دهد.

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز و مسیل زرکش

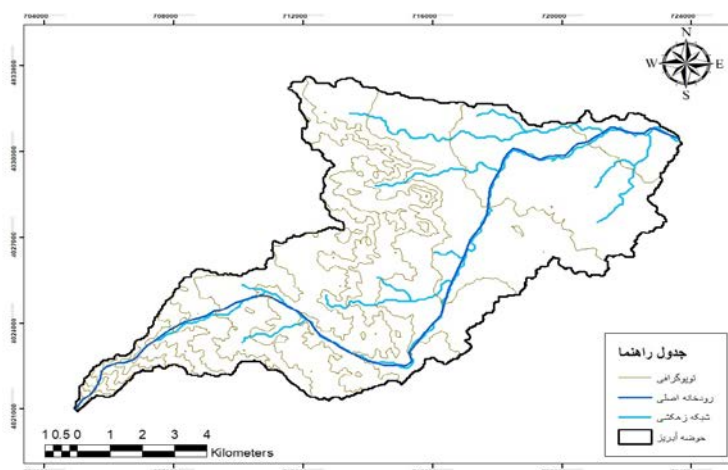
UTM		مختصات جغرافیایی		
جنوب	شمال	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	
4020936	704970	59°16'59"	36°18'42"	حوضه آبریز ابتدا
4030832	723200	59°29'19"	36°23'48"	انتهای
4030952	723406	59°29'28"	36°23'52"	مسیل زرکش ابتدا
4033957	728114	59°32'40"	36°25'25"	انتهای



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مسیل زرکش

#### ۲.۴. خصوصیات فیزیوگرافی

خصوصیات فیزیکی یک حوضه، نمایانگر وضعیت کل حوضه می‌باشد. برخی خصوصیات حوضه تأثیر مستقیم و مهمی بر رژیم آبی حوضه از جمله رواناب سالانه، سیلاب و رسوب دارد. به منظور مطالعات فیزیوگرافی حوضه آبریز مورد انتخابی از نقشه‌های رقومی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ که از سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه گردیده است، استفاده شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار WMS حوضه آبریز مسیل زرکش رسم گردید (شکل ۲). حوضه آبریز مسیل زرکش بر اساس تقسیم‌بندی وزارت نیرو، جزء حوضه قره قوم (سرخس) می‌باشد. به منظور برآورد زمان تمرکز از روش‌های کرپیچ، گیاندوتی، کالیفرنیا و برانسی ویلیامز بکار گرفته شد و نتایج به دست آمده مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. محاسبه و مورد بررسی قرار گرفت. پس از بازدید میدانی روش گیاندوتی به عنوان روش مبنا انتخاب گردید. مهم‌ترین خصوصیات هندسه و شرایط تراکم شبکه زهکشی در جدول (۲) آمده است.



شکل ۲- نقشه حوضه آبریز مسیل زرکش

## جدول ۲- خصوصیات فیزیوگرافی حوضه آبریز مسیل زرکش

ضریب فرم حوضه	ضریب گراویلیوس	مستطیل معادل		قطر دایره هم مساحت Km	محیط Km	مساحت Km <sup>2</sup>	
		عرض Km <sup>2</sup>	طول Km <sup>2</sup>				
0.14	2.28	2.65	38.39	11.38	81.50	101.74	
تراکم زهکشی Km/Km <sup>2</sup>	زمان تمرکز hr	متوسط ارتفاع m	حداقل ارتفاع m	حداکثر ارتفاع m	شیب اصلی درصد	شیب آبراهه اصلی درصد	طول آبراهه اصلی Km
0.08	3.37	1271	1030	1940	3.62	3.37	27.00

### ۳.۴. هواشناسی

کشور ایران جزء مناطق خشک و نیمه خشک جهان به شمار می آید. متوسط بارش سالانه آن حدود ۲۴۰ میلی متر است که حدود ۳۰ درصد متوسط بارش کره زمین می باشد. در بین مناطق مختلف کشورمان نیز استان خراسان رضوی جزء استان های خشک و نیمه خشک به شمار می رود. متوسط بارش استان در حدود ۱۷۰ میلی متر است. به جز در برخی مناطق شمالی استان، در قسمت اعظم نواحی مرکزی و جنوبی آن بارش سالانه کمتر از ۱۲۰ میلی متر می باشد. جهت انتخاب ایستگاه مبنا، ایستگاه باران سنجی جاغرق را که در نزدیکی حوضه مطالعاتی قرار دارد و از لحاظ ارتفاع و اقلیم با منطقه مشابه می باشد، به عنوان ایستگاه مبنا معرفی شده است. در جدول ۳ مشخصات ایستگاه باران سنجی جاغرق آمده است.

### جدول ۳- مشخصات ایستگاه هواشناسی مورد استفاده

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	ارتفاع	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	طول دوره آماری
جاغرق	باران سنجی	1420	59°19'12.00"	36°19'12.00"	27

بارندگی ها در یک منطقه مشخص در طول سال دارای شدت و مدت بارندگی متفاوتی هستند. به طور کلی هر چه مدت بارندگی افزایش یابد از شدت آن کاسته خواهد شد. شدت بارندگی بر رخ دادن سیلاب نقش بسزایی دارد. جهت محاسبه و برآورد شدت بارندگی پژوهش های زیادی جهت استخراج پارامترهای بارندگی های کوتاه مدت و نیز نسبت های بارندگی های کوتاه مدت به حداکثر بارش های ۲۴ ساعته صورت گرفته است. در ایران نتایج حاصل از تحقیقات قهرمان بر روی آمار ایستگاه های مجهز به باران سنج در نقاط مختلف ارائه شده است که برای مناطق شمال شرق کشور شامل منطقه مورد مطالعه به صورت زیر می باشد [14, 13]:

$$P_{60}^{10} = e^{0/291} (P_{24h})^{0/694} \quad (1)$$

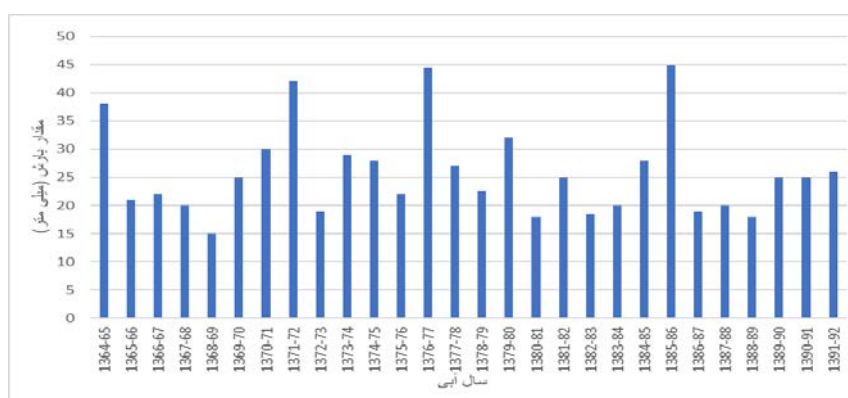
$$P_T^t = [0/4524 + 0/247 \ln(T - 0/6)] (0/3710 + 0/6184 t^{0/4484}) P_{10}^{60} \quad (2)$$

در رابطه فوق  $P_{60}^{10}$ : مقدار باران یک ساعته با دوره برگشت ۱۰ سال،  $P_{24h}$ : متوسط حداکثر بارش های ۲۴ ساعته (ماکزیمم روزانه)،  $P_T^t$ : مقدار باران  $t$  دقیقه ای مورد نظر با دوره برگشت  $T$ ،  $t$ : مدت بارندگی بر حسب دقیقه،  $T$ :

دوره بازگشت برحسب سال می باشد. مقادیر حداکثر بارش روزانه (۲۴ ساعته) در طول دوره آماری در ایستگاه جاغرق در جدول ۴ و شکل ۳ ارائه شده است.

جدول ۴- میزان حداکثر بارش روزانه در طول دوره آماری

سال	1364-65	1365-66	1366-67	1367-68	1368-69	1369-70	1370-71
مقدار بارش (mm)	38	21	22	20	15	25	30
سال	1371-72	1372-73	1373-74	1374-75	1375-76	1376-77	1377-78
مقدار بارش (mm)	42	19	29	28	22	44.5	27
سال	1378-79	1379-80	1380-81	1381-82	1382-83	1383-84	1384-85
مقدار بارش (mm)	22.5	32	18	25	18.5	20	28
سال	1385-86	1386-87	1387-88	1388-89	1389-90	1390-91	1391-92
مقدار بارش (mm)	45	19	20	18	25	25	26



شکل ۳- هیستوگرام حداکثر بارش روزانه برای سال های آبی ۱۳۶۴ الی ۱۳۹۱

#### ۵.۴. برآورد دبی پیک سیل

مطالعات هیدرولوژی از جمله مهم ترین و اساسی ترین بخش های مطالعات تعیین پهنه های سیل گیر و حد بستر و حریم رودخانه ها می باشد. علت اهمیت آن، اثرگذاری آن در دقت پهنه های تعیین شده و تأثیر مستقیم بر عرض پهنه های سیلابی مسیل ها است. در مطالعات هیدرولوژی آب های سطحی یک منطقه و به منظور محاسبه و برآورد مقادیر رواناب و سیل پیک حوضه نیاز به آمار و اطلاعات رواناب و سیلاب های مشاهده شده و ثبت شده در ایستگاه های هیدرومتری موجود در منطقه و مجاور منطقه می باشد. چنانچه ایستگاه هیدرومتری به تعداد کافی و دارای دوره آماری مناسب در منطقه باشد پس از بررسی های لازم از آمار و داده های آن استفاده می شود. متأسفانه تاکنون در منطقه مطالعاتی هیچ گونه ایستگاه هیدرومتری تأسیس نشده است، لذا جهت تعیین پارامترهای اقلیمی محدوده مطالعاتی از ایستگاه های مجاور که تقریباً دارای اقلیم مشابه منطقه هستند استفاده شده است (جدول ۵).

### جدول ۵- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری مورداستفاده

نام ایستگاه هیدرومتری	سرآسیاب شاندیز	حصار گلستان	جاغرق
ارتفاع (m)	1295	1272	1510
مساحت (Km <sup>2</sup> )	203	116	309.7

در این تحقیق جهت برآورد دبی‌های سیلابی روش‌های استدلالی، دیکن، کریگر، فولر، مورداستفاده قرار گرفت و روش مناسب جهت مدل‌سازی هیدرولیکی انتخاب گردید. پس از جمع‌آوری اطلاعات مربوط به رواناب خالص ایستگاه‌های مورد مطالعه از سال ۱۳۶۰ الی ۱۳۹۰ جهت محاسبه سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف نرم‌افزار Cumfreq مورداستفاده قرار گرفت. در ادامه به روابط استدلالی، دیکن، کریگر، فولر به ترتیب اشاره شده است [16,15].

$$Q_p = 0.2755 C I A \quad (3)$$

$$Q_p = CA^{0.75} \quad (4)$$

$$Q_p = 1.303C(0.386A)^{0.936}A^{-0.048} \quad (5)$$

$$Q_p = CA^{0.8} [1 + 0.8 \times \log(T)] [1 + 2.66A^{-0.3}] \quad (6)$$

$Q_p$ : حداکثر دبی سیل (مترمکعب بر ثانیه)،  $C$ : ضریب حوضه (برای هر معادله تجربی متفاوت است)،  $A$ : مساحت حوضه آبریز مطالعاتی (کیلومتر مربع)،  $I$ : شدت بارندگی (میلی‌متر)  $T$ : دوره بازگشت (سال) می‌باشد. ضریب حوضه در رابطه (۳) بر اساس روش چاو و برای سایر روابط بر اساس ضرایب حوضه‌های آبریز مجاور محدوده مطالعاتی در نظر گرفته شده است.

### ۶.۴. مدل‌سازی هیدرولیکی

پدیده سیلاب به‌گونه‌ای پیچیده است که نمی‌توان آن را دقیقاً مدل‌سازی نمود، اما تا حد قابل‌قبولی می‌توان به این مهم دست‌یافت. مدل ریاضی-هیدرولیکی HEC-RAS نسخه ارتقاء یافته HEC-2 است. HEC-RAS که به سیستم تحلیل رودخانه شناخته شده است، محصولی از مرکز مهندسی هیدرولوژی ارتش آمریکا می‌باشد که امکان انجام محاسبات هیدرولیک رودخانه در جریان ماندگار و غیر ماندگار در کانال‌های طبیعی و مصنوعی را دارد و شامل چهار مؤلفه تحلیل یک‌بعدی رودخانه از جمله: محاسبات پروفیل سطح آب در جریان ماندگار، شبیه‌سازی جریان غیر ماندگار، محاسبات انتقال رسوب مرز متحرک و-تحلیل کیفی آب، می‌باشد. محاسبات پروفیل سطح آب در مدل HEC-RAS به روش عددی گام‌به‌گام استاندارد بین دو مقطع صورت می‌گیرد. روند اصلی محاسبات بر پایه حل معادله انرژی یک‌بعدی استوار می‌باشد. افت‌های انرژی بر اساس افت اصطکاک (معادله مانینگ) و واگرایی یا همگرایی جریان ارزیابی می‌شود. از معادله مومنوم در وضعیت‌های تغییر سریع پروفیل سطح آب استفاده می‌شود که این شرایط شامل محاسبات رژیم جریان مختلط، هیدرولیک پل‌ها و ارزیابی پروفیل‌ها در محل‌های انشعاب رودخانه (آبراهه) می‌باشند. اثرات موانع مختلف نظیر پل‌ها، کالورت‌ها و سازه‌های موجود در سیلاب‌دشت را می‌توان در محاسبات منظور نمود. یکی از نرم‌افزارهایی که در همراه با این نرم‌افزار برای پهنه‌بندی سیلاب استفاده می‌شود، نرم‌افزار ArcGIS است که با الحاقیه‌های مختلفی که برای آن تولید شده کار را بسیار راحت‌تر کرده است. برداشت مقاطع و وارد نمودن آن‌ها به صورت دستی در مدل، معمولاً بسیار وقت‌گیر و پرهزینه بوده و همچنین انتقال اطلاعات به شیوه دستی به HEC-RAS کاری پرزحمت و طاقت‌فرسا می‌باشد. با توجه به این



مشکلات، اداره مهندسی ارتش آمریکا اقدام به تهیه و توسعه الحاقیه‌ای تحت عنوان HEC-GeoRAS در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) نموده است. این الحاقیه با محیط نرم‌افزار HEC-RAS انطباق کامل داشته و با صرف زمان کمتر و دقت بیشتر، اطلاعات پایه هندسی که نقش مهمی در سیستم تحلیل رودخانه را دارا می‌باشند، تهیه می‌نماید. این نرم‌افزار، علاوه بر استخراج مدل هندسی، امکان دریافت اطلاعات خروجی از مدل هیدرولیکی را نیز برای کاربر میسر می‌کند و لذا کاربر به راحتی می‌تواند برای دوره بازگشت‌های مختلف پهنه سیلاب را در محیط GIS استخراج نماید. این برنامه، فایل ورودی را با استفاده از داده‌های به دست آمده از شیپ فایل‌های ArcGIS و مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه مورد نظر را می‌سازد؛ بنابراین برای استفاده از این نرم‌افزار در اختیار بودن یک DEM که در قالب شبکه نامنظم مثلثی (TIN) توصیف شده باشد ضروری است. لایه‌هایی که با استفاده از این اطلاعات ساخته می‌شوند، لایه‌های RAS نامیده می‌شوند. اطلاعات جغرافیایی در نتیجه محاسباتی که بر روی این لایه‌ها انجام می‌شود به دست می‌آیند. قبل از وارد کردن این اطلاعات در HEC-RAS و انجام محاسبات هیدرولیکی، باید اطلاعات جغرافیایی و داده‌های مربوط به مشخصات جریان مسیر تکمیل شوند. پروفیل سطح آب و سرعت‌های منتج از شبیه‌سازی در HEC-RAS را می‌توان به منظور تحلیل‌های مکانی با استفاده از HEC-GeoRAS در محیط GIS وارد کرد. پس از تعیین مشخصات مدل و تکمیل اطلاعات اولیه لازم است داده‌ها به نرم‌افزار HEC-RAS منتقل، سپس در فایل ورودی به تکمیل مشخصات هندسی و هیدرولیکی رودخانه نظیر ضریب مانینگ و داده‌های جریان جهت مدل‌سازی پرداخته شود. شیب طبیعی رودخانه با استفاده از نرم‌افزار GoogleEarth برآورد شد. پس از اجرای مدل هیدرولیکی خروجی اطلاعات به نرم‌افزار ArcGis منتقل گردید و پهنه سیل در دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال مورد بررسی قرار گرفت.

#### ۷.۴. ضریب زبری

ضریب زبری به درجه مقاومت در مقابل جریان گفته می‌شود. بعد و واحد آن به نوع رابطه جریان بستگی دارد. ضریب زبری هیدرولیکی رودخانه به عوامل مختلف از جمله عمق جریان، لزجت جریان، قطر دانه رسوبی در بستر و سیلاب‌دشت، پوشش گیاهی، موانع موجود در بستر، پیچان‌رودی رودخانه و غلظت رسوب جریان تأثیرگذار می‌باشد. روابط مختلف و بسیاری جهت تعیین ضریب زبری جریان در مجاری باز نظیر رودخانه‌ها تعریف شده است. به منظور برآورد ضریب زبری، سازمان حفاظت خاک و زمین‌شناسی آمریکا رابطه کاون را تکمیل و ارائه کرده است:

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m \quad (7)$$

در این رابطه،  $n_b$ : ضریب مانینگ پایه بر اساس دانه‌بندی مواد تشکیل‌دهنده جداره آبراهه و یا سیلاب‌دشت،  $n_1$ : ضریب مانینگ تعدیلی برای درجه بی‌نظمی سطح آبراهه اصلی و یا سیلاب‌دشت،  $n_2$ : ضریب مانینگ تعدیلی برای تغییرات مقاطع عرضی،  $n_3$ : ضریب مانینگ تعدیلی برای موانع آبراهه اصلی و یا سیلاب‌دشت،  $n_4$ : ضریب مانینگ تعدیلی برای پوشش گیاهی موانع آبراهه اصلی و یا سیلاب‌دشت،  $m$ : ضریب اصلاحی زبری بر اساس درجه پیچان‌رودی آبراهه اصلی می‌باشد. جهت تعیین ضریب زبری مانینگ پس از بازدید میدانی از تمامی مسیر، با استفاده از روش کاون برای بستر و همچنین ساحل چپ و راست رودخانه، مقادیر ضریب زبری بر اساس روش کاون تعیین و در مدل‌سازی نرم‌افزاری مورد استفاده قرار گرفت.

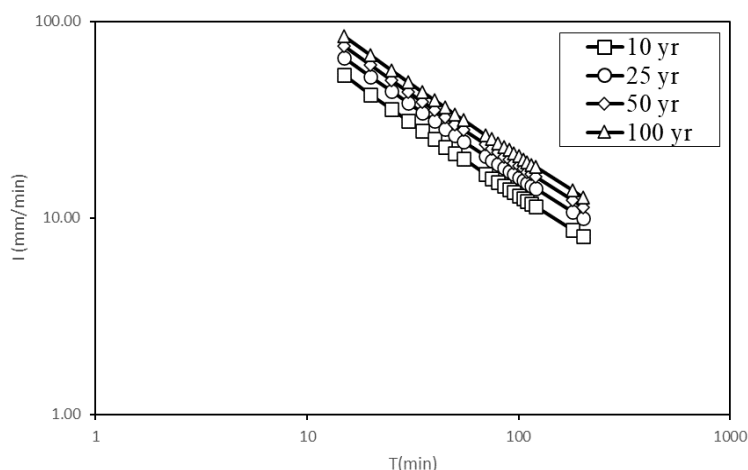
## ۵. نتایج و بحث

### ۱.۵. بررسی شدت بارندگی

همان‌طور که اشاره گردید جهت برآورد شدت بارندگی‌های کوتاه‌مدت از روابط (۱ و ۲) استفاده گردید. ابتدا مقادیر باران‌های با تداوم ۱۵ الی ۲۴۰ دقیقه در دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ سال، تعیین شد. جهت برآورد شدت بارندگی در زمان تمرکز مدنظر، پس از استخراج معادلات شدت-مدت-فراوانی مربوط به هر دسته منحنی، مقادیر بارندگی بر اساس زمان تمرکز حوضه برای دوره بازگشت‌های مختلف تعیین گردید. جدول ۶ مقادیر بارش‌های کوتاه‌مدت و شکل ۴ دسته منحنی‌های شدت مدت فراوانی را نشان می‌دهد.

جدول ۶- مقادیر بارش محاسبه‌شده در دوره بازگشت‌های مختلف

I(mm/min)	T <sub>c</sub> (h)	R <sup>2</sup>	Equation	P <sub>60</sub> <sup>10</sup>	P <sub>24h</sub>	T
8.48	3.37	0.998	$P = 303.69t^{-0.678}$	314.7	45.0	10
10.47			$P = 374.84t^{-0.678}$			25
13.39			$P = 427.46t^{-0.678}$			50
12.44			$P = 479.61t^{-0.678}$			100



شکل ۴- نمودار منحنی‌های شدت مدت فراوانی (IDF)

### ۳.۵. تعیین ضریب رواناب حوضه آبریز

در کشور ایران در چهار حوضه آبریز اصلی شامل حوضه آبریز دریای خزر مدل مورفی، حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان مدل دیکن، حوضه آبریز دریاچه ارومیه مدل گری و حوضه آبریز مرکزی ایران مدل کرامر در دوره بازگشت‌های پایین و مدل کریگر در دوره بازگشت‌های بالا برای استفاده پیشنهاد شده است و برای حوزه‌های آبخیز هامون و سرخس (قره قوم) هنوز تعیین نشده است. جهت برآورد دبی سیل به روش استدلالی بر اساس شدت بارندگی‌ها و ضریب حوضه بر اساس روش چاو محاسبه گردید و در سایر روش‌های تجربی جهت برآورد دبی سیلاب در دوره بازگشت‌های مدنظر ابتدا مقادیر ضریب حوضه (C) بر اساس میانگین سه ایستگاه هیدرومتری شاندیز، جاغرق، حصار با توجه به معادله تجربی

محاسبه گردید و سپس مقدار دبی پیک مسیل زرکش برآورد شد. مقادیر ضریب حوضه آبریز در جدول ۷ آمده است. ضریب حوضه روش دیکن در دشت‌ها بین ۲/۸ الی ۵/۶، مدل کریگر ۱۰۰ الی ۲۰۰، فولر ۰/۰۳ الی ۲/۸ می‌باشد [14,13].

**جدول ۷- مقادیر ضریب رواناب حوضه آبریز زرکش برای روش‌های تجربی برآورد دبی سیلاب**

C				
T(year)	استدلالی	دیکن	کریگر	فولر
10	0.31	0.34	0.57	0.09
25	0.34	0.64	1.0	0.15
50	0.37	1.01	1.48	0.21
100	0.39	1.59	2.17	0.30
200	-	2.50	3.16	0.43

#### ۴.۵. تعیین مقادیر دبی سیلاب

در بسیاری از موارد استفاده از روش‌های مختلف برآورد آبدهی در حوضه‌های فاقد آمار در مطالعات مهندسی رودخانه ضروری می‌باشد زیرا اغلب حوضه‌های آبریز فاقد اطلاعات دبی اندازه‌گیری هستند و یا دارای دوره آماربرداری کوتاه و ناکافی می‌باشند که جهت تحلیل‌های هیدرولوژیکی کافی نمی‌باشند. از جهتی دیگر انتخاب روش مناسب برآورد دبی سالانه از میان سایر روابط تجربی برآورد آبدهی سالانه حوضه کاری دشوار می‌باشد، زیرا ارقام حاصله گاهی مقادیر نزدیکی به یکدیگر نشان نمی‌دهند که علت آن فاکتورهای مؤثر در هر یک از روش‌های مورد استفاده با یکدیگر متفاوت می‌باشد. جدول ۸ دبی سیلاب تجربی حوضه آبریز زرکش را نشان می‌دهد.

**جدول ۸- مقادیر دبی سیلاب ( $m^3/s$ ) حوضه آبریز زرکش در دوره بازگشت‌های مختلف بر اساس روش‌های تجربی مختلف**

T(year)	استدلالی	دیکن	کریگر	فولر
10	28.65	10.89	11.57	11.26
25	38.90	20.45	20.35	21.13
50	48.39	32.41	30.27	33.47
100	56.56	51.05	44.33	52.68
200	-	80.13	64.45	82.63

پس از محاسبه دبی‌های سیلاب و مقایسه مقادیر روش‌های تجربی، با توجه به اینکه روش استدلالی در دوره بازگشت‌های ۲۰۰ سال به بالا توانایی برآورد دبی سیل را ندارد و همچنین مدل خاصی برای حوضه آبریز سرخس پیشنهاد نشده است.

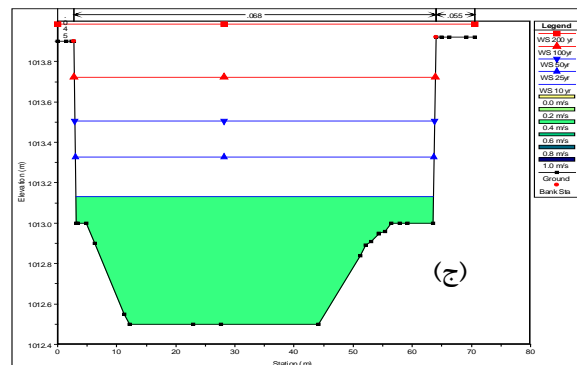
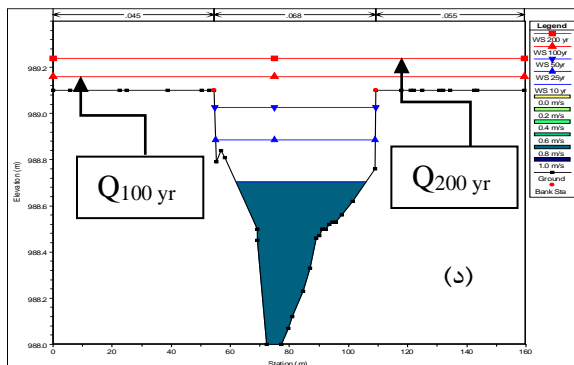
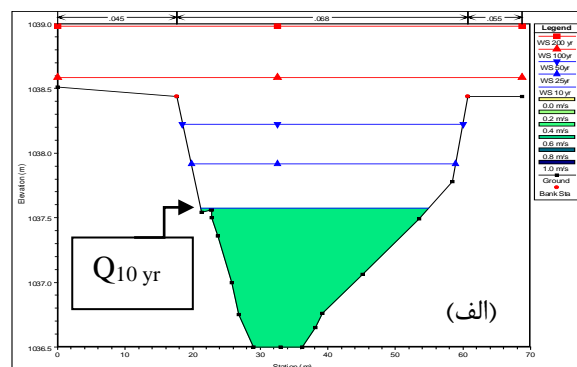
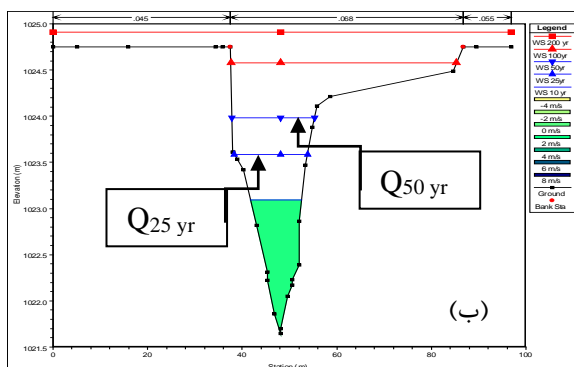
#### ۵.۵. بررسی پهنه سیل گیر

پس از تعیین ضرایب مانینگ، دبی سیلاب و شیب بستر رودخانه با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS پهنه‌بندی سیلاب صورت گرفت. مقادیر ضریب زبری مانینگ بر اساس روش کاون در جدول ۹ ارائه شده‌اند. با استفاده از نتایج حاصل از اجرای نرم‌افزار که به صورت گراف و جدول می‌باشد می‌توان نسبت به تحلیل پهنه سیل گیر اقدام کرد و راهکارها و

پیشنهادهایی به منظور اصلاح بستر رودخانه و کاهش درصد خطر و افزایش بهره‌وری ارائه داد. شکل ۵ شرایط پروفیل سطح آب در چند مقطع عرضی منتخب و جدول ۱۰ مشخصات جریان مقاطع مدنظر را نشان می‌دهد.

جدول ۹- مقادیر نهایی ضریب زبری مانینگ بر اساس روش کاون برای مسیل زرکش

n	m	N <sub>4</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>0</sub>	محل موردنظر
0.068	1	0.01	0.025	0.005	0.005	0.023	بستر
0.0044	1	0.008	0.01	0.003	0.003	0.020	ساحل چپ
0.050	1	0.009	0.015	0.003	0.003	0.020	ساحل راست



شکل ۵- الف) مقطع عرضی ۱۸، ب) مقطع عرضی ۷۳، ج) مقطع عرضی ۱۰۸، د) مقطع عرضی ۱۹۳

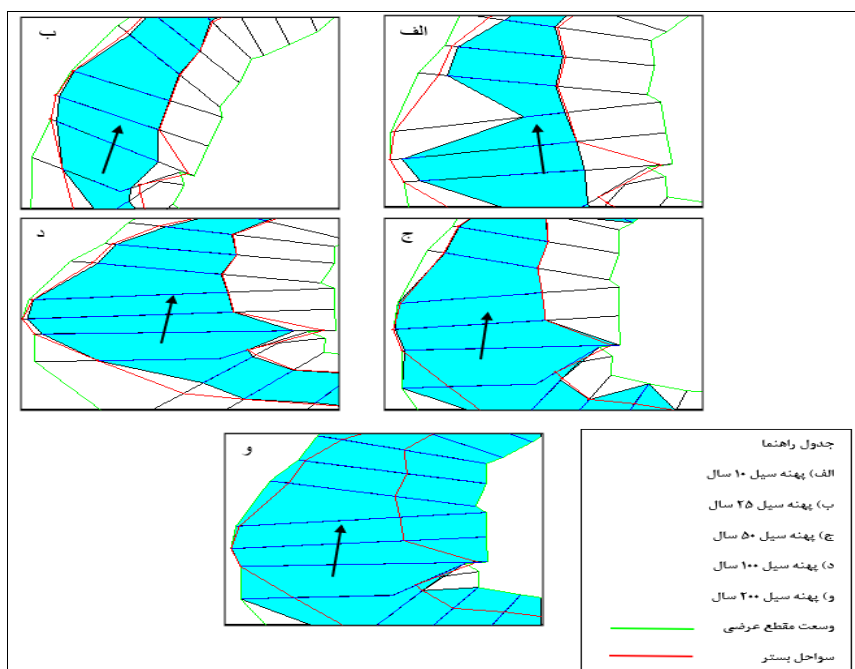
جدول ۱۰- مشخصات جریان مقاطع عرضی منتخب

Station	T	Q(m <sup>3</sup> /s)	W.S. Elve	Vel Chanel	Top Width	Froude
18	10	11.26	1037.57	0.54	33.67	0.22
	25	21.13	1037.9	0.63	39.15	
	50	33.47	1038.23	0.73	41.48	0.23
	100	52.68	1038.58	0.85	68.74	
	200	82.63	138.98	0.96	68.74	
71	10	11.26	1023.09	1.31	10.72	0.47
	25	21.13	1023.58	1.43	15.42	0.46
	50	33.47	1023.98	1.56	17.41	0.45
	100	52.68	1024.58	1.34	47.74	0.47
	200	82.63	1024.91	1.40	96.81	0.42
108	10	11.26	1013.13	0.39	60.42	0.18
	25	21.13	1013.33	0.52	60.64	0.21
	50	33.47	1013.51	0.65	60.84	0.23
	100	52.68	1013.72	0.82	61.09	0.25
	200	82.63	1013.99	1.03	70.54	0.29
193	10	11.26	988.70	0.81	43.86	0.46
	25	21.13	988.88	0.92	53.91	0.45
	50	33.47	989.03	1.09	54.49	0.46
	100	52.68	989.16	1.33	159.53	0.51
	200	82.63	989.24	1.70	159.53	0.62

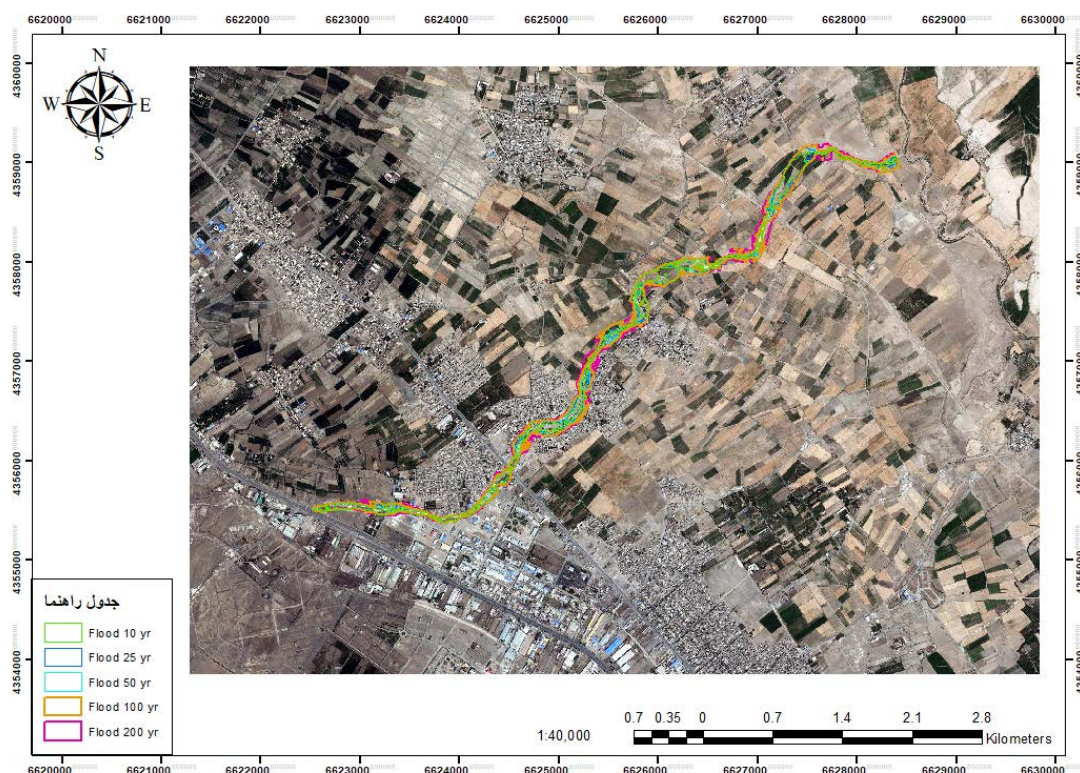
بررسی بستر مسیل زرکش بر روی تصاویر استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای سال ۲۰۲۰ و ۲۰۰۶ منطقه به‌وضوح نشان‌دهنده تغییراتی در مورفولوژی و ابعاد مسیل از جمله (جاده‌سازی، ساخت‌وسازهای غیراصولی) و به‌طور کلی توسعه فضای شهری در حریم فنی رودخانه می‌باشد که طی مشاهدات در بالادست و پایین‌دست مسیل زرکش این امر تأثیر می‌گذارد (شکل‌های ۶، ۷ و ۸). میزان وسعت اراضی پهنه سیل گیر مسیل زرکش با دوره بازگشت‌های ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ سال در جدول ۱۱ آورده شده است. همان‌گونه که این مقادیر نشان می‌دهند به ازای دوره بازگشت‌های طولانی‌تر میزان دبی بیشتر شده و به سطح پهنه سیلاب در همه مقطع‌ها افزوده می‌شود.

جدول ۱۱- وسعت اراضی سیل گیر مسیل زرکش در دوره‌های بازگشت مختلف

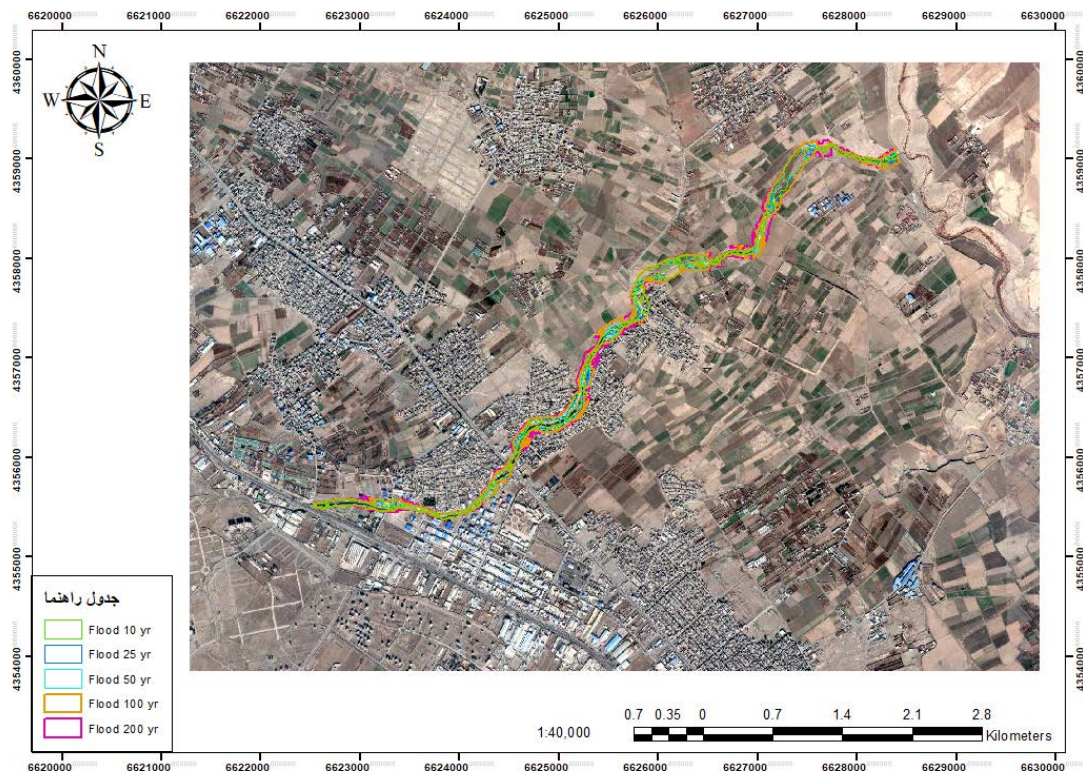
T	Q(m <sup>3</sup> /s)	A(m <sup>2</sup> )
10	11.26	236107.44
25	21.13	306515.13
50	33.47	379086.54
100	52.68	456914.77
200	82.63	555886.43



شکل ۶- پهنه سیلاب مسیل زرکش در قسمتی از رودخانه



شکل ۷- پهنه سیلاب دوره بازگشت‌های مختلف مسیل زرکش بر روی عکس ماهواره‌ای سال ۲۰۰۶



شکل ۸- پهنه سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف مسیل زرکش بر روی عکس ماهواره‌ای سال ۲۰۲۰

## ۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این پژوهش تأثیر توسعه شهرنشینی بر روی پهنه سیلاب مسیل زرکش مشهد ارزیابی گردید. براین اساس جهت شبیه‌سازی هیدرولیکی مسیل زرکش از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل هیدرولیکی HEC-RAS استفاده شد. همان‌طور که در شکل ۵ پهنه‌های سیل با دوره بازگشت‌های مختلف مشخص شده است، مشاهده می‌شود که به ازای دوره بازگشت‌های طولانی‌تر میزان دبی بیشتر شده و سطح سیلاب در هر مقطع افزوده می‌شود و با افزایش سطح مقطع، ارتفاع سیل‌گیری کاهش می‌یابد. با توجه به خشک‌سالی‌های متعدد طی سال‌های اخیر و خشک‌رود بودن اغلب مسیل‌ها در شهر مشهد، گمان عمومی نسبت به خطر وقوع سیلاب ضعیف گشته و تصرفات متعددی به حریم مسیل‌ها صورت گرفته است که شدت و ضعف آن در نقاط مختلف متفاوت می‌باشد. جهت کاهش میزان تجاوزات و اصلاح این مسیل می‌بایست موارد ذیل مدنظر قرار گیرد:

- مناطق مسکونی، موجود در محدوده مسیل زرکش بایستی با رعایت حریم فنی رودخانه و در فاصله مناسب از آن قرار گیرند.
- واحدهای صنعتی فعال و یا شرف آغاز فعالیت در بستر و یا مجاورت آن متوقف و ممنوع شود.
- وجود موانع و یا تنگ‌شدگی در مقاطع باعث افزایش پهنه سیلاب شده است که با اصلاح، لایروبی و تغییرات عرضی یا به‌طور کلی ساماندهی رودخانه، خطرات ناشی از سیل می‌تواند کاهش یابد. فعالیت‌های زراعی صورت گرفته در بستر یا حریم رودخانه متوقف‌شده و بایستی با رعایت حریم فنی رودخانه در فاصله مناسب و ضوابط فنی انجام شود.

■ جاده‌های مواصلاتی و عبور کننده از بستر رودخانه و حاشیه آن اصلاح شده و با حفظ حریم فنی در فاصله مناسب قرار گیرند.

## ۷- مراجع

1. Timothy C.S. (1994), "Summary of data-collection activities and effects of flooding from tropical storm Alberto in parts of Georgia," US Geological Survey.
2. Hejazi, MI. and Markus, M. (2009), "Impacts of Urbanization and Climate Variability on Floods in Northeastern Illinois," *Hydrologic Engineering*, 6 (14).
3. Mehrabadi, MHR. and Nasrabadi, AT. (2011), "Effect of continuous management in the optimal use of urban flood and municipal wastewater to improve the environment in developing countries," *World Environmental and Water Resources*, Palm Springs, California, United States, 22-26 May.
4. Suriya, S. and Mudgal, B.V. (2012), "Impact of urbanization on flooding: The Thirusoolam sub watershed – A case study," *Hydrology*, 412-413, pp 210–219.
5. Yang, L. and Ji, X. and Xu, Y. and Han, L. (2014), "Impacts of urbanization on river system structure: a case study on Qinhuai River Basin, Yangtze River Delta," *Water Science & Technology*, 4(70), pp 671–677.
6. Yang M-n, You-peng, Pan X-b, Han L. (2014), "Impacts of Urbanization on Precipitation in Taihu Lake Basin, China," *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(4), pp 739-736.
7. Xu, Z. Zhao, G. (2016), "Impact of urbanization on rainfall – runoff processes: case study in the liangshui river basin in beijing, china," *proceedings of the international association of hydrologic sciences*, 373, pp 7–12.
۸. زراعتکار، ز. (۱۳۹۱)، "پهنه‌بندی سیلاب رودخانه‌های شاهرود و پل باغ در شهر بیرجند با استفاده از HEC-RAS و ARC-GIS" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زابل، زابل.
۹. کیوانلو، م. فضل اولی، ر. و عمادی، ع. (۱۳۹۱)، "بررسی اثر پل‌ها بر عمق و پهنه سیلابی در رودخانه تالار قائمشهر،" *نهمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، ۳ بهمن.*
۱۰. سلطانی، م. اختصاصی، م. (۱۳۹۲)، "بررسی تاثیر سازه‌های عرضی بر تشدید سیل گیری در حوزه آبخیز منشا یزد،" *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۴(۷)، صفحه ۳۰-۴۱.*
۱۱. فضل اولی، ر. نهالی، ب. کبارفرد، م. (۱۳۹۶)، "شناسایی نقاط آسیب پذیر حاشیه رودخانه در زمان وقوع سیلاب، با استفاده از دو مدل هیدرولیکی WMS و HEC-RAS (مطالعه موردی: رودخانه تالار)،" *دومین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی سازه و مدیریت ساخت، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران، ۲۰-۱۹ اسفند.*
۱۲. اسماعیلی، ر. علیزاده، ز. لرستانی، ق. (۱۳۹۷)، "بررسی اثرات شهرنشینی بر مخاطرات رودخانه‌ای و سیلاب‌های شهری (مطالعه موردی، استان مازندران، شهر بهشهر)،" *ششمین کنفرانس جامع مدیریت و مهندسی سیلاب، وزارت نیرو، تهران، ایران، ۲۱-۲۰ مرداد.*



۱۳. علیزاده، ا. (۱۳۹۲)، "اصول هیدرولوژی کاربردی"، دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد، ایران.

14. Ghahraman, B. and Abkhezr, H. (2004), "Improvement in Intensity-Duration-Frequency Relationships of Rainfall in Iran," *Journal of Water and Soil Science*, 2(8), pp 1-14.

۱۵. زراعتکار، ز. حسن پور، ف. تابع، م. (۱۳۹۳)، "ارزیابی روش های برآورد دبی پیک سیلاب در حوضه آبخیز شهری جهت کنترل سیلاب"، سومین همایش بین المللی سامانه های سطوح آبخیز باران، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران، ۲۹-۳۰ بهمن.

16. Chaves, L.G. and Studart, T.M.d.C. Campos, J.N.B. Souza, F. (2017), "Regional envelope curves for the state of Ceará: a tool for verification of hydrological dam safety," *RBRH*, 22(29), pp 1-10.