

تعیین حریم رودخانه زاینده‌رود با استفاده از نرم‌افزارهای HEC-RAS، ArcGIS و برنامه جانبی HEC-GeoRAS

جهانگیر عابدی کوپایی^{۱*} و بهادر بابایی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۲/۱۰)

چکیده

شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی رودخانه‌ها و تعیین حریم بستر برای اجرای طرح‌های مهندسی رودخانه، پیش‌بینی خسارات ناشی از سیل در شرایط مختلف و مطالعات توجیهی اقتصادی - اجتماعی برنامه‌های کنترل و مهار سیل و دیگر مطالعات وابسته به سامانه رودخانه‌ها ضرورت دارد. در این پژوهش حریم بستر و نقشه پهنه‌بندی سیلاب رودخانه زاینده‌رود در بازه‌ای به‌طول ۱۵۵ کیلومتر از سد تنظیمی زاینده‌رود تا سد انحرافی نکوآباد با استفاده از نرم‌افزارهای HEC-RAS، ArcGIS و برنامه جانبی HEC-GeoRAS تعیین شده است. به این منظور نقشه‌های رقومی ۱:۲۵۰۰۰۰ پلان رودخانه تهیه و منطقه به ۱۰۸۵ مقطع عرضی تقسیم شد. ضریب مانینگ نیز به‌روش کووان تعیین شد. در نهایت داده‌ها به نرم‌افزار HEC-RAS وارد و تجزیه و تحلیل شدند. پس از تعیین محدوده سیل‌گیر در دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله در تمامی مقاطع عرضی، نتایج به محیط ArcGIS وارد شد و نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب به‌دست آمد. نتایج این پژوهش نشان داد که از کل اراضی سیل‌گیر ۲۰۰ ساله، ۹۶ درصد اراضی سیل‌گیر مربوط به دوره بازگشت ۲۵ سال است. دشت‌های سیلابی به‌دلیل نزدیکی به رودخانه و حاصلخیزی، محل زراعت و سکونت بسیار خوبی به‌شمار می‌رود اما برای حفظ امنیت و کاهش خطرات سیل باید حریم رودخانه به‌طور کامل رعایت شود. در تمامی بازه‌های مورد مطالعه نقاطی مانند روستاهای مارکده، برنجگان و بیستجان یافت می‌شود که حریم تعیین‌شده رعایت نشده است و در صورت وقوع سیل خسارات جبران‌ناپذیری به‌بار خواهد آورد.

واژه‌های کلیدی: حریم بستر، HEC-RAS، دوره بازگشت، پهنه‌بندی سیلاب

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۲. عضو قطب علمی مدیریت ریسک و بحران‌های طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: koupai@cc.iut.ac.ir

مقدمه

از (۳):

تاریخچه استفاده از رودخانه به‌عنوان منبعی برای تأمین نیازهای آبی انسان به‌پیش از آغاز تمدن بشری می‌رسد. در طول تاریخ بشر، رودخانه کانون توسعه بوده است و تمدن‌های کهن در حواشی رودخانه‌هایی مانند نیل، فرات، دجله، سند، دانوب، ولگا و کارون شکل گرفته و اقدامات اولیه در زمینه بهره‌برداری از آن با آغاز شکل‌گیری جوامع بشری در حاشیه رودخانه‌ها بوده است. یکی از عوامل انسانی مؤثر در سیلاب‌دشت‌ها (Flood Plains) و طغیان سیل از بستر طبیعی رودخانه، دخل و تصرف غیرمجاز در بستر و حریم رودخانه‌ها است. این امر می‌تواند به‌واسطه عدم اطلاع از قوانین، ناآگاهی نسبت به مسائل هیدرودینامیکی رودخانه و پاره‌ای از موارد ناشی از سودجویی باشد (۱۹). از این رو، تعیین حریم فنی و قانونی رودخانه‌ها و تعیین حریم محدوده خطر، باعث افزایش ظرفیت سیل‌گیری و کاهش تراز آب می‌شود و احتمال بروز خسارات را کاهش می‌دهد. تفکیک مالکیت اراضی باعث امنیت فعالیت‌های معیشتی و زیستی اهالی اطراف رودخانه‌ها می‌شود و با کاهش فعالیت‌ها در این نواحی، از ورود پساب‌ها و فاضلاب‌ها جلوگیری و باعث افزایش کیفیت آب و کاهش بروز بیماری‌ها برای مصرف‌کنندگان می‌شود. بنابراین، حفظ بستر و حریم رودخانه‌ها، به‌ویژه در مناطق شهری، به‌لحاظ توسعه نیازهای چندمنظوره و همچنین پیشگیری از سیل و کاهش خسارات کمی و کیفی از اهمیت زیادی برخوردار است (۱۸). سیل عبارت است از بالا آمدن نسبتاً زیاد آب در یک رودخانه یا مسیل که باعث خسارات مالی و جانی شود. این بالا آمدن حالتی نسبی داشته و اصولاً نسبت به رژیم عادی یا نرمال سنجیده می‌شود (۱۲). اولین گام در طرح‌های مدیریتی سیلاب و دشت‌های سیلابی، تهیه نقشه پهنه‌بندی سیل است. از موارد کاربرد این نقشه‌ها می‌توان به تعیین بستر و حریم رودخانه‌ها، مطالعه و توجیه اقتصادی طرح‌های عمرانی، پیش‌بینی و هشدار سیل، عملیات امداد و نجات و بیمه سیل اشاره کرد. برای پهنه‌بندی خطر سیل روش‌های مختلفی وجود دارد که عبارت‌اند

الف) روش مشاهده‌ای و استفاده از داغاب سیلاب
 ب) استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای
 ج) استفاده از مدل‌های ریاضی
 یکی از جدیدترین روش‌ها در این مورد استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تلفیق آن با مدل‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیک است. نخستین فعالیت‌ها در مورد کاربرد سامانه اطلاعات جغرافیایی در مطالعه پدیده سیلاب به اوایل دهه ۱۹۸۰ میلادی بازمی‌گردد که اولین کارها در این زمینه با آنالیز مدل ارتفاعی رقومی برای کاربردهای هیدرولوژیکی شروع شد. اما ارتباط مدل‌های هیدرولوژیکی و GIS به اوایل دهه ۱۹۹۰ برمی‌گردد (۲۰). نرم‌افزار HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System) که توسط انجمن مهندسی ارتش آمریکا ارائه شد، نرم‌افزاری است که به کاربر امکان انجام محاسبات هیدرولیک رودخانه را در حالت جریان ماندگار و غیرماندگار می‌دهد. نرم‌افزار HEC-RAS شامل سه مؤلفه تحلیل هیدرولیکی یک‌بعدی برای محاسبات پروفیل سطح آب در حالت جریان ماندگار، شبیه‌سازی جریان غیرماندگار و محاسبات انتقال رسوب در مرز متحرک، است. این سه مؤلفه از یک نمایش داده‌های هندسی مشترک و از روند محاسبات هندسی و هیدرولیکی یکسان استفاده می‌کنند (۱۲).

درخصوص پهنه‌بندی و شناسایی نواحی سیلاب‌گیر، مطالعاتی در سطح جهان و ایران صورت پذیرفته است که به برخی از آنها اشاره می‌شود. از جمله، رمو و همکاران (۲۲) بخشی از رودخانه می‌سی‌سی‌پی را با مدل HEC-RAS شبیه‌سازی کردند. در این پژوهش، حریم رودخانه و نقشه پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از مدل HEC-RAS، به‌منظور تعیین خطرپذیری سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف به‌دست آمده است. میر و همکاران (۱۶) مقایسه‌ای بین مدل HEC-RAS و مدل یک‌بعدی بر پایه معادلات سنت و نانت انجام دادند که نتایج اندازه‌گیری و شبیه‌سازی، همخوانی کاملی با مدل‌های دوبعدی داشت. ناپرادین و چیرا (۱۷) نقشه پهنه‌بندی خطر سیل‌گیری را برای

رودخانه قره‌چای در حومه شهر رامیان پرداختند و پس از محاسبه رقوم سطح آب، پهنه خطر در هر بخش را تعیین و در نهایت مقادیر خسارت احتمالی در هر پهنه را برآورد کردند. عبقری (۶) با استفاده از مدل HEC-RAS و GIS اقدام به پهنه‌بندی خطر سیلاب در بخشی از حوضه جاجرود برای دوره‌های بازگشت متفاوت کرد و نتیجه گرفت که این مدل قابلیت خوبی در تحلیل هیدرولیکی رقوم سطح آب نشان می‌دهد. جلالی‌راد (۱۳) با استفاده از مدل HEC-RAS به پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه شهری دارآباد پرداخت. در این پژوهش، وی توانایی این مدل را در پردازش رقوم سطح آب تأیید کرد.

در پژوهش حاضر، حریم بستر رودخانه زاینده‌رود و پهنه‌بندی سیل در دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله با استفاده از نرم‌افزارهای HEC-RAS، ARCGIS و برنامه جانبی HEC-GeoRAS تعیین می‌شود.

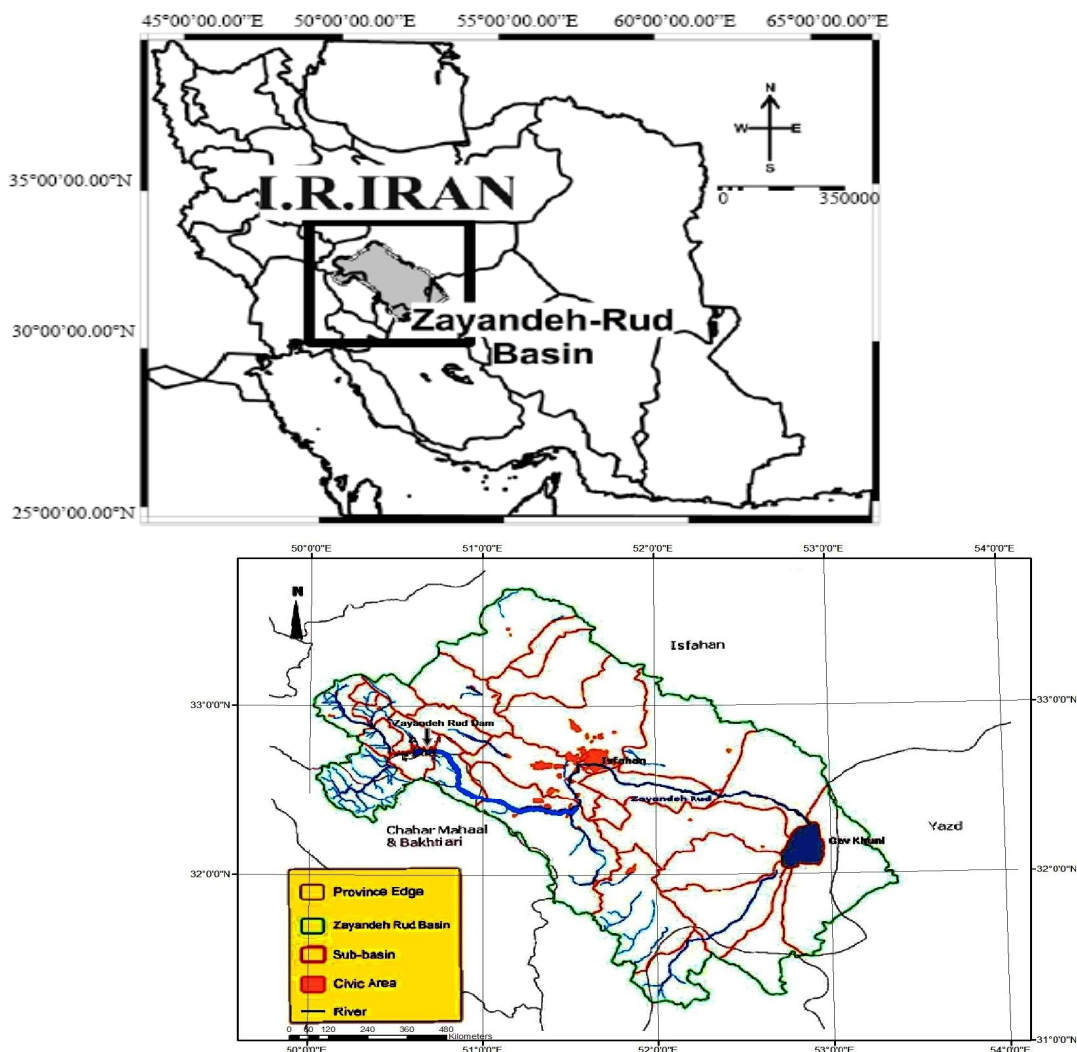
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز زاینده‌رود واقع در منطقه مرکزی ایران (شکل ۱) حوضه کاملاً بسته‌ای است که هیچ راه خروجی به دریا ندارد. رودخانه زاینده‌رود به طول ۳۵۰ کیلومتر، در امتداد تقریبی غرب-شرق در جریان است و از کوه‌های زاگرس در استان چهارمحال و بختیاری سرچشمه گرفته و به باتلاق گاوخونی در شرق استان اصفهان می‌رسد. این رودخانه آب آبیاری، شرب و صنعت استان را که یکی از مهم‌ترین مناطق اقتصادی ایران است، تأمین می‌کند. مساحت کل حوضه زاینده‌رود حدود ۴۱۵۰۰ کیلومتر مربع است. البته فقط اراضی بالادست دریاچه سد زاینده‌رود، در تأمین جریان‌های آبی مؤثر بوده و محدوده پایین‌دست سد جریان ورودی به رودخانه نداشته و اگر هم جریانی بوده بسیار نادر و کم است. جریان طبیعی رودخانه زاینده‌رود با انحراف آب از تونل‌های انحرافی یک و دو کوه‌رنگ، که از رودخانه کوه‌رنگ در استان چهارمحال و بختیاری

حوضه‌های آبریز کوچک در نزدیکی دریای بایا (Baia) در دره آستوروی (Usturoi) تهیه کردند. برای این منظور، از ترکیب دو برنامه WetSpa و HEC-RAS استفاده شد. بدین ترتیب که از خروجی داده‌های برنامه WetSpa به‌عنوان ورودی برای برنامه HEC-RAS استفاده شد و برای هر دو مدل، نرم‌افزار ۳ و ۲ ArcView به‌کار برده شد. نبل و همکاران (۱۵) با استفاده از مدل هیدرولوژیک HEC-HMS، نرم‌افزار HEC-RAS و تخمین بارش راداری (NEXRAD) در حوضه سن آتونینو (San Antonio) نگراس مرکزی در آمریکا، مدلی منطقه‌ای برای سیلاب ارائه کردند و نتایج آن را با سیلاب تابستان سال ۲۰۰۲ مقایسه کردند. نتایج، کارایی مدل در پیش‌بینی سیلاب در مقیاس منطقه‌ای را نشان داد. هیل (۱۰) قابلیت مدل کامپیوتری HEC-GeoRAS در پهنه‌بندی خطر سیل و مزایای استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS را بیان کرد.

قمی اویلی و همکاران (۸) اقدام به پهنه‌بندی سیل با استفاده از مدل HEC-RAS در رودخانه کارون حدفاصل بند قیر تا اهواز کردند. برای این منظور، آنها در مسیر مورد نظر، با استفاده از روش هیدروگراف واحد و شاخص سیلاب هیدروگراف سیل خروجی در بالادست حوضه و زیرحوضه‌های موجود را به‌دست آوردند، در طول ۴۳ کیلومتر از رودخانه، ۴۴ مقطع ترسیم کردند، حداکثر رقوم تراز آب را در مقاطع معین برای دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به‌دست آوردند و محدوده و میزان اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی را که در صورت وقوع سیل به‌مخاطره خواهند افتاد، محاسبه کردند. حکمتی‌فر و همکاران (۹) به ارزیابی خسارات کشاورزی ناشی از سیلاب با استفاده از HEC-RAS و ArcView در بازه‌ای به طول ۲۹/۵ کیلومتر از رودخانه قره‌سو از حوضه‌های استان کرمانشاه پرداختند و نتیجه گرفتند که پیشنهادی ارائه شده برای طرح ترکیبی اصلاح و لایروبی تفاوت زیادی به لحاظ کاهش خسارات با طرح اصلاح و طرح لایروبی ندارند. غریب و همکاران (۷) با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS به پهنه‌بندی خطر و ارزیابی خسارت سیل در

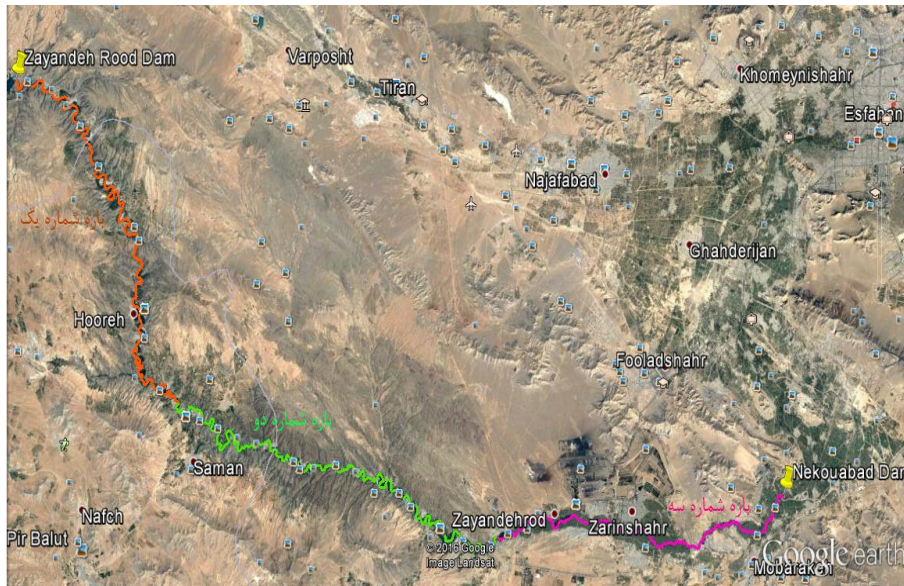


شکل ۱. حوضه آبریز زاینده‌رود و بازه مورد مطالعه

محیط نرم‌افزار مذکور، خط مرکزی جریان و سواحل کانال اصلی (River banks) و همچنین مسیر جریان (Flow path) ترسیم شدند (شکل ۳). برای نمایش شکل کلی رودخانه، مقاطع عرضی در فواصل مناسب از کناره چپ به‌سوی کناره راست روی TIN رسم شد. این مقاطع کاملاً عمود بر جریان و در طول شاخه اصلی و در کل سیلاب‌دشت تهیه شده و در تمامی طول مسیر بازه مورد بررسی انطباق یافته‌اند. لازم به‌ذکر است که سه بازه مختلف بین مقاطع عرضی در نظر گرفته شد و به مدل معرفی شده است که عبارت‌اند از:

- ۱- فاصله مقاطع عرضی از یکدیگر در کناره چپ
- ۲- فاصله مقاطع عرضی از هم در کناره راست (به‌دلیل مستقیم

سرچشمه می‌گیرد، افزایش می‌یابد (۲۱). بررسی حوضه آبخیز زاینده‌رود در محدوده‌ای به طول تقریبی ۱۴۰ کیلومتر، از سد تنظیمی زاینده‌رود (با طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۴۴ دقیقه و ۱۵ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۴۴ دقیقه شمالی) تا سد انحرافی نکوآباد (با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۲ دقیقه و ۲۲ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲ دقیقه شمالی) همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شد، انجام خواهد شد (۱). مشخصات هیدرولیکی محدوده مورد مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است. در محیط ArcGIS، نقشه TIN (Triangulated irregular network) از نقشه توپوگرافی آن منطقه تهیه و با استفاده از برنامه جانبی HEC-Geo-RAS در



شکل ۲. بازه مورد مطالعه در رودخانه زاینده‌رود

جدول ۱. مشخصات هیدرولیکی بازه‌های مورد مطالعه

ماه	شماره بازه	طول بازه (km)	دبی (m^3/s)	سرعت جریان آب (m/s)	عمق متوسط آب (m)	دمای آب ($^{\circ}C$)
تیر	۱	۵۸/۰۶۱	۹۲/۳۸	۱/۴۵	۱/۲۹	۱۰
	۲	۵۹/۳۳۲	۸۱/۴۶	۱/۶۱	۱/۴۳	۱۶/۸۸
	۳	۳۷/۷۵	۷۰/۲۱	۱/۴۶	۱/۶۱	۱۸/۷۵
بهمن	۱	۵۸/۰۶۱	۱۶/۷۳	۰/۶۶	۰/۴۶	۵
	۲	۵۹/۳۳۲	۱۷/۶۳	۰/۷۳	۰/۶	۸/۲۵
	۳	۳۷/۷۵	۱۴/۹۶	۰/۸	۰/۷۳	۱۰/۵

- اطلاعات توپوگرافی (پروفیل طولی و عرضی رودخانه و اراضی حاشیه و...)

- اطلاعات جریان سیل (هیدروگراف ورودی سیل، منحنی دبی - اشل و...)

مدلسازی در نرم‌افزار به ترتیب زیر انجام شده است:

الف- پلان رودخانه از طریق تعیین مختصات و ترسیم مقاطع عرضی رودخانه تعریف شد (طول، عرض و ارتفاع هر نقطه در امتداد هر مقطع). اطلاعات این بخش با استفاده از برنامه جانبی HEC-GeoRAS از نرم‌افزار ArcGIS وارد نرم‌افزار HEC-RAS شد.

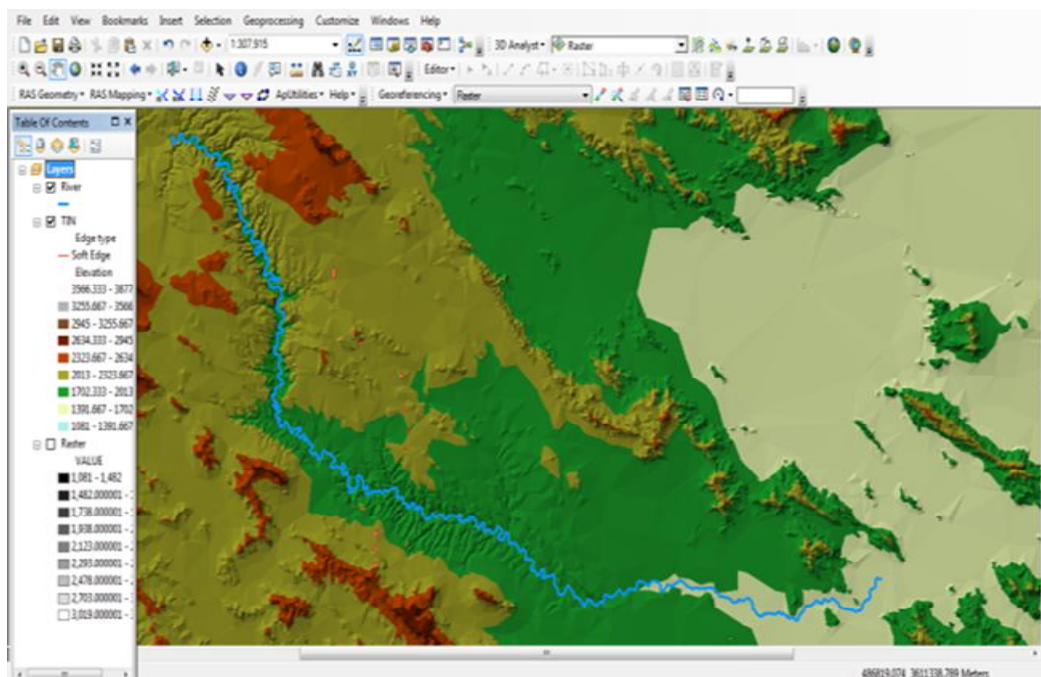
ب- تعیین ضریب زبری رودخانه در مسیر کانال اصلی و

نبودن آبراهه، فاصله دو پروفیل عرضی در طرفین آبراهه یکسان نیست)

۳- فاصله مقاطع در بستر اصلی آبراهه. بدین ترتیب، مدل می‌تواند مستقیم بودن یا پیچ‌دار بودن آبراهه و امتداد این پیچ‌ها را در راستای رودخانه به‌خوبی تشخیص دهد. با رسم این خطوط موقعیت، وضعیت و پهنای مقاطع عرضی از TIN استخراج شده و در لایه مذکور معرفی و ذخیره شد. در نهایت، این اطلاعات به نرم‌افزار HEC-RAS انتقال داده شدند.

اطلاعات اولیه موردنیاز برای شبیه‌سازی پهنه‌بندی سیل با استفاده از مدل HEC-RAS عبارت‌اند از:

- اطلاعات هیدرولیکی (ضرایب زبری، وضعیت مسیر رودخانه و...)



شکل ۳. نقشه TIN مسیر مورد مطالعه در رودخانه زاینده‌رود

n_2 : ضریب مانینگ مربوط به موانع موجود در مسیر رودخانه

n_4 : ضریب مانینگ مربوط به پوشش گیاهی

n_5 : ضریب مانینگ مربوط به درجه انحناى مسیر رودخانه

در این پژوهش، ابتدا ضریب زبری با استفاده از جدول چاو (Chow) (۱۷) و عکس‌های هوایی تخمین زده شد و سپس با استفاده از رابطه (۱) تصحیح شده است که در جدول (۲) مقادیر آن آورده شده است.

ج- وارد کردن شرایط مرزی بالادست و پایین‌دست. در دو سوی بازه مورد مطالعه در بالادست و پایین‌دست، باید شرایط مرزی تعیین شود. شرایط مرزی برای برقراری سطح آب آغازین در هر یک از دو انتهای سیستم رودخانه (پایین‌دست و بالادست) مورد نیاز است. به‌منظور شروع محاسبات توسط برنامه، تعریف یک سطح آغازین آب ضروری است. شرایط مرزی در مرز فیزیکی بالادست و پایین‌دست در بازه مورد نظر بازسازی شد. بدین‌منظور، از روش عمق نرمال استفاده شد که مستلزم وارد کردن شیب خط انرژی و همچنین دبی داده شده در محل موردنظر است. چنانچه شیب خط انرژی موجود نباشد، می‌توان از شیب کف رودخانه استفاده کرد. بدین‌منظور، از روی

سیلاب‌دشت، کاربردی‌ترین روش تعیین ضریب زبری مانینگ عبارت است از: بازدید میدانی، قضاوت کارشناسی و استفاده از جداول پیشنهادی ضریب زبری مانینگ (n) ارائه شده توسط پژوهشگران که عموماً بر مبنای نوع دانه‌بندی بستر و پوشش آن ارائه شده‌اند. از جمله روابط ارائه شده برای تعیین ضریب مانینگ می‌توان به رابطه معروف کووان (Cowan) اشاره کرد که ابتدا بر اساس جداول موجود، ضریب مانینگ اولیه تخمین زده شد و سپس با توجه به دیگر شرایط حاکم بر رودخانه در مقاطع مختلف، تأثیر دیگر عوامل همچون درجه ناهمواری، وجود موانع، پوشش گیاهی و شکل مسیر اعمال و ضرایب مانینگ مطابق رابطه (۱) اصلاح شده است (۱۱):

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5) n_0 \quad (1)$$

که در رابطه فوق:

n : ضریب مانینگ ترکیبی

n_0 : ضریب مانینگ مربوط به دانه‌بندی مواد بستر

n_1 : ضریب مانینگ مربوط به درجه ناهمواری در سطح بستر رودخانه

n_2 : ضریب مانینگ مربوط به تغییرات مقطع رودخانه

جدول ۲. مقادیر ضریب زبری استفاده شده در محدوده مورد مطالعه

توضیحات	مقدار ضریب زبری (n)	گروه یا زیرگروه
بتن در وضعیت خوب - ماله‌کشی در کف و دیواره‌ها و سنگ‌های نامنظم	۰/۰۲	آبراهه اصلی
در بتن - ماله‌کشی با پوشش سیمانی با ملات سنگریزه‌ای	۰/۰۲۵	
سطح مقطع منظم بدون تخته‌سنگ یا گیاه	۰/۰۳	
تمیز، صاف، مستقیم با جریان پر بدون تندآب و استخر	۰/۰۳۵	
سطح مقطع نامنظم و کاملاً خشن و زبر	۰/۰۴۸	
عمق آب کم، با شیب کم و جریان راکد	۰/۱۵	سیلاب‌دشت‌ها
درختان منظم و متراکم	۰/۰۳	
بدون درختچه با علف کوتاه - بدون گیاه - با گیاه آماده برداشت	۰/۰۴	
با سطح باز، تنک و بدون شاخه‌های نارس		

جدول ۳. شیب طولی بازه‌های محدوده مورد مطالعه

شماره بازه	شیب متوسط بالادست	شیب متوسط پایین‌دست
۱	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۲۴
۲	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۱۶
۳	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۱۷

$$T_p = 0.6 T_c + \sqrt{T_c} \quad (3)$$

که در آن T_c زمان تمرکز است.

$$T_c = 1.49 T_{lag} \quad (4)$$

$$T_{lag} = \frac{L^{0.8} (S+1)^{0.7}}{1900 y^{0.5}} \quad (5)$$

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (6)$$

زمان تأخیر برحسب ساعت، L طول اصلی رودخانه برحسب فوت، y متوسط شیب حوضه، S نمایه نگهداشت آب در داخل حوضه برحسب اینچ و CN نمایه ویژگی‌های حوضه از نظر نفوذپذیری است.

با استفاده از این روابط دبی در دوره‌های بازگشت مختلف در جدول (۴) ارائه شده است.

هـ- انتخاب رژیم جریان مورد نظر، در نرم‌افزار HEC-RAS سه حالت برای تحلیل جریان وجود دارد: فوق‌بحرانی،

پروفیل طولی در بالادست و پایین رودخانه این شیب به‌دست آمده است (جدول ۳).

د- وارد کردن میزان دبی لازم (به‌منظور تحلیل جریان). سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) برای به‌دست آوردن دبی سیل، رابطه‌ای را پیشنهاد کرده که در پروژه‌های هیدرولوژی، زهکشی و جمع‌آوری آب‌های سطحی بسیار کاربرد دارد. در این روش، فقط حداکثر دبی لحظه‌ای و زمان رسیدن به دبی اوج مدنظر است (۲):

$$Q_p = \frac{0.208 \times A \times Q_d}{T_p} \quad (2)$$

Q_p : دبی اوج برحسب مترمکعب بر ثانیه

A : مساحت حوضه برحسب هکتار

Q_d : ارتفاع رواناب برحسب سانتی‌متر

T_p : زمان رسیدن دبی به مرحله اوج (ساعت) که از رابطه زیر

محاسبه می‌شود:

جدول ۴. دبی با دوره‌های بازگشت مختلف برای بازه‌های مورد مطالعه

بازه‌ها	دبی (مترمکعب بر ثانیه)					
	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰	۵
بالادست	۱۰۶۸/۰۱	۸۶۱/۴۷	۶۷۷/۸۸	۵۶۱/۳۳	۳۳۷/۱۳	۲۱۵/۳۷
وسط	۷۶۸/۸۷	۶۳۱/۵۳	۴۸۹/۵	۳۷۳/۲۸	۲۳۸/۳	۱۵۲/۰۶
پایین‌دست	۱۸۶/۳۵	۱۴۶/۵۷	۱۱۲/۰۲	۷۹/۶	۴۵	۲۰/۹۴

جدول ۵. بررسی رژیم جریان در محدوده مورد مطالعه

ماه	شماره بازه	لزجت سینماتیک آب (m^2/s)	عدد فرود (F_r)	عدد رینولدز (Re)
تیر	۱	$1/307 \times 10^6$	۰/۴	$1/43 \times 10^6$
	۲	$1/08 \times 10^6$	۰/۴۳	$2/13 \times 10^6$
	۳	$1/0275 \times 10^6$	۰/۳۷	$2/29 \times 10^6$
بهمن	۱	$1/519 \times 10^6$	۰/۳۱	$0/2 \times 10^6$
	۲	$1/3835 \times 10^6$	۰/۳	$0/32 \times 10^6$
	۳	$1/307 \times 10^6$	۰/۲۹	$0/45 \times 10^6$

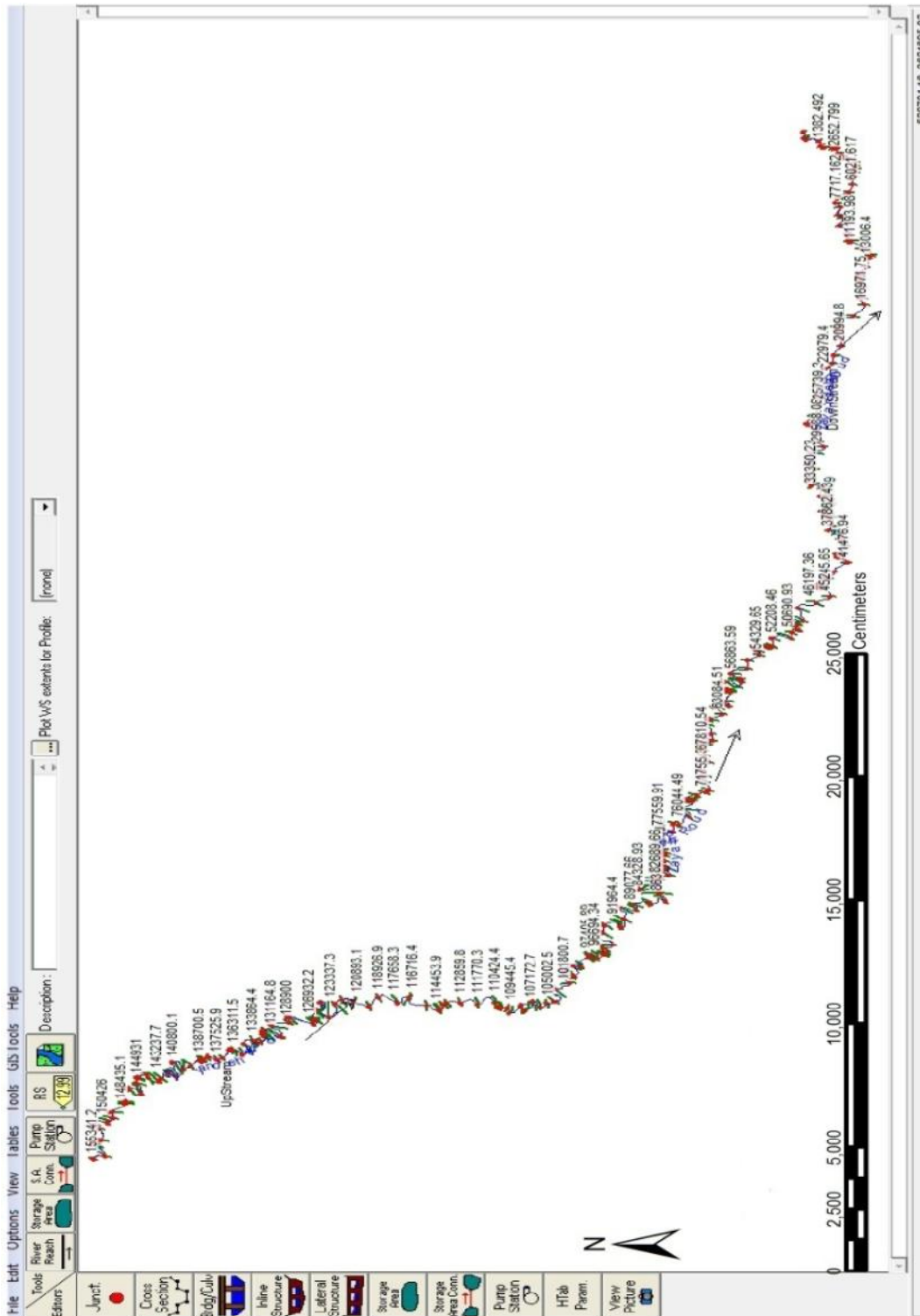
میانگین عمق آب‌گرفتگی یک متر است. در بازه پایین‌دست، بیشترین میزان آب‌گرفتگی در ابتدای این بازه با عمق ۹/۷۵ سانتی‌متر، کمترین میزان آب‌گرفتگی در وسط این بازه با ۳/۵ سانتی‌متر و میانگین عمق آب‌گرفتگی این بازه هفت سانتی‌متر است. همان‌طور که مشهود است، ارتفاع آب در دوره‌های بازگشت مختلف در بازه میانی بیشتر است. از آنجایی که دبی در بازه میانی بیشینه است و طبق رابطه مانینگ دبی با عمق جریان رابطه مستقیم دارد در نتیجه بیشینه بودن میزان عمق جریان در این بازه منطقی به نظر می‌رسد. نکته مهم دیگری که باید به آن اشاره کرد این است که دبی دوره‌های بازگشت مختلف با مساحت حوضه و زیرحوضه رابطه مستقیم دارد. بدین صورت که هرچه مساحت بیشتر شود میزان دبی و در نتیجه عمق آب و سطح آب‌گرفتگی افزایش پیدا می‌کند که این نتایج با معادلات تجربی چاوشی بروجنی و اسلامیان (۴) که برای حوضه آبخیز زاینده‌رود به‌دست‌آمده همخوانی دارد.

نتایج حاصل از محاسبات سطوح آب در دوره‌های بازگشت مختلف در نرم‌افزار HEC-RAS از طریق برنامه جانبی

زیربرحرائی و ترکیب این دو، اگر در جریانی شرایط پخش هیدرولیکی وجود داشت باید از تحلیل ترکیبی استفاده کرد. اما در غیر این صورت می‌توان یکی از دو روش دیگر را بسته به عدد فرود استفاده کرد. لازم به ذکر است که چون در بیشتر رودخانه‌ها هم جریان زیربرحرائی و هم جریان فوق‌برحرائی دیده می‌شود، بیشتر از روش ترکیبی استفاده می‌شود که در این صورت باید داده‌های مربوط به شیب بالادست و پایین‌دست هر بازه در دسترس باشد (جدول ۵) (در این پژوهش جریان مختلط انتخاب شد).

نتایج و بحث

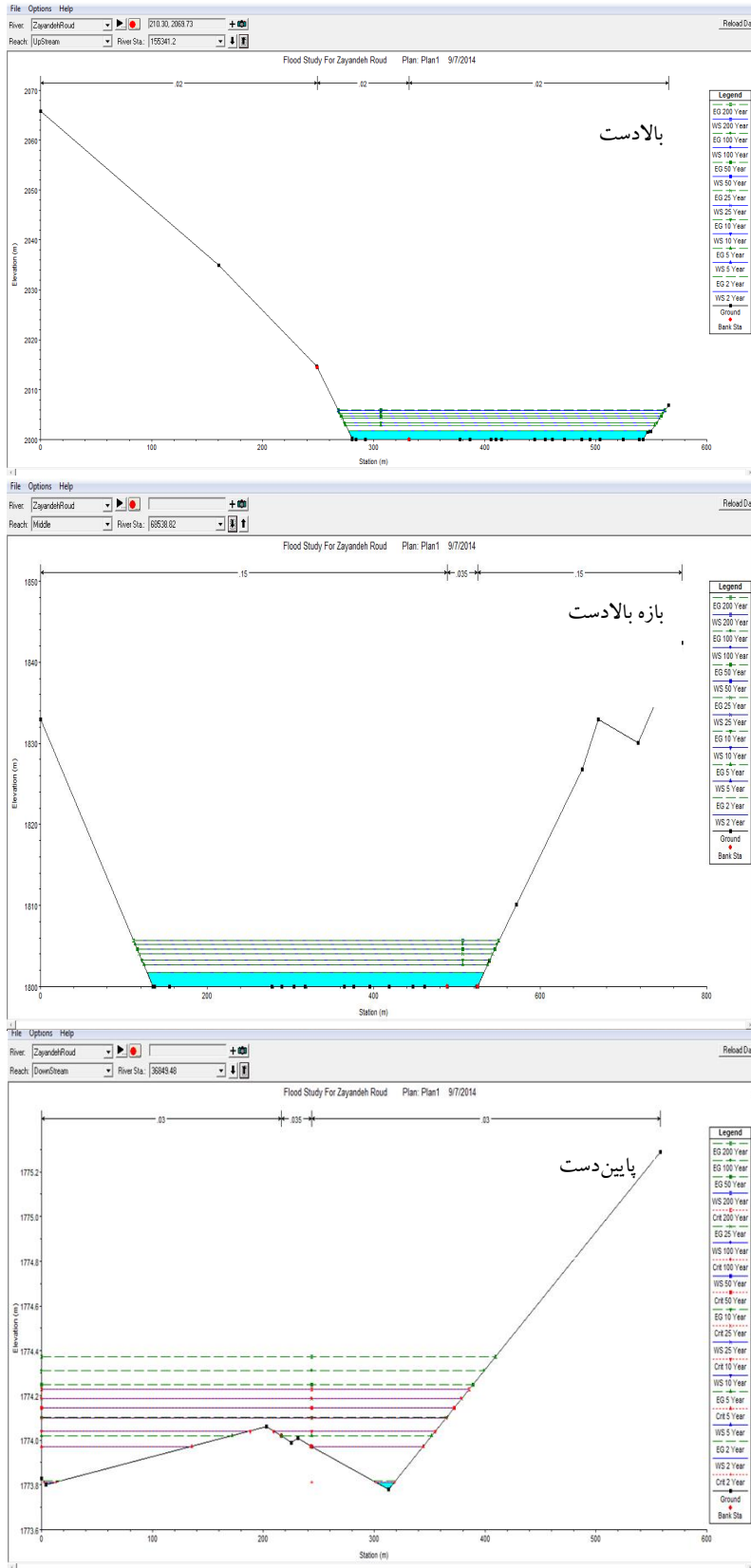
در شکل‌های (۴ و ۵) برخی نتایج مدل‌سازی با نرم‌افزار HEC-RAS و خروجی نرم‌افزار Arc GIS نشان داده شده است. در بازه بالادست، بیشترین میزان آب‌گرفتگی در ابتدای بازه با ۱/۷۵ متر، کمترین میزان آب‌گرفتگی تقریباً در انتهای بازه با ۱۰ سانتی‌متر و میانگین عمق آب‌گرفتگی ۱/۵ متر است. در بازه میانی، بیشترین میزان آب‌گرفتگی با عمق ۱/۹۴ متر در وسط این بازه، کمترین میزان آب‌گرفتگی در انتهای بازه با ۵۹ سانتی‌متر و



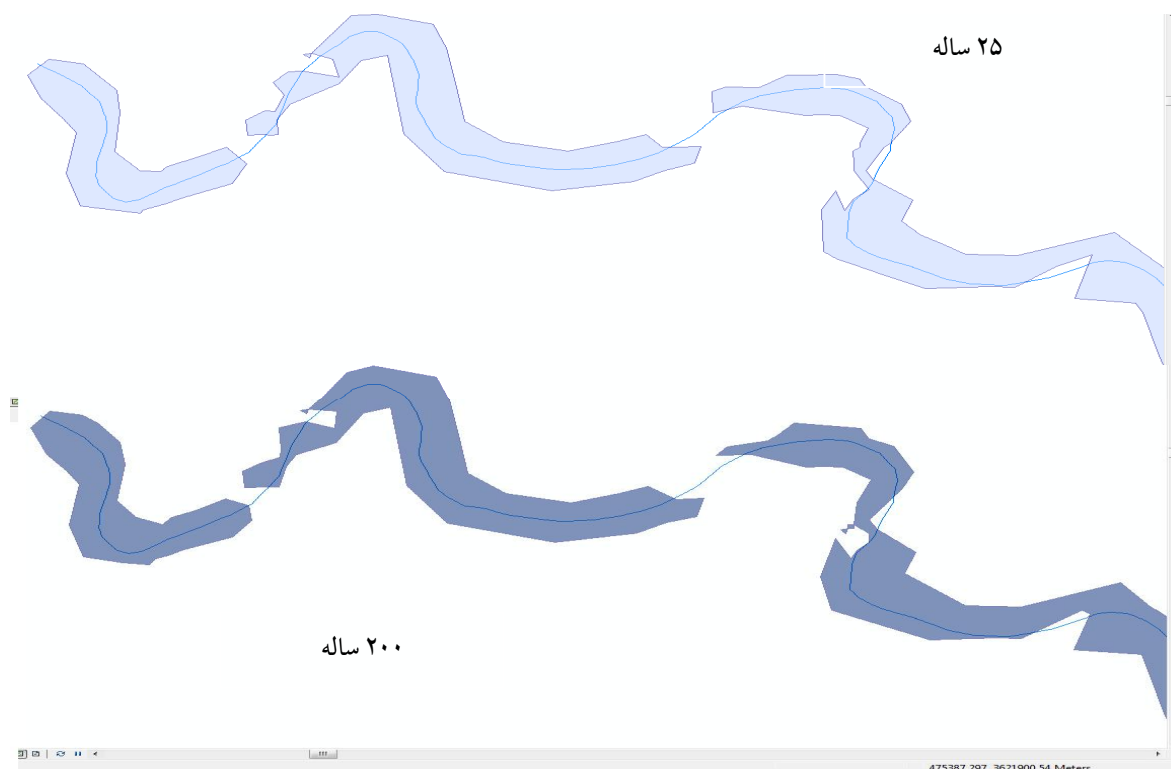
شکل ۴. شمای کلی مقاطع رودخانه زاینده‌رود در بازه مورد مطالعه

در گسترش پهنه سیلاب‌گیر در درجه اول ناشی از ویژگی‌های توپوگرافی مسیر دره است. هر چه عرض بستر آبراهه زیاد شده پهنای سطح سیلابی نیز افزایش یافته و آب در سطح وسیع‌تری

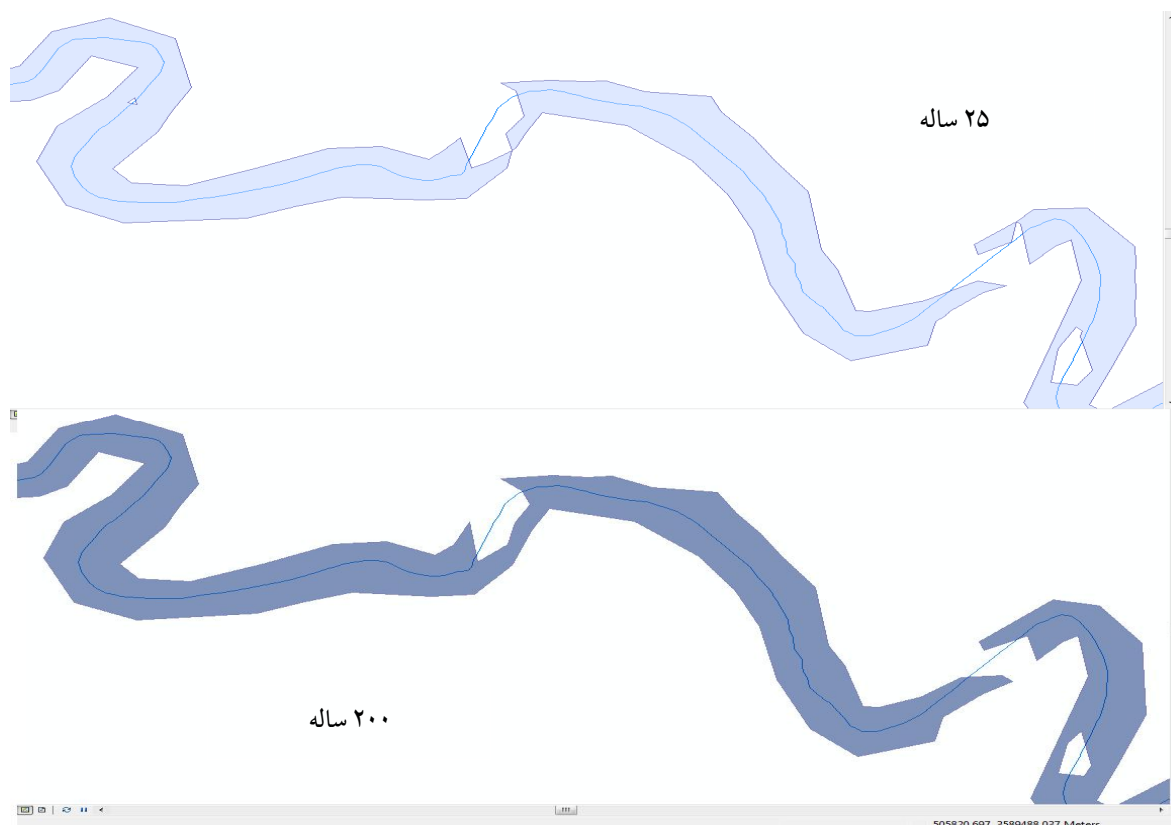
GIS منتقل و پهنه‌های سیلابی در هر دوره تعیین شد. به‌ازای دوره‌های بازگشت طولانی‌تر میزان دبی بیشتر شده و پهنه سیلابی نیز وسعت بیشتری یافته است. البته تفاوت



شکل ۵. پروفیل عرضی و سطوح سیلابی در محل قرارگیری مقاطع

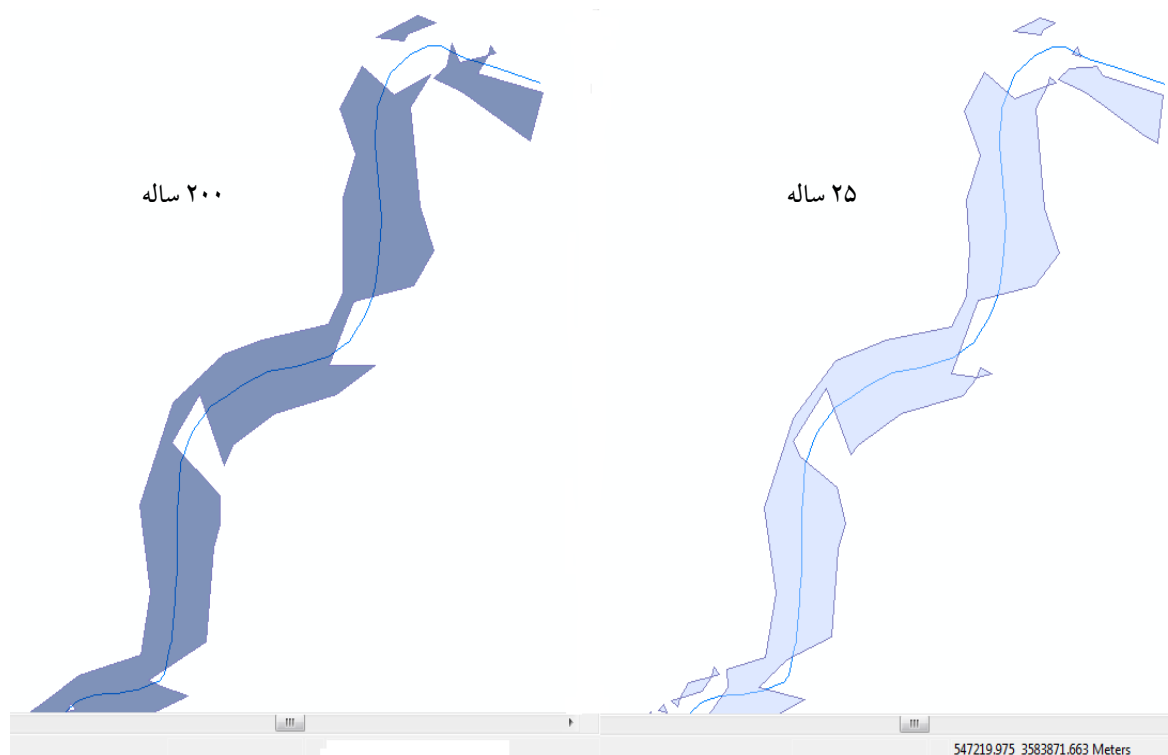


(الف)



(ب)

شکل ۶. پهنه‌های سیل‌گیر با دوره‌های بازگشت ۲۵ و ۲۰۰ ساله در بخشی از بازه الف) شماره یک و ب) شماره دو



(ج)

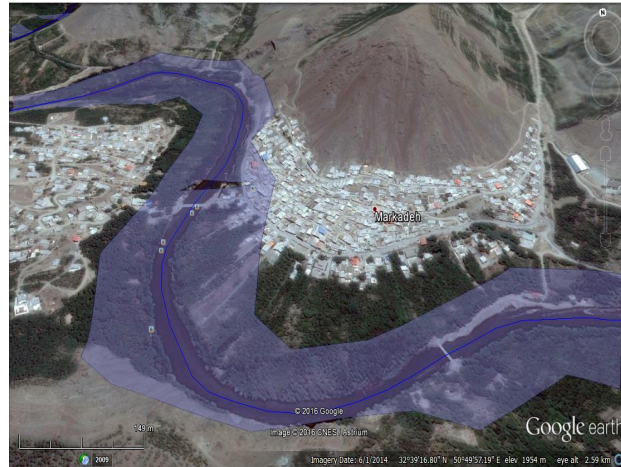
ادامه شکل ۶. پهنه‌های سیل‌گیر با دوره‌های بازگشت ۲۵ و ۲۰۰ ساله در بخشی از بازه ج) شماره سه

به دلیل تراکم جمعیت از اهمیت ویژه‌ای به نسبت سایر بازه‌ها برخوردار است که به طور میانگین در ۷۰ درصد از حاشیه رودخانه که در این بازه قرار دارد حریم استاندارد رعایت نشده و در ۹۰ درصد از حاشیه رودخانه حریم به دست آمده در این تحقیق رعایت نشده است. در بازه پایین دست ۵۰ درصد از حریم استاندارد و ۷۰ درصد از حریم به دست آمده این پژوهش رعایت نشده است. همان‌طور که از جدول (۶) معلوم است سطوح سیل‌گیر با دوره بازگشت ۲۵ سال، ۹۶ درصد کل سطوح سیل‌گیر را شامل می‌شود. دشت‌های سیلابی به دلیل نزدیکی به رودخانه و حاصلخیزی، محل زراعت و سکونت بسیار خوبی به شمار می‌رود اما برای حفظ امنیت و کاهش خطرات سیل باید حریم رودخانه به طور کامل رعایت شود. با توجه به شکل (۷) در تمامی بازه‌های مورد مطالعه نقاطی مانند روستای مارکده (شکل ۷-الف)، روستای برنجگان (شکل ۷-ب) و روستای بیستجان

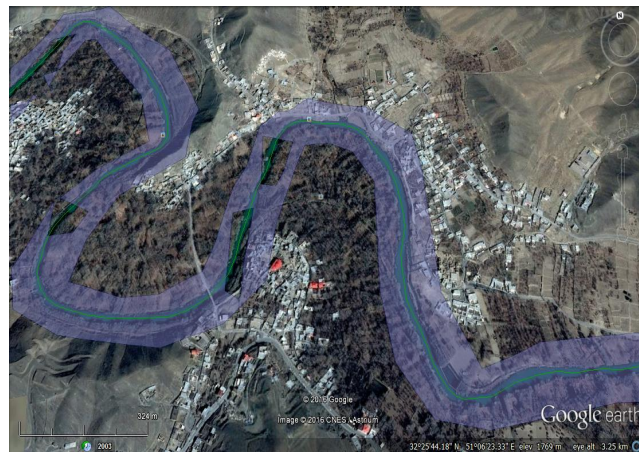
گسترش داشته است. برعکس، هر جا دره تنگ‌تر شده به همان نسبت پهنای سطح سیلابی نیز کاهش یافته و به موازات آن عمق سطح سیلابی افزایش یافته است. در حقیقت، علت کم بودن تفاوت سطح سیل‌گیر در بسیاری از بخش‌ها وجود توپوگرافی پرشیب در حاشیه رود اصلی است.

نتیجه‌گیری

در رودخانه زاینده‌رود حدفاصل سد زاینده‌رود تا سد نکوآباد وسعت اراضی در خطر سیل در دوره‌های بازگشت مختلف تفاوت قابل توجهی با هم ندارد. همان‌طور که در شکل (۶) مشهود است، سطوح سیل‌گیر در دوره‌های بازگشت ۲۵ سال و ۲۰۰ سال تفاوت آنچنانی با هم ندارند. طبق محاسبات و حریم استاندارد (۲۰-۱ متر بعد از بستر) نتایج نشان می‌دهد که در بازه بالادست ۸۵ درصد از حریم استاندارد و حریم به دست آمده در این پژوهش رعایت نشده است. بازه مبانی



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۷. وسعت اراضی سیل‌گیر با دوره بازگشت ۲۰۰ ساله روی بخشی از بازه الف) شماره یک، ب) شماره دو و ج) شماره سه

جدول ۶. میزان سطوح سیل‌گیر در دوره‌های بازگشت مختلف

دوره‌های بازگشت	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۲۰۰
سطح سیل‌گیر (مترمربع)	۲۱۷۷۹۹۰۷/۹۴	۲۲۵۵۹۰۶۲/۲۸	۲۳۰۳۷۱۳۰/۱۲	۲۳۵۹۱۰۸۳/۰۳	۲۳۸۸۴۴۵۷/۹۹	۲۴۲۰۷۲۱۹/۳۹	۲۴۴۸۷۷۱۸/۲۳
درصد سیل‌گیری	۸۸٪	۹۲٪	۹۴٪	۹۶٪	۹۷٪	۹۸٪	۱۰۰٪

هیچ‌وجه کاربری مسکونی توصیه نمی‌شود، زیرا اماکن مسکونی از حساس‌ترین کاربری اراضی محسوب شده، به این دلیل که در هنگام وقوع سیل مردم در آن سکونت داشته و پتانسیل ایجاد خسارات سیل بسیار زیاد است.

- لحاظ کردن مطالعات پیش‌بینی و هشدار سیل در تهیه دستورالعمل‌های بهره‌برداری از مخازن سدها در راستای امکان تخلیه سریع مخازن در شرایط وقوع سیلاب بزرگ.
- تجهیز و تکمیل ایستگاه‌های سینوپتیک و هیدرولوژیک با استانداردهای بین‌المللی.

(شکل ۷-ج) یافت می‌شود که حریم تعیین شده رعایت نشده و در صورت وقوع سیل خسارات جبران‌ناپذیری به بار خواهد آورد.

پیشنهادها

- با توجه به نتایج به‌دست‌آمده راهکارهای زیر برای کنترل سیلاب توصیه می‌شود:
- ملزم کردن مردم حاشیه‌نشین رودخانه زاینده‌رود به رعایت هرچه بیشتر حریم رودخانه.
- در پهنه‌های سیل‌گیر با دوره بازگشت بالای ۵۰ سال به

منابع مورد استفاده

1. Abedi Koupai, J., Z. Nasri, Kh. Talebi, A. R. Mamanpoush and S. F. Mousavi. 2011. Study of chemical quality and water pollution of Zayandeh-roud upstream due to diazinon and its self-purification potential. *Journal of Water and Soil Science (Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources)* 15(56): 1-19.
2. Alizadeh, A. 2008. Principles of Applied Hydrology, Astan Qods Razavi Publications, Mashhad.
3. Barkhordar, M. and S. A. Chavoshian. 2000. Flood zoning. Proceedings of the Technical Workshop on Non-Structural Methods for Flood Management, National Committee on Irrigation and Drainage, pp. 63-80.
4. Chavoshi Brojeni, S. and S. S. Eslamian. 2008. Estimation of flood discharge with different frequency in Zayandehrood basin by hybrid regional method. *Journal of Soil and Water Science (Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources)* 3(3): 1-12.
5. Chow V. T. 1981. Open Channel Hydraulics. Mc Graw – Hill Limited, London.
6. Eabghari, H. 2004. Flood zoning using mathematical model and GIS (Case Study: Jajrood River, Tehran). MSc. Thesis, University of Tehran.
7. Gharib, M., A. Mosaedi, A. Najafi Nejad and F. Yaghmaei. 2007. Risk mapping and flood damage assessment (Case Study: Gharachai river area suburb of Ramyan). *Iranian Natural Resources* 60(3): 785-797.
8. Ghomi Avily, F., M. S. Sadeghian, A. H. Javid and S. A. Mirbagheri. 2010. Flood zoning simulation using HEC-RAS Model (Case Study: Karoon river between Bitumen to Ahvaz). *Journal of Natural Resources Science and Technology* 5(1): 105-115.
9. Hekmatifar, H., M. Nazariha and S. Givechi. 2010. Agricultural damage assessment due to floods using HEC-RAS modeling and Arc View. *Journal of Environmental Science and Technology* 11(4): 95-109.
10. Hill, M. 2001. Flood Plain Delineation Using the HEC-geo-RAS Extension for Arc View. Brigham Young University, Hawaii, pp. 45-78
11. Hosseini, S. M. and J. Abrishami. 2009. Hydraulics of Open Channels. Astan Ghods Razavi Publications. Mashhad.
12. Jalali Rad, R. 2002. Flood zoning in part of Tehran urban watershed using GIS. MSc. Thesis in Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University.
13. Jahandoust, R. 2010. Flood and its consequences. <http://www.rasoljography.blogspot.com>
14. Jebelifred, S., A. Omidvar and A. A. Najafi Jeilani. 2008. River Analysis System. University Jahad Publications

- (Amirkabir University of Technology), Tehran.
15. Knebl, M. R., Z. L. Yang, K. Hutchison and D. R. Maidment. 2005. Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: A case study for the San Antonio River Basin summer 2002 storm event. *Journal of Environmental Management* 75: 325-336.
 16. Meire, D., L. De Doncker, F. Declercq, K. Buis, P. Troch and R. Verhoeven. 2010. Modelling – river - floodplain interaction during flood propagation. *Natural Hazards* 55(1): 111-121.
 17. Napradean, I. and R. Chira. 2006. The hydrological modeling of the Usturoi Valley- using two modeling programs WetSpa and Hec-Ras. *Carpathian Journal of Earth And Environmental Sciences* 1(1): 53-62.
 18. Rahimi Farahani, M. 2006. Simultaneous application of GIS and HEC-RAS hydraulic model to determine river bed and its protective margin. *In: proceeding of the Flood Coexistence Workshop, National Irrigation and Drainage Committee, Tehran.*
 19. Rostam Afshar, N., A. Razavi, S. J. Hosseini and S. Zare. 2010. Environmental problems due to non-compliance with river protective margin and mitigation strategies, Case study: Haraz River. *In: Proceeding of the The First National Conference on Coastal Water Resources Management. Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources.*
 20. Sadeghi, S. H. R., R. Jalali and A. Alimohammadi Sarab. 2003. Flood zoning using HEC-RAS software and geographic information system (Case study: Darabad urban watershed, Tehran). *Caspian Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 1(2): 34-47.
 21. Salemi, H. R. and H. Morai Rast. 2004. Hydrology overview of Zayandehrood Watershed. *Journal of Water and Wastewater* 15(2): 2-13.
 22. Remo, J. W. F., M. Carlson and N. Pinter, (2012). Hydraulic and flood-loss modeling of levee, floodplain, and river management strategies Middle Mississippi River, USA. *Natural Hazards* 61(2): 551-575.

Determination of the Boundaries of Zayandehrud River Bed Using Arc GIS, HEC-RAS and Hec-GeoRAS Extension

J. Abedi Koupai^{1,2*} and B. Babaiee¹

(Received: May 31-2017; Accepted: April 30-2018)

Abstract

Simulation of the hydraulic behaviour of the river basin boundaries is important for river engineering projects, prediction of flood damages in different conditions and economic feasibility studies, flood control, and other social programs related to the system of the river. In this study, river bed and flood zoning map in the range of over 155 km from the Zayandehrud dam to Nekouabad Diversion Dam were addressed by using the software's ArcGIS, HEC-RAS and HEC-GeoRAS extension. For this purpose, a digital elevation map in 1: 250,000 scale was provided and cross-sectional area was divided in 1085. Manning roughness coefficient was determined by Cowan. Finally, data entered into the software HEC-RAS and was analysed. After determining the area of flood in the return periods of 2, 5, 10, 25, 50, 100 and 200 years in all cross sections, the results were entered into the ArcGIS environment and flood zoning maps were obtained. The results showed that of the 200-year flood lands, 96% of the land flood was related to the return period of 25 years.

Keywords: Bed Privacy, HEC-RAS, Return Period, Flood Zoning

1. Water Engineering Department, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
2. Center of Excellence in Risk Management and Natural Hazards, Isfahan University of Technology, 84156-83111, Isfahan, Iran

*: Corresponding Author, Email: koupai@cc.iut.ac.ir