

## تأثیر مداخلات انسانی در حریم و بستر رودخانه فاروب رومان و ویژگی‌های سیل آن

فهیمه خواجه‌ئی<sup>۱</sup>، سعید رضا خدائشناس<sup>۲\*</sup>، ابوالفضل مساعدی<sup>۲</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

(تاریخ دریافت ۱۳۹۹/۰۶/۰۳، تاریخ تصویب ۱۴۰۰/۰۲/۲۲)

## چکیده

با توجه به موقعیت کشور ایران که در منطقه خشک و نیمه خشک قرار گرفته است و همچنین، خسارت‌های سیلاب‌ها در سال‌های اخیر، مطالعات مدیریت سیلاب اهمیت زیادی دارد. آثار تخریبی و مداخلات گسترده انسان در حریم و بستر رودخانه‌ها به صورت‌های مختلف رخ داده است. بنابراین، شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی رودخانه‌ها، برای پیش‌بینی خسارت‌های ناشی از سیلاب، کنترل و مهار سیلاب، ساماندهی رودخانه‌ها و سایر مطالعات ضرورت دارد. در تحقیق حاضر به مدل‌سازی بازه‌ای به طول ۷ کیلومتر از رودخانه فاروب رومان نیشابور پرداخته شده است. مدل‌سازی برای دوره بازگشت‌های ۲ تا ۱۰۰ سال در دو حالت وجود داشتن و نداشتن ساخت‌وساز در مسیر رودخانه با استفاده از نرم‌افزارهای Arc GIS و HEC-RAS انجام گرفت و تأثیر سازه‌ها بر میزان تغییر عمق و پهنای سیلاب بررسی شد. همچنین، حساسیت پارامترهای هیدرولیکی مختلف بر دبی سیلاب نیز بررسی شد. برای بررسی تغییرات حریم و بستر رودخانه، عکس‌های هوایی سال‌های ۱۳۴۷ و ۱۳۹۸ استفاده شده و با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج نشان‌دهنده تأثیر منفی سازه‌ها بر افزایش عمق و پهنای سیلاب بر اثر دخالت‌های انسانی انجام‌شده در مسیر رودخانه بود که این مداخلات باعث افزایش ۱۶ درصدی پهنای سیلاب و افزایش ۳۰ درصدی عمق سیلاب شده است. با بررسی مساحت پهنای سیلاب، مشخص شد که بیشترین میزان مساحت زمین‌های زیرآبرفته اطراف، ۸۵ هزار مترمربع است. نتایج تعیین بستر رودخانه نشان داد بستر رودخانه از سال ۱۳۴۷ تا کنون جابه‌جایی محسوس داشته است، به طوری که مساحت بستر رودخانه از ۵۵۰ هکتار به ۳۳۰ هکتار کاهش یافته که به معنای کاهش ۴۰ درصدی بستر رودخانه تا کنون است. تحلیل حساسیت نشان داد بیشترین میزان خطای مدل و تراز آب مشاهده‌ای ۶ درصد بوده است که می‌توان به دقت مطلوب مدل پی برد.

**کلیدواژگان:** تغییر کاربری اراضی، دخالت‌های انسانی، رودخانه فاروب رومان نیشابور، سیلاب، صحت‌سنجی.

## مقدمه

رودخانه‌ها به عنوان یک سیستم پیچیده در حوضه‌های آبریز عمل می‌کنند. نه تنها جریان رودخانه از نظر هیدرولیکی و رفتار آن بر محیط اطراف با اهمیت است، بلکه سیستم اکولوژیک رودخانه و تغییرات آن نیز اهمیت زیادی دارد. بنابراین، شناخت شیوه عملکرد رودخانه در مسیر و اطراف آن بسیار لازم و ضروری است [۱]. تغییر کاربری اراضی و شهرنشینی در سیلاب‌دشت‌ها باعث افزایش خطر سیلاب ناشی از افزایش حجم و کاهش زمان اوج سیلاب می‌شود. به طور متوسط، آبخیزهای شهری ۹۰ درصد بارش را به رواناب تبدیل می‌کنند، در حالی که در حوضه‌های آبخیز جنگلی و غیر شهری ۲۵ درصد بارش به رواناب تبدیل می‌شود [۲]. بررسی‌ها و مطالعات نشان داده است که علت افزایش خسارت سیل، فقط افزایش فراوانی یا بزرگی طغیان نیست، بلکه افزایش استفاده از اراضی سیل‌گیر مجاور رودخانه‌ها را باید عامل اصلی و اساسی دانست. تعیین حد بستر و حریم رودخانه‌ها امکان حفاظت بستر رودخانه را در مقابل احداث هر گونه تأسیسات غیرمجاز در آن فراهم می‌کند. به این ترتیب، بستر رودخانه خالی از هر گونه ساخت‌وساز باقی می‌ماند و خسارت ناشی از سیل کاهش می‌یابد [۳]. همچنین، با توجه به اینکه بستر ۲۵ ساله، بخش درخور توجهی از سیلاب‌های با دوره بازگشت بیشتر و سرعت مخرب را نیز از خود عبور می‌دهد، حفاظت از بستر رودخانه در برابر تجاوز به آن امری ضروری است. کاهش خطرات سیلاب، تلفات انسانی و نیز خسارت‌های وارد شده به اموال و محیط زیست، از اهداف کلیدی در کشورهای است که اغلب در معرض سیل قرار دارند. مطالعات زیادی در رابطه با دلایل ارزیابی خسارت‌های سیل، راه‌های پیشگیری و کاهش سیلاب و نیز حفاظت منطقه وجود دارد. این مطالعات می‌تواند نشان‌دهنده اهمیت بررسی سیلاب و تجزیه و تحلیل آن باشد [۴]. آبلان و همکاران (۲۰۱۹) تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر پیش‌بینی سیل با استفاده از مدل SWAT در حوضه آبریز مدیترانه در ۵ بازه زمانی مختلف را مطالعه کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد با تغییر کاربری زمین، میزان خطرات ناشی از سیل و میزان رواناب افزایش یافته است [۵]. وو و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای به بررسی تأثیر تغییر

کاربری زمین روی سیستم رودخانه یانگ تسه واقع در شهر سوژو چین از سال ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۰ پرداختند. نتایج بررسی تصاویر ماهواره‌ای آنها نشان داد میزان سطوح جنگلی ۳/۵ درصد کاهش داشته است. همچنین، از سال ۱۹۸۳ تا ۲۰۱۴، ۳۱/۵ درصد کاربری‌های زراعی به کاربری مسکونی تبدیل شده‌اند. بررسی توپوگرافی رودخانه نشان داد تا سال ۱۹۸۰ شاهد افزایش طول رودخانه و تا سال ۲۰۱۰ کاهش طول رودخانه بوده‌اند. در نهایت، نتیجه گرفتند که تغییر کاربری زمین حتی برای استفاده از زمین‌های زراعی باعث تغییر در سیستم رودخانه و همچنین، تجاوز به بستر رودخانه می‌شود [۶]. کیوراگا و همکاران (۲۰۱۶) شبیه‌سازی عددی دوبعدی برای تجزیه و تحلیل سیل آمازون در فوریه ۲۰۱۴ را با استفاده از نسخه جدید HEC-RAS بررسی کردند. در تحقیق یاد شده نتایج شبیه‌سازی سیلاب با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS و عکس‌های ماهواره‌ای مقایسه شد. نتایج پژوهش آنها نشان داد نرم‌افزار HEC-RAS کارایی بسیار خوبی را در مقایسه با تصاویر ماهواره‌ای ارائه می‌دهد و نسخه جدید مدل HEC-RAS برای مطالعه و درک وقایع سیل اهمیت زیادی دارد [۷]. هازاریکا و همکاران (۲۰۱۵) تغییرات کاربری اراضی و تأثیر آن روی سیلاب منطقه براهماپوترا هند را با استفاده از نقشه‌های لندست و نرم‌افزار Arc GIS ارزیابی کردند. نتایج تحلیل آنها نشان داد بیشترین مناطقی که در معرض دخالت و فعالیت‌های انسانی به‌ویژه کشاورزی قرار گرفته‌اند، سیلاب‌دشت‌ها هستند. همچنین، انتظار می‌رود این افزایش استفاده از سیلاب‌دشت‌ها برای فعالیت‌های انسانی در آینده نزدیک، با روند رشد جمعیت زیاد در منطقه مطالعه شده ادامه یابد [۸]. درخشان و همکاران (۱۳۹۸) رفتار هیدرولیکی رودخانه‌های گوهررود و سیاه‌رود را با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل هیدرولیکی HEC-RAS شبیه‌سازی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ ساله در رودخانه سیاه‌رود خطری برای اراضی حاشیه رودخانه ایجاد نخواهد کرد، اما امکان مسدود شدن کانال‌های تخلیه آب‌های سطحی شهر رشت توسط جریان رودخانه هنگام وقوع سیلاب با دوره بازگشت‌های ۲۵ و ۵۰ ساله طی مسیر گوهررود بیش از رودخانه سیاه‌رود بود [۹]. اسدی و همکاران (۱۳۹۶) طی تحقیقی، فرسایش و رسوب‌گذاری را

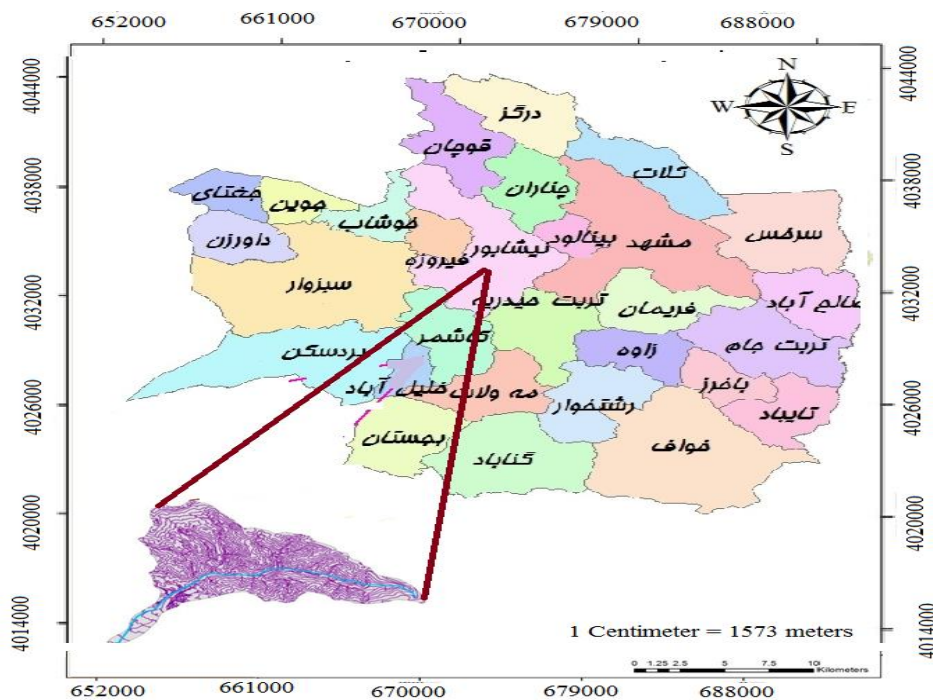
نیشابور، تغییرات ایجاد شده در ۵۰ سال گذشته، اثر آن در رفتار رودخانه بررسی شد.

### مواد و روش‌ها

حوضه آبخیز فاروب رومان با مساحت ۱۶۷/۵ کیلومتر مربع در استان خراسان رضوی، بخش مرکزی شهرستان نیشابور و دهستان‌های فضل و مازول قرار دارد. این حوضه آبخیز بین عرض‌های جغرافیایی  $36^{\circ} 14'$  تا  $36^{\circ} 25'$  و طول‌های جغرافیایی  $58^{\circ} 47'$  تا  $59^{\circ} 03'$  قرار گرفته که از شمال به رشته کوه بینالود و از جنوب به شهر نیشابور محدود می‌شود. موقعیت حوضه در شکل ۱ نمایش داده شده است.

در رودخانه تالار با استفاده از مدل HEC-RAS بررسی کرده و میزان آورد رسوب برای ۱۰ سال آینده را پیش‌بینی کردند. نتایج بررسی آنها نشان‌دهنده حساسیت میزان فرسایش و رسوب‌گذاری نسبت به انتخاب معادله انتقال رسوب و ضریب زبری مانینگ بود. بنابراین، به منظور اطمینان از مدل شبیه‌سازی هیدرولیکی، واسنجی رسوب صورت پذیرفت. نتایج پژوهش آنها نشان داد شبیه‌سازی هیدرولیک جریان و رسوب در این رودخانه با دقت نسبتاً خوبی ارائه شد [۱۰].

در تحقیق حاضر به منظور بررسی ساخت‌وساز مداخلات انسانی در بستر و حریم رودخانه فاروب رومان



شکل ۱. موقعیت حوضه آبخیز فاروب رومان نسبت به استان خراسان رضوی و شهرستان نیشابور

فرشت ۳ پارامتری<sup>۴</sup>، داگوم، پیرسون<sup>۵</sup>، تیپ ۶ و پیرسون تیپ ۵) با استفاده از نرم‌افزار ایزی فیت<sup>۶</sup> و همچنین، روش تجربی (کریگر<sup>۷</sup>، فولر<sup>۸</sup>، دیکن<sup>۹</sup> و SCS) به دست آمد. برای پهنه‌بندی سیلاب، TIN منطقه مطالعه‌شده از روی نقشه‌های با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شده است. برای

به منظور انتخاب مناسب‌ترین روش برای برآورد دبی اوج حوضه فاروب رومان، مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای در ایستگاه آب‌سنجی عیش‌آباد برای دوره زمانی ۳۷ سال (از سال آبی ۱۳۶۱-۱۳۶۲ تا سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸) بررسی شد (جدول ۱). مقادیر دبی اوج سیلاب با روش آماری (بور ۴ پارامتری<sup>۱</sup>، لوگ گاما<sup>۲</sup>، داگوم ۴ پارامتری<sup>۳</sup>،

4. Frechet (3P)  
5. Pearson  
6. EasyFit  
7. Creager  
8. Fuller  
9. Dicken

1. Burr (4P)  
2. Log-Gumma  
3. Dagum (4P)

این تحقیق مقادیر ضریب زبری مانینگ با تغییرات ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد کمتر و بیشتر و مقادیر دبی جریان با تغییرات ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد کمتر و بیشتر برای بازه‌های مختلف رودخانه اعمال و واسنجی مدل بر اساس آن انجام شد.

تحلیل جریان از نرم‌افزارهای GIS، الحاقیه HEC-GeoRAS و HEC-RAS استفاده شد. پس از شبیه‌سازی رودخانه، برای بررسی وضعیت حساسیت رودخانه و سازه‌ها واسنجی مدل صورت پذیرفت، در تحلیل حساسیت مدل، میزان تأثیر پارامترها روی نتایج مدل بررسی می‌شود. در

جدول ۱. مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای حوضه فاروب رومان (آرشیو آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی، ۱۳۹۸)

ایستگاه هیدرومتری عیش آباد					
دبی حداکثر لحظه‌ای ( $m^3/s$ )	سال آبی	دبی حداکثر لحظه‌ای ( $m^3/s$ )	سال آبی	دبی حداکثر لحظه‌ای ( $m^3/s$ )	سال آبی
۷/۱۳	۱۳۸۷-۱۳۸۶	۲۵/۰۰	۱۳۷۵-۱۳۷۴	۲۵۸/۹۳	۱۳۶۲-۱۳۶۱
۷/۵۸	۱۳۸۸-۱۳۸۷	۲۳/۱۴	۱۳۷۶-۱۳۷۵	۲۵/۶۱	۱۳۶۳-۱۳۶۲
۱۶/۳۳	۱۳۸۹-۱۳۸۸	۴۶/۲۰	۱۳۷۷-۱۳۷۶	۱۱/۵۰	۱۳۶۴-۱۳۶۳
۱۱/۹۰	۱۳۹۰-۱۳۸۹	۱۵/۲۵	۱۳۷۸-۱۳۷۷	۲۹/۲۰	۱۳۶۵-۱۳۶۴
۶۵/۱۰	۱۳۹۱-۱۳۹۰	۴۸/۵۱	۱۳۷۹-۱۳۷۸	۷/۴۱	۱۳۶۶-۱۳۶۵
۲/۶۳	۱۳۹۲-۱۳۹۱	۲/۲۹	۱۳۸۰-۱۳۷۹	۲۰۸/۸۶	۱۳۶۷-۱۳۶۶
۱۳/۹۰	۱۳۹۳-۱۳۹۲	۳۲۶/۵۶	۱۳۸۱-۱۳۸۰	۳۸/۹۶	۱۳۶۸-۱۳۶۷
۱۴/۷۰	۱۳۹۴-۱۳۹۳	۶۴/۳۰	۱۳۸۲-۱۳۸۱	۱۷/۳۱	۱۳۶۹-۱۳۶۸
۱۲/۲۰	۱۳۹۵-۱۳۹۴	۸/۳۵	۱۳۸۳-۱۳۸۲	۶۵/۰۰	۱۳۷۰-۱۳۶۹
۲۵/۳۰	۱۳۹۶-۱۳۹۵	۱۳۰/۱۹	۱۳۸۴-۱۳۸۳	۷۷/۹۵	۱۳۷۱-۱۳۷۰
۲/۴۲	۱۳۹۷-۱۳۹۶	۱۰/۹۷	۱۳۸۵-۱۳۸۴	۱۳۸/۲۰	۱۳۷۲-۱۳۷۱
۴۷/۷	۱۳۹۸-۱۳۹۷	۵۶/۹۲	۱۳۸۶-۱۳۸۵	۳۶/۷۴	۱۳۷۳-۱۳۷۲
				۲۰/۹۷	۱۳۷۴-۱۳۷۳

### نتایج

برای تهیه فایل ورودی مدل HEC-RAS در Arc GIS با استفاده از اطلاعات مورد نظر از روی نقاط ارتفاعی TIN منطقه ایجاد شد، مقدار شیب منطقه نیز با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS و نرم‌افزار اتوکد<sup>۲</sup> محاسبه شده و ۰/۰۲ برآورد شد. ضریب زبری بستگی مستقیم به شرایط هیدرولیک، دانه‌بندی مواد بستر، شکل مسیر، وضعیت پوشش گیاهی و سایر عوامل مصنوعی و طبیعی موجود در مسیر روخانه و سیلاب دشت دارد. در منطقه مطالعه شده سه بازه برای تغییرات ضریب زبری مانینگ در مدل‌سازی در نظر گرفته شد (جدول ۲).

در جدول‌های ۳ و ۴ مقادیر دبی اوج سیلاب در خروجی حوضه فاروب رومان با دوره بازگشت‌های مختلف به روش آماری و تجربی ارائه شده است.

داده‌های ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی در مطالعات مهندسی رودخانه، مطالعات ژئومورفولوژیک، طبقه‌بندی مناطق آبرفتی و نیز تشخیص حریم و بستر رودخانه‌ها بسیار کارآمد هستند. بنابراین، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به دلیل اشراف کلی بر پدیده‌ها و ثبت ویژگی‌های آن‌ها کمک بسیار زیادی برای آشکارسازی و تعیین تغییر و تحولات پدیده‌های سطح زمین به ما می‌کنند [۱۱]. در این تحقیق بستر رودخانه برای سال‌های ۱۳۴۷ و ۱۳۹۸ از روی عکس‌های هوایی مشخص و تأثیرات تغییر بستر و نقش دخالت‌های انسانی تفسیر شد. عکس‌های هوایی مربوط به سال ۱۳۴۷ از شرکت آب منطقه‌ای استان خراسان رضوی و عکس‌های هوایی سال ۱۳۹۸ با استفاده از نرم‌افزار گوگل ارث<sup>۱</sup> تهیه شد.

جدول ۲. مقادیر ضریب زبری مانینگ رودخانه مطالعه شده

بازه	فاصله از پایین دست (متر)		ضریب زبری مانینگ بستر	ضریب زبری مانینگ ساحل چپ و راست
	از	تا		
۱	۰	۴۳۸۰	۰/۰۳۲	۰/۰۳۸
۲	۴۳۸۰	۵۰۰۰	۰/۰۲۹	۰/۰۳۲
۳	۵۰۰۰	۶۸۰۰	۰/۰۳۵	۰/۰۴

جدول ۳. مقادیر دبی اوج سیلاب حوضه فاروب رومان به روش‌های آماری

روش محاسبه دبی اوج سیلاب (m <sup>3</sup> /s)	دوره بازگشت (سال)								
	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰
بور (۴ پارامتری)	۲۶	۷۷	۱۵۳	۳۵۴	۶۴۹	۱۱۸۳	۲۱۴۳	۴۶۸۴	۸۴۴۷
لوگ-گاما	۲۶	۸۱	۱۵۲	۳۴۴	۵۹۲	۹۹۴	۱۶۲۸	۳۰۵۲	۴۸۳۳
داگوم (۴ پارامتری)	۲۶	۷۷	۱۵۱	۳۵۱	۶۵۵	۱۲۱۵	۲۲۴۷	۵۰۵۲	۹۳۱۶
فرشت (۳ پارامتری)	۲۷	۷۷	۱۵۱	۳۵۱	۶۵۴	۱۲۱۰	۲۲۳۱	۵۰۰۳	۹۲۰۸
داگوم	۲۷	۷۷	۱۵۲	۳۵۰	۶۵۲	۱۲۰۶	۲۲۲۴	۴۹۸۴	۹۱۷۲
پیرسون تیپ ۶ (۴ پارامتری)	۲۷	۷۷	۱۵۰	۳۴۲	۶۲۵	۱۱۳۳	۲۰۴۴	۴۴۴۳	۷۹۸۴
پیرسون تیپ ۵ (۳ پارامتری)	۲۷	۷۷	۱۵۰	۳۴۳	۶۲۸	۱۱۴۰	۲۰۶۱	۴۴۹۲	۸۰۸۷

جدول ۴. مقادیر دبی اوج سیلاب حوضه فاروب رومان به روش تجربی

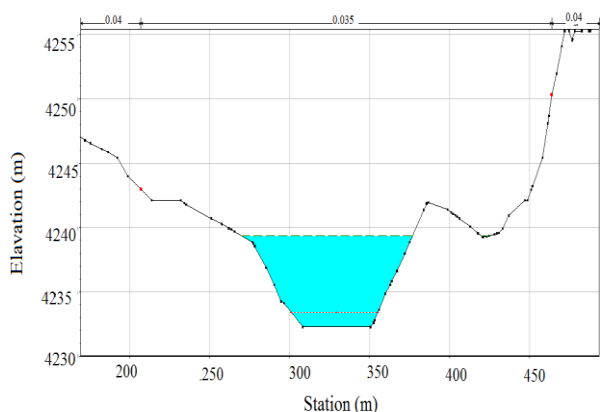
روش محاسبه دبی اوج سیلاب (m <sup>3</sup> /s)	دوره بازگشت (سال)								
	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰
منحنی پوشش سیلاب	۳۷	۶۲	۸۸	۱۳۸	۱۸۸	۲۵۲	۳۳۰	۴۶۰	۵۷۷
کریگر	۳۷	۷۲	۱۰۷	۲۱۵	۳۲۲	۳۹۳	۴۳۰	۵۷۲	۶۴۴
فولر	۳۲	۶۰	۹۰	۱۳۰	۱۸۰	۲۶۸	۳۵۴	۴۹۰	۶۱۰
دیکن	۳۱	۷۰	۱۰۸	۱۷۱	۲۳۱	۳۰۰	۳۸۳	۵۱۵	۶۳۵
SCS	۱۰	۳۵	۵۲	۸۶	۱۲۳	۱۸۴	۲۷۲	۳۳۶	۴۸۸

سرعت رودخانه از ۰/۱ تا ۵/۴ متر بر ثانیه و عدد فرود از ۰/۰۱ تا ۱/۱۷ متغیر است که این تغییرات بیشتر از تغییرات سطح مقطع رودخانه نشئت می‌گیرد. بررسی عمق آب‌گرفتنی در مقاطع رودخانه فاروب رومان نشان داد با افزایش دوره بازگشت و مقدار دبی جریان، عمق آب در مقطع، افزایش و همچنین، در بعضی از مقاطع ظرفیت آب‌گذری کاهش یافته و جریان وارد سیلاب‌دشت شده است. پایه‌های پل را می‌توان یکی از موانعی که در مسیر جریان آب رودخانه‌ها قرار می‌گیرند، دانست که عامل انقباض و انبساط جریان و به طور کلی، تغییر در جریان آب هستند [۱۲]. در مسیر رودخانه فاروب دو پل و یک آب‌گذر وجود دارد که با توجه به نتایج شبیه‌سازی، ظرفیت عبور پل ۶ دهانه، ۸۴۸ متر مکعب بر ثانیه و پل ۲ دهانه، ۲۲۶ متر مکعب بر ثانیه برآورد شد. جدول ۵ خلاصه نتایج مدل‌سازی از نظر ظرفیت‌گذردهی پل‌ها برای دوره بازگشت‌های مختلف را نشان می‌دهد.

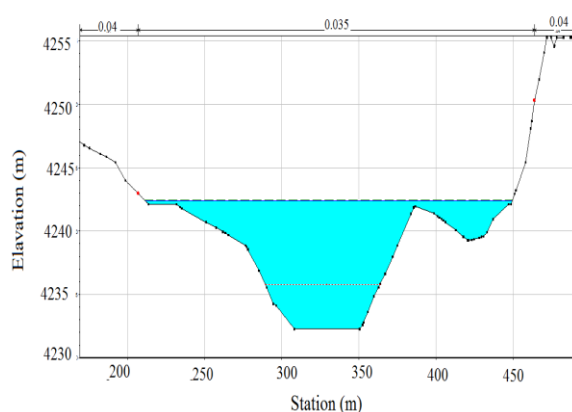
در این تحقیق برای برآورد دبی اوج سیلاب حوضه فاروب رومان از میان روش‌های آماری (با توجه به نتایج برآزش نرم‌افزار) بهترین برآش مربوط به روش لوگ-گاما بود و از میان روش‌های تجربی با توجه به پیشنهاد سازمان آب منطقه، روش دیکن استفاده شد.

به منظور بررسی تأثیر ساخت‌وسازها روی جریان، ابتدا شرایط جریان رودخانه در صورت نبود ساخت‌وساز در مسیر رودخانه، و سپس در صورت وجود ساخت‌وساز در مسیر رودخانه با استفاده از مدل HEC-RAS شبیه‌سازی شد. پس از اجرای شبیه‌سازی جریان، بسیاری از خصوصیات رودخانه فاروب رومان شامل رقوم سطح آب به ازای دوره بازگشت‌های مختلف، پروفیل طولی، توزیع سرعت جریان، عمق بحرانی آب، شعاع هیدرولیکی، عدد فرود و نوع رژیم را در مقاطع مختلف می‌توان در شکل ۲ مشاهده کرد.

با بررسی نمودار توزیع سرعت در رودخانه فاروب رومان و جدول اطلاعات مدل‌سازی، مشخص شد که



مقطع عرضی رودخانه در صورت عدم وجود سازه



مقطع عرضی رودخانه در صورت وجود سازه

شکل ۲. مقطع عرضی واقع در ۵ کیلومتری از پایین دست رودخانه در صورت وجود داشتن و نداشتن سازه (سیلاب ۱۰۰ ساله)

جدول ۵. خلاصه نتایج مدل سازی (ظرفیت گذردهی پل ها) رودخانه فاروب رومان برای دوره بازگشت های مختلف

نام پل	پل کمربندی نیشابور-سبزوار (۶ دهانه)	پل دانشگاه نیشابور (۲ دهانه)	نام پل	پل کمربندی نیشابور-سبزوار (۶ دهانه)	پل دانشگاه نیشابور (۲ دهانه)
دوره بازگشت	دوره بازگشت	دوره بازگشت	دوره بازگشت	دوره بازگشت	دوره بازگشت
۲۵ سال (تجربی)	عبور جریان	عبور جریان	۲۵ سال (آماري)	عبور جریان	عبور جریان
۵۰ سال (تجربی)	عبور جریان	عبور جریان	۵۰ سال (آماري)	عبور جریان	انسداد دهانه ها
۱۰۰ سال (تجربی)	عبور جریان	عبور جریان	۱۰۰ سال (آماري)	انسداد دهانه ها	روگذری پل
۲۰۰ سال (تجربی)	عبور جریان	عبور جریان	۲۰۰ سال (آماري)	روگذری پل	روگذری پل

جدول ۶. نتایج مربوط به عمق و سطح سیل گیری سیلاب با دوره بازگشت های مختلف در صورت وجود داشتن و نداشتن سازه

مقطع	دوره بازگشت (سال)	عمق سیلاب در صورت وجود سازه (m)	عمق سیلاب در صورت نبود سازه (m)	درصد اختلاف	سطح سیلاب در صورت نبود سازه (m <sup>2</sup> )	سطح سیلاب در صورت وجود سازه (m <sup>2</sup> )	درصد اختلاف
مقطع عرضی قبل از پل ۶ دهانه	۲	۰/۶۹	۰/۵۶	۱۹	۱۱۷/۵۹	۱۴۵/۸۶	۱۹
	۵	۰/۹۳	۰/۷۳	۲۱	۱۵۸/۹۸	۲۱۸/۳۳	۲۱
	۱۰	۱/۱۸	۰/۸۸	۲۵	۲۰۵/۲۲	۳۱۲/۲۵	۲۵
	۲۵	۱/۶۵	۱/۱۵	۳۰	۲۹۳/۰۳	۵۲۵/۹۳	۳۰
	۵۰	۲/۰۰	۱/۳۷	۳۱/۵	۳۹۱/۵۷	۷۸۸/۳۸	۳۱/۵
مقطع عرضی قبل از پل ۲ دهانه	۲	۰/۴۱	۰/۳۴	۱۷	۴۳۰/۰۰	۴۳۳/۶۴	۱۷
	۵	۰/۴۷	۰/۴۰	۱۵	۴۹۲/۹۲	۵۲۰/۸۴	۱۵
	۱۰	۰/۶۵	۰/۵۳	۱۸	۵۶۵/۶۰	۶۸۹/۱۲	۱۸
	۲۵	۰/۸۸	۰/۶۵	۲۶	۷۰۷/۱۶	۹۷۳/۲۶	۲۶
	۵۰	۱/۰۰	۰/۷۹	۲۱	۸۶۴/۸۱	۱۱۰۷/۵۳	۲۱
مقطع عرضی قبل از آب گذر	۱۰۰	۱/۱۷	۰/۹۸	۱۶	۱۰۸۶/۷۵	۱۳۰۲/۶۶	۱۶
	۲	۱/۱۰	۰/۴۲	۶۲	۴۳/۹۷	۱۴۸/۱۷	۶۲
	۵	۱/۷۵	۰/۷۰	۶۰	۸۳/۰۲	۳۹۲/۸۱	۶۰
	۱۰	۲/۱۰	۰/۹۵	۵۵	۱۲۸/۲۱	۵۱۵/۷۷	۵۵
	۲۵	۲/۲۰	۱/۴۱	۳۶	۲۱۱/۲۳	۶۲۵/۸۴	۳۶
۵۰	۲/۲۳	۱/۸۱	۱۹	۳۰۱/۳۵	۷۷۳/۶۳	۱۹	
۱۰۰	۲/۳۰	۲/۰۰	۱۳	۴۳۵/۷۶	۱۰۳۸/۸۲	۱۳	

جدول ۸ دامنه کلی واسنجی و صحت‌سنجی را برای مدل هیدرولوژی نشان می‌دهد [۱۳]. نتایج مقایسه خطای مدل که در جدول ۹ ارائه شده، با جدول ۸ بیانگر دقت خیلی خوب و مطلوب مدل در شبیه‌سازی رفتار رودخانه فاروب رومان است.

با توجه به نتایجی که در جدول ۶ ارائه شده است، می‌توان به این نتیجه رسید که عمق و سطح سیل‌گیری با افزایش دوره بازگشت سیر صعودی دارند. همچنین، عمق و سطح سیلاب در صورت نبود سازه‌های هیدرولیکی، کمتر از حالت وجود سازه است. در جدول ۷ تأثیر احداث پل روی عمق و پهنای سیل مشاهده می‌شود.

جدول ۷. نتایج احداث پل‌ها بر رودخانه فاروب رومان در محدوده مطالعه شده

تغییرات عمق سیلاب بر اثر احداث پل		تغییرات پهنای سیل بر اثر احداث پل		نام پل	دوره بازگشت
پل کمربندی نیشابور - سبزوار	پل دانشگاه نیشابور	پل کمربندی نیشابور - سبزوار	پل دانشگاه نیشابور		
افزایش ۲۶/۵ درصدی	افزایش ۱۰ درصدی	افزایش ۱۲/۵ درصدی	افزایش ۳/۸ درصدی	۲۵ سال (تجربی)	
افزایش ۲۸ درصدی	افزایش ۱۶ درصدی	افزایش ۱۴/۷ درصدی	افزایش ۴/۵ درصدی	۵۰ سال (تجربی)	
افزایش ۳۰ درصدی	افزایش ۲۰ درصدی	افزایش ۱۷ درصدی	افزایش ۶/۶ درصدی	۱۰۰ سال (تجربی)	
افزایش ۲۹ درصدی	افزایش ۱۹ درصدی	افزایش ۱۸ درصدی	افزایش ۴/۶ درصدی	۲۵ سال (آماری)	
افزایش ۳۱ درصدی	افزایش ۲۱ درصدی	افزایش ۲۵ درصدی	افزایش ۸/۹ درصدی	۵۰ سال (آماری)	
افزایش ۳۳ درصدی	افزایش ۲۶ درصدی	افزایش ۲۹ درصدی	افزایش ۱۱/۳ درصدی	۱۰۰ سال (آماری)	

جدول ۸. دامنه کلی واسنجی و صحت‌سنجی (وزارت نیرو، نشریه ۵۸۴، ۱۳۹۱)

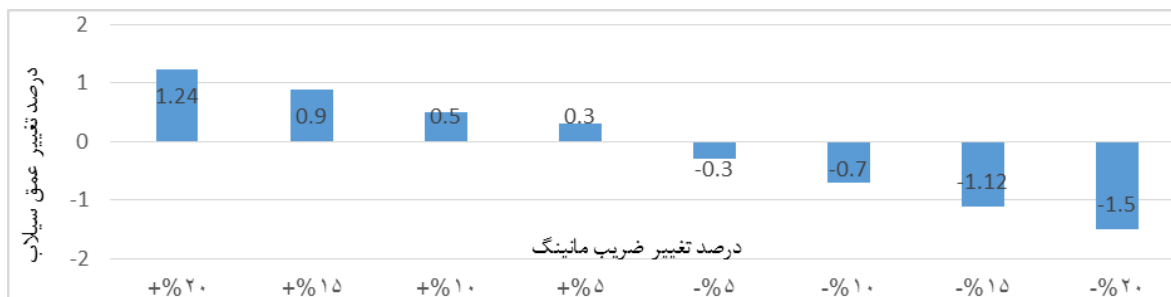
نوع مدل	درصد اختلاف بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده
هیدرولوژی / جریان	خیلی خوب کمتر از ۱۰
	خوب بین ۱۰ تا ۱۵
	متوسط بین ۱۵ تا ۲۵

جدول ۹. خطای بین تراز آب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده

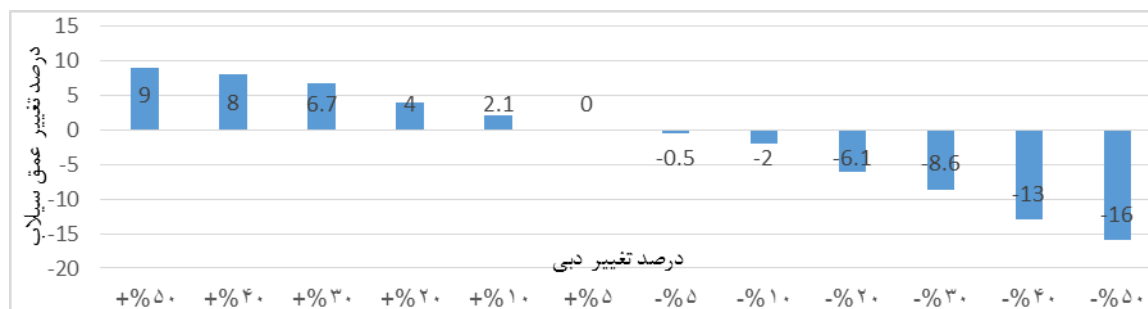
تاریخ وقوع سیل	دبی سیلاب ( $m^3/s$ )	تراز آب مشاهده‌ای (m)	تراز آب شبیه‌سازی شده (m)	درصد خطا
۱۳۹۸/۰۱/۲۹	۴۷/۷	۱/۳۲	۱/۴	۵/۷۱
۱۳۹۶/۱۲/۰۷	۲/۴۲	۰/۳۴	۰/۳۵	۲/۸۵
۱۳۹۱/۰۱/۱۲	۶۵/۱۰	۱/۴۶	۱/۵	۲/۶۶
۱۳۸۱/۰۴/۳۱	۳۲۶/۵۶	۲/۲۵	۲/۴	۶/۲۵

این است که مدل انتخابی برای شرایط موجود به‌درستی کار می‌کند. ضریب زبری و دبی جریان روی سرعت، عمق و پهنه‌سیل مؤثر است. همچنین، وقوع سیل و تجاوز به حریم و بستر رودخانه بر ضریب زبری تأثیرگذار است [۱۵]. در این تحقیق تغییرات عمق، سرعت و پهنای سیلاب بر اثر تغییر ضریب زبری مانینگ و دبی بررسی شد که در شکل‌های ۳ و ۴ نتایج تغییر عمق سیلاب بر اثر تغییر ضریب زبری مانینگ و دبی قابل مشاهده است.

حساسیت مدل بخش مهمی از درک دقت و عدم قطعیت مدل است. دو نوع تحلیل حساسیت وجود دارد که شامل حساسیت عددی و حساسیت پارامتر فیزیکی است، در تحلیل حساسیت میزان تأثیر پارامترها روی نتایج مدل بررسی می‌شود [۱۴]. در این تحقیق تغییرات در مقادیر ضریب زبری و دبی جریان برای بازه‌های مختلف رودخانه اعمال و واسنجی مدل بر اساس آن انجام شد. مرحله تحلیل حساسیت به‌نوعی تأیید مدل است و شامل اثبات



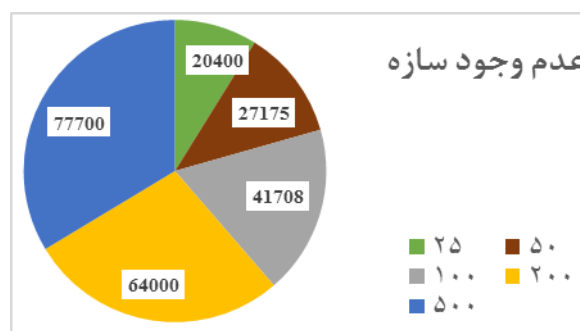
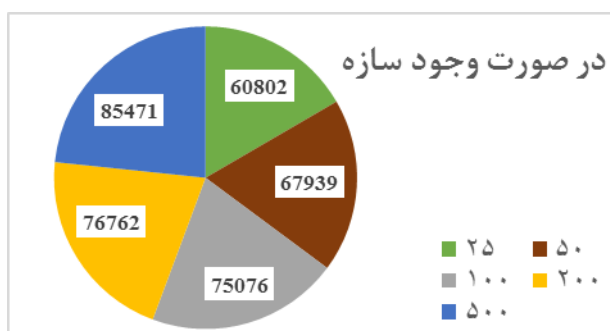
شکل ۳. درصد تغییر عمق سیلاب بر اثر تغییر ضریب زبری مانینگ



شکل ۴. درصد تغییر عمق سیلاب بر اثر تغییر دبی

سطوح زیرآبرفته در دوره‌های بازگشت مختلف و برای دو حالت وجود داشتن و نداشتن سازه مشخص شد که نتایج مطابق شکل ۵ است.

بعد از اجرای مدل HEC-RAS نتایج در محیط Arc-GIS تعریف شد و پهنه‌های سیلاب برای دوره‌های بازگشت مختلف به دست آمد. همچنین، میزان مساحت



شکل ۵. مساحت سطوح زیرآبرفته (متر مربع) در دوره بازگشت‌های مختلف برای دو حالت وجود داشتن و نداشتن سازه

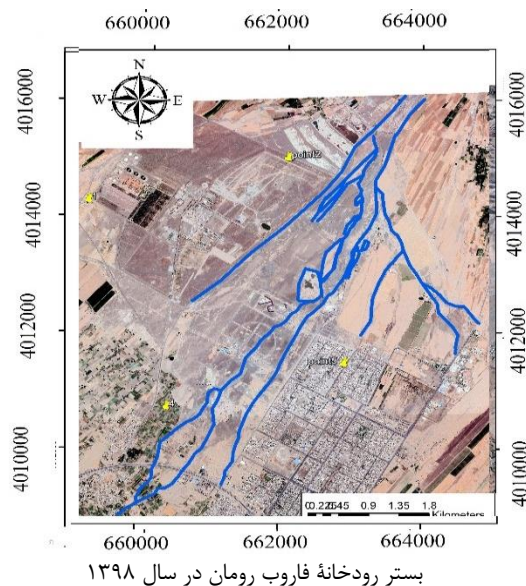
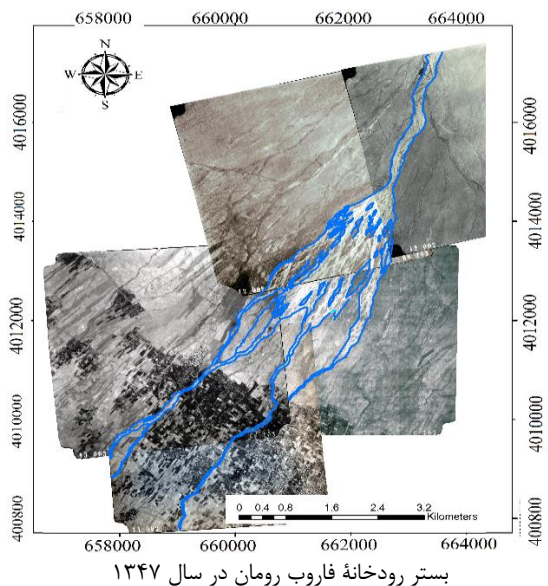
تفسیر عکس‌های هوایی رودخانه در سال ۱۳۴۷ این نتیجه استنباط شد که جریان‌های گیسویی رودخانه با زاویه بیشتر، شاخه‌های آن بسیار پراکنده و پراکندگی بصورت مثلثی بوده است. همچنین، با توجه به نتایج بستر رودخانه در سال ۱۳۹۸ و تجزیه و تحلیل تصاویر، میزان تجاوز به بستر رودخانه قابل توجه است. تغییر در کاربری اراضی قابل ملاحظه است، به طوری که قسمت بزرگی از اراضی که در گذشته جزء بستر رودخانه بوده، امروزه تبدیل به اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی شده‌اند. با مقایسه تصاویر

در این تحقیق با استفاده از عکس‌های هوایی سال ۱۳۴۷ و سال ۱۳۹۸ بستر رودخانه مشخص شد. در شکل ۳ بستر رودخانه در این دو حالت مشخص شده است. همچنین، در شکل ۴ میزان توسعه شهرنشینی و تجاوز به بستر رودخانه به طور کامل مشهود است و مشاهده می‌شود که شهر نیشابور طی سال‌ها به سمت شمال و غرب بسیار توسعه یافته و بستر رودخانه را اشغال کرده است، به صورتی که می‌توان گفت بستر رودخانه به طور کامل هم در جهت جانبی و هم در جهت طولی تغییر پیدا کرده است. طی

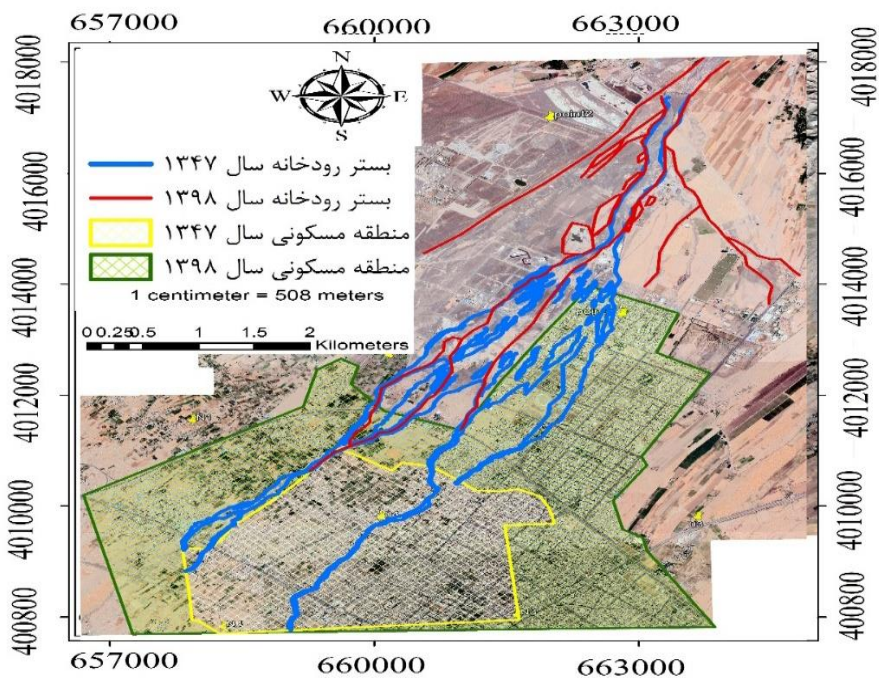


[۱۶]، میسرا و روی (۲۰۱۹) [۱۷] و تنویستی‌فان (۲۰۱۹) [۱۸] همخوانی بسیار نزدیکی داشت. مساحت بستر رودخانه از ۵۵۰ هکتار به ۳۳۰ هکتار کاهش یافته که تا کنون مساحت بستر کاهش ۴۰ درصدی داشته است.

ماهواره‌های قدیمی و جدید میزان تغییرات و جابه‌جایی بستر رودخانه ارزیابی شد. در حال حاضر، نمای کلی رودخانه از حالت مثلثی‌شکل به مستطیل‌شکل تغییر کرده است. نتایج تفسیر عکس‌های هوایی منطقه با تحقیقات سایر محققان مقایسه شد که این نتایج با نتایج بیرد و همکاران (۲۰۱۹)



شکل ۶. بستر رودخانهٔ فاروب رومان بر اساس عکس‌های هوایی سال‌های ۱۳۴۷ و ۱۳۹۸



## نتیجه‌گیری

استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و نرم‌افزار HEC-RAS در شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی رودخانه فاروب رومان نتایج مطلوبی داشت. همچنین، استفاده از این نرم‌افزارها موجب کاهش هزینه و انجام محاسبات می‌شود. با توجه به عرض نسبتاً زیاد رودخانه، برای بررسی وضعیت حساسیت سازه‌ها و دخالت‌های صورت‌گرفته در این پژوهش دبی به دو روش تجربی و آماری برای دوره بازگشت‌های مختلف بررسی شد. با توجه به نتایج، مشخص شد سرعت رودخانه از ۰/۱ تا ۵/۴ متر بر ثانیه و عدد فرود از ۰/۱ تا ۱/۱۷ متغیر و جریان غالباً از نوع زیر بحرانی بوده است.

در مسیر محدوده بررسی‌شده، پل‌های کمربندی نیشابور- سبزوار و دانشگاه نیشابور قرار دارند که توانایی ناتوانی عبور پل‌ها در دوره بازگشت‌های مختلف مشخص شد. به این ترتیب که پل کمربندی نیشابور- سبزوار توانایی عبور سیلاب ۱۰۰ سال به بالا و پل دانشگاه نیشابور سیلاب ۲۵ سال به بالا را ندارند. همچنین، حداکثر دبی عبوری آنها در این دوره بازگشت‌ها به ترتیب برابر ۸۴۸ و ۲۲۶ متر مکعب بر ثانیه برآورد شد.

همان‌طور که از نتایج پیداست، تأثیر منفی سازه‌ها بر افزایش عمق و پهنه سیلاب بر اثر دخالت‌های انسانی انجام شده در مسیر رودخانه مشهود است. به این صورت که به طور متوسط برای دوره بازگشت ۲۵ سال، بر اثر احداث پل کمربندی نیشابور- سبزوار عمق سیلاب ۳۰ درصد و پهنای سیلاب ۱۵ درصد افزایش، همچنین بر اثر احداث پل دانشگاه نیشابور عمق سیلاب ۱۵ درصد و پهنای سیلاب ۴ درصد افزایش یافته است.

نتایج به‌دست‌آمده نشان داد تغییر دبی جریان در میزان پارامترهای بررسی‌شده بسیار مؤثر بوده است. به طوری که با تغییر ۵۰ درصدی دبی به طور متوسط عمق سیلاب ۱۲ درصد، پهنای سیلاب ۱۰ درصد و سرعت جریان سیلاب ۱۷ درصد افزایش یافته است. تغییر ۲۰ درصدی ضریب زبری مانینگ در رودخانه فاروب رومان باعث تغییر ۱/۵ درصدی تراز سطح آب شد که می‌توان گفت تغییر ضریب زبری مانینگ در مقایسه با تغییرات دبی، تغییر چندانی در رقوم سطح آب نداشته است. همچنین، در این تحقیق تحلیل حساسیت روی میزان

شیب نیز انجام گرفت که نتایج نشان‌دهنده عدم تغییر میزان پارامترهای بررسی‌شده بود.

در واسنجی مدل، عمق سیلاب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده با یکدیگر مقایسه شد که بیشترین مقدار خطا ۶ درصد بود. با توجه به نتایج واسنجی مدل می‌توان به دقت مطلوب مدل برای رودخانه فاروب رومان پی برد.

با توجه به نتایج، بیشترین میزان مساحت زمین که زیر آب رفته، ۸۵ هزار متر مربع است. با بررسی مساحت پهنه‌های سیلاب مشخص شد که مساحت زمین‌های زیرآبرفته اطراف رودخانه در صورت وجود سازه‌ها بیشتر از حالتی است که سازه‌ای در مسیر رودخانه وجود نداشت. بر اساس تصاویر ماهواره‌ای سال ۱۳۴۷ پراکنندگی شاخه‌های رودخانه به‌صورت مثلی بوده است، در حالی که این پراکنندگی برای بستر رودخانه در سال ۱۳۹۸ به‌صورت مستطیل بوده است. بستر رودخانه از سال ۱۳۴۷ تا کنون جابه‌جایی محسوسی داشته است. همچنین، توان عبوری سیلاب در برخی مناطق کاهش یافته است. مساحت بستر رودخانه از ۵۵۰ هکتار به ۳۳۰ هکتار کاهش یافته که می‌توان گفت تا کنون بستر رودخانه ۴۰ درصد کاهش داشته است.

## منابع

- [1]. Gibson N. Jumbo D. Assessing the Effects of Urban Development and Climate change on Flooding in the Greater Port-Harcourt Watershed, Niger delta, Nigeria. P.H.D Thesis University of Edinburgh, Scotland. 2017.
- [2]. Suriya S. Mudgal B.V. Impact of Urbanization on Flooding: A Case Study on The Thirusoolam sub watershed. Journal of hydrology. 2012;412:210-219.
- [3]. Dammalage T.L, Jayasinghe N.T. 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. 2019;9(2):3887-3891.
- [4]. Zelenakova M. Fijko R. Labant S. Weiss E. Markovic G. Weiss R. Flood risk modelling of the Slatvinec stream in Kruzlov village, Slovakia. Journal of cleaner production. 2019;212:109-118.
- [5]. Abellan A.J, Abellan J.V, Pla C, Castillo F.G. Impact of land use changes on flash flood prediction using a sub-daily SWAT model in five Mediterranean ungauged watersheds (SE Spain). Science of the Total Environment. 2019;657:1578-1591.

- [6]. Wu I. Xu Y. Yuan J. Xu Y. Wang Q. Xu X. Wen H. Impacts of Land Use Change on River Systems for a River Network Plain. *Water*. 2018;10(5): 609-615.
- [7]. Quiroga V.M, Kure S, Udo K, Manoa A. Application of 2D numerical simulation for the analysis of the February 2014 Bolivian Amazonia flood: Application of the new HEC-RAS version 5. *Ribagua*. 2016;3:25-33.
- [8]. Hazarika N. Das A.K, Borah S.B. Assessing land-use changes driven by river dynamics in chronically flood affected Upper Brahmaputra plains, India, Using RS-GIS techniques. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*. 2015;18:107-118.
- [9]. Derakhshan Sh. Golami V. Taqavi Salimi A. Simulation of Hydraulic Behavior of Goharood and Siahrood Rivers Using Geographic Information System and HEC-RAS Hydraulic Model. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*. 2010;16:19-27. [Persian]
- [10]. Asadi F.Z, Fazl Uli R, Emadi A.S. Investigation of river bed changes using HEC-RAS model (Case study: Hall River). *Watershed Management Research Paper*. 2016;8 (15):25-35 [Persian]
- [11]. Baharvandi n. Change detection of Dez river bed after constructing dam, by using of imaginary satellite Thesis, Tarbiat Moallem University. 2010;14:21-30. [Persian]
- [12]. Baioni D. Human activity and damaging landslides and floods on Madeira Island. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2011;11:3035-3046.
- [13]. Ministry of Power. A Guide to the Application of Mathematical and Physical Models in Engineering and River Studies. 2012;8:584. [Persian]
- [14]. Hussain A. Flood Modelling by Using HEC-RAS. *International Journal of Engineering Trends and Technology*. 2017;50:1-12.
- [15]. Logah F.Y, Amisigo A.B, Obuobie E, Yeboah K. Floodplain hydrodynamic modelling of the Lower Volta River in Ghana. *Journal of Hydrology*. 2017;14:1-9.
- [16]. Bird B, Barr R, Commerford J, Gilhooly W, Wilson J, Finney, B, et al. Late-Holocene floodplain development, land-use, and hydroclimate flood relationships on the lower Ohio River, US. *The Holocene*. 2019;1-15.
- [17]. Misra S, Roy T. The Impact of Land Use Land Cover on the Flood Plain of Bhagirathi River, Purba Bardhaman District, West Bengal, India. *Journal of Geography, Environment and Earth Science International*. 2019;19(2):1-10.
- [18]. Thanvisitthpon N. Impact of land use transformation and anti-flood infrastructure on flooding in world heritage site and peri-urban area: A case study of Thailand's Ayutthaya province. *Journal of Environmental Management*. 2019;247:518-524.