پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال سیزدهم، شماره ۴، بهار ۱۴۰۴
صص. ۳۶-۲۳

پهنه‌بندی جریان سیلاب برای دوره‌های بازگشت مختلف با استفاده از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS (مطالعه موردی: رودخانه گمناب چای)

محمد حسین رضائی مقدم*– استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی ، دانشگاه تبریز.
داود مختاری – استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی ، دانشگاه تبریز.
توحید رحیم پور– دانشجوی پسا دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی ، دانشگاه تبریز.
میثم اسکندری– دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی ، دانشگاه تبریز.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۱۶ تائید نهایی: ۱۴۰۳/۱۲/۰۶

چکیده

رودخانه‌ها سیستم‌های پویایی هستند که به دلیل بارش‌های سنگین و ناگهانی با افزایش قابل‌توجهی از میزان دبی مواجه شده و حالت سیلابی به خود می‌گیرند. هدف اصلی این پژوهش پهنه‌بندی جریان سیلاب برای دوره‌های بازگشت در طول رودخانه گمناب‌چای به طول تقریبی ۵ کیلومتر (از روستای آناخاتون تا تلاقی رودخانه آجی‌چای) است. به همین منظور، از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS استفاده شده است. جهت پهنه‌بندی و تهیه نقشه پهنه‌های سیلابی برای دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ ساله از آمار دبی ایستگاه هیدرومتری آناخاتون استفاده شده و دبی‌های حداکثر برای دوره‌های مذکور با استفاده از نرم‌افزار آماری EasyFit پیش‌بینی شد. لایه‌های مورد نیاز تحقیق جهت پهنه‌بندی سیلاب از قبیل خطوط مرکزی جریان، مقاطع عرضی و سواحل سمت چپ و راست رودخانه با استفاده از الحاقیه HEC-GeoRAS و در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شدند. نتایج تحقیق نشان داد که در سیلاب‌های با دوره‌های بازگشت ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ ساله به ترتیب حدود ۱۵۰، ۱۷۵، ۱۹۰ و ۲۲۵ هکتار از اراضی محدوده دشت سیلابی دچار آب‌گرفتگی می‌شوند. همچنین نتایج نشان داد که جریان سیلابی در بازه مورد مطالعه در دوره بازگشت‌های مختلف از حداقل ۱۰ متر تا حداکثر ۲۲۵ متر از کانال اصلی رودخانه خارج شده و وارد محدوده‌ی دشت سیلابی می‌گردد. لذا با توجه به نتایج به دست آمده، ضرورت دارد که اقدامات حفاظتی جهت جلوگیری از وقوع سیلاب در طول مسیر رودخانه از قبیل لایروبی بستر، حفظ حریم بستر رودخانه از تصرف انسان و ایجاد دیوار ساحلی صورت گیرد.

واژگان کلیدی: سیلاب، پهنه‌بندی، مدل HEC-RAS، گمناب چای.

---

* نویسنده مسئول: E-mail: rezmogh@tabrizu.ac.ir

مقدمه

سیلاب‌ها از مهم‌ترین و فراوان‌ترین مخاطرات ژئومورفیک در کشور محسوب می‌شوند که همه‌ساله خسارت‌های زیادی را برجای می‌گذارند (رضائی‌مقدم و رحیم‌پور، ۱۴۰۲). سیلاب‌ها معمولاً به‌طور ناگهانی شروع می‌شوند و در مدت زمان اندکی خسارت‌های جبران‌ناپذیری بر جای می‌گذارند (رضائی مقدم و همکاران، ۱۳۹۹). تعیین رفتار هیدرولیکی رودخانه‌ها در مقابل سیلاب‌های آینده جهت کاهش خسارات وارده بر تأسیسات شهری و روستایی، اراضی کشاورزی و سایر کاربری‌های موجود، در حواشی رودخانه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند (عسگری و همکاران، ۱۳۹۳). پهنه‌بندی و پیش‌بینی سیلاب می‌تواند یکی از مؤثرترین روش‌های غیر سازه‌ای در مدیریت سیلاب جهت کاهش خطرات و خسارات ناشی از آن باشد (حجازی و همکاران ۱۴۰۳). به‌منظور بررسی رفتار و ویژگی‌های سیل برای دشت‌های سیلابی و خطرات آن‌ها دو نوع رویکرد متمایز وجود دارد: الف) استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های تاریخی ثبت شده (داغاب و علائم سیل) که در مواقع کمبود داده و عدم وجود آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. ب) استفاده از مدل‌های عددی برای شبیه‌سازی جریان‌های سیلابی که مورد اخیر به دلیل توانایی بیشتر در ارائه نتایج خوب، قابل‌قبول‌تر است و انعطاف‌پذیری آن‌ها باعث شده رفتار و ویژگی‌های سیل به‌وضوح مشخص و بررسی شود (ترین و ملکنتین[1]، ۲۰۲۱). نقشه پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب می‌تواند به‌عنوان ابزاری مفید و کارآمد در برنامه‌ریزی مسیر توسعه یک منطقه چه از لحاظ ساخت‌وساز و توسعه زمین‌های کشاورزی و باغات و چه از لحاظ مدیریت مخاطره سیل مورد استفاده قرار گیرد (رضائی‌مقدم و رحیم‌پور، ۱۴۰۲). روش‌های کمی و کیفی متعددی توسط محققان مختلف به‌منظور و تهیه نقشه‌های خطر وقوع سیل ارائه شده است. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره، مدل‌های آماری، الگوریتم‌های یادگیری ماشین و روش‌های هیدرولوژیکی اشاره کرد. مدل‌های هیدرولوژیکی از قبیل HEC-RAS بر اساس یک مکانیسم فیزیکی واضح عمل می‌کنند که فرایند تولید و انتقال سیل را در نظر می‌گیرد (مآ[2] و همکاران، ۲۰۱۹). نتایج حاصل از اجرای این مدل در مدیریت دشت سیلابی و بیمه حوادث ناشی از سیل به‌منظور ارزیابی اثرات تجاوز به مسیر سیلاب به کار گرفته می‌شوند (تات[3]، ۱۹۹۹).

پژوهش‌های خوبی در ارتباط با پهنه‌بندی جریان سیلاب با استفاده از مدل HEC-RAS در ایران و جهان انجام گرفته است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۷) در تحقیقی در رودخانه قره‌سو، در استان اردبیل خطر وقوع سیلاب را در ۷۲ کیلومتر از آن را به دست آورده و به این نتیجه دست یافتند که عرض پهنای سیلابی با دوره بازگشت ۲۵ سال در مواردی به ۵۵۰ متر رسیده و حدود ۱۰۸۵ هکتار از اراضی کشاورزی به زیر آب خواهند رفت. حجازی و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از مدل HEC-RAS و HEC-GEO-RAS پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در حوضه آبریز ورکش چای را انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲۵ و ۵۰ ساله به ترتیب در حدود ۶۳ و ۱۰۰ کیلومتر از مساحت کل حوضه آبریز را تحت پوشش خود قرار دادند. مهرورز و همکاران (۱۳۹۹) سیلاب‌های رودخانه دره ائورت را با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS با افزونه HEC-GEO-RAS در محیط GIS را شبیه‌سازی نموده و به این نتیجه رسیدند که حداکثر عرض پهنای سیل گیر، سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ سال در حدود ۸۹۶ متر بود و ۱۷۴۳ هکتار از زمین‌های واقع در دشت سیلابی زیر آب مغروق می‌شوند. روح‌اللهی و همکاران (۱۴۰۲) در تحقیقی با استفاده از مدل HEC-RAS به پهنه‌بندی و شبیه‌سازی رفتار هیدرولوژیکی سیلاب در زیرحوضه دئفه واقع در استان کرمان پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که مقدار دبی و حجم سیل حاصل از بارش به ترتیب با

[1]-Trinh and Molkenthin
[2] - Ma
[3] -Tate

دوره بازگشت ۲۵ ساله برابر با ۶۸/۱ مترمکعب در ثانیه و ۱۱۵۰/۶ هزار مترمکعب و با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله برابر با ۱۶۲/۷۳ مترمکعب در ثانیه و ۲۹۶۷/۹۹ هزار مترمکعب می‌باشد. ابراهیمی مقدم و همکاران (۱۴۰۳) با استفاده از مدل HEC-RAS نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب را برای رودخانه سغدر، حوضه آبریز شور جیرفت تهیه کردند. نتایج تحقیق نشان داد مساحت سیل‌خیزی برای دوره‌های بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به ترتیب برابر با ۱۵۴، ۱۹۴، ۲۰۸، ۲۲۶، ۲۲۷ و ۲۴۵ هکتار می‌باشد. دورجی[1] و همکاران (۲۰۱۹) با هدف مدل‌سازی سیل رودخانه آموچو[2] با استفاده از HEC-RAS و GIS در تحقیقی به این نتایج دست یافتند که شهر فونتشو لینگ[3] در برابر سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲۵، ۱۰۰ ساله آسیب‌پذیری بالایی دارد. اونگدز[4] و همکاران (۲۰۲۰) با هدف تولید نقشه‌های خطر سیل در پژوهشی در کشور قزاقستان بیان نمودند که روستای ولگو از رویداد سیل ۱۰۰ ساله آسیب‌های قابل‌توجهی خواهد دید. آینالم[5] و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی که در رودخانه موگا انجام گردید، مساحت‌های سیل گیر برای دوره بازگشت‌های ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ را به ترتیب ۱۸، ۲۱، ۲۶، ۳۴، ۴۳ کیلومترمربع گزارش نمودند.

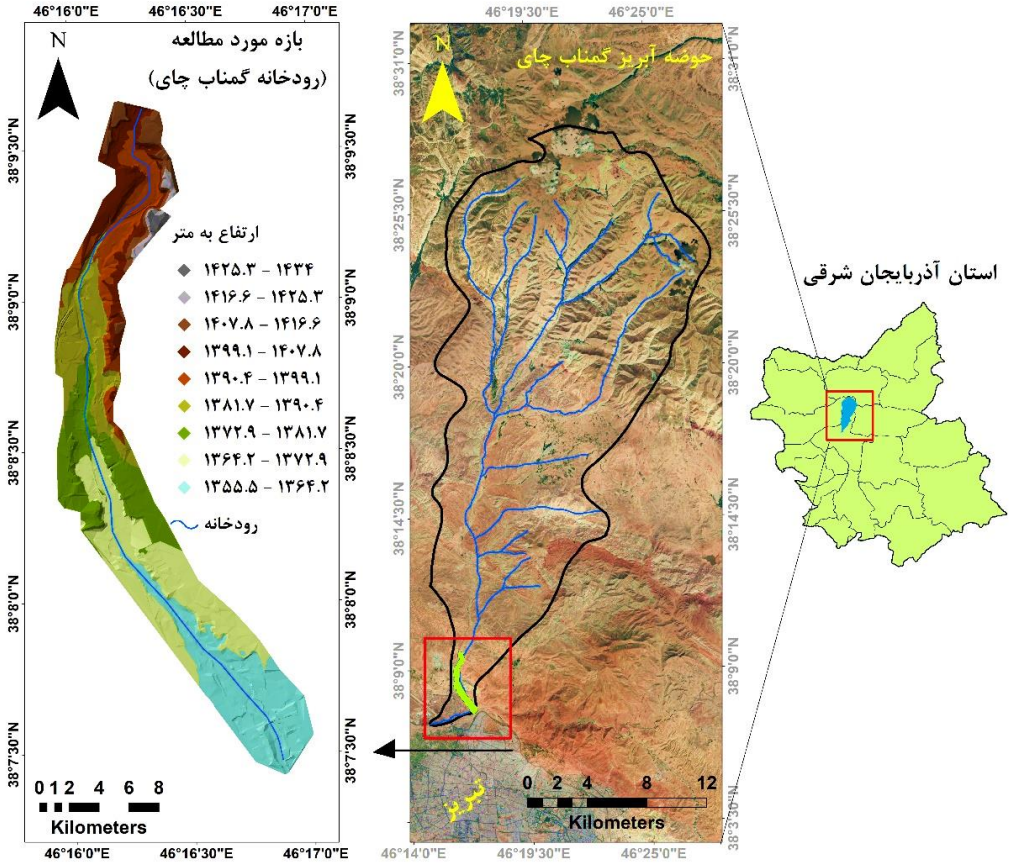
با توجه به موقعیت استقرار اتوبان در دست ساخت تبریز – ارمنستان که در اکثر قسمت‌ها به موازات رودخانه گمناب‌چای امتداد می‌یابد و همچنین توسعه مناطق ویلایی و گردشگری (شکل۲) و مناطق اداری و مسکونی فرودگاه تبریز، مطالعه پهنه‌های سیلابی و تغییرات کاربری اراضی و ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوضه ضروری می‌باشد. منطقه مورد مطالعه دو نوع سیل را نشان می‌دهد: سیل ناگهانی و سیلاب رودخانه. دبی‌های اوج در نتیجه سرریز رودخانه به دنبال بارش طولانی‌مدت باعث طغیان سواحل رودخانه‌های فرعی در دشت‌های پست می‌شود. در میان مناطق اصلی طغیان رودخانه، بخش‌هایی از دشت‌های میانی و پایین‌دست رودخانه گمناب چای، مزارع روستاهای اسپیران و گمانج سفلی و گمانج علیا و کزنق و اولی کندی قرار دارند. همچنین اراضی بالادست پایگاه شکاری تبریز و شرق آناخاتون به علت قرارگیری در پایین‌دست رودخانه مستعد طغیان می‌باشند. بنابراین در پژوهش حاضر تلاش شده است تا نقشه‌های پهنه‌بندی خطر جریان سیلاب برای دوره‌های بازگشت مختلف در طول مسیر رودخانه گمناب چای با استفاده از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS تهیه شود. نقشه‌های تهیه‌شده می‌توانند به‌عنوان ابزاری کارآمد در راستای برنامه‌های آمایش سرزمین جهت توسعه پایدار و همچنین مدیریت مخاطره سیلاب در منطقه، مورد استفاده قرار بگیرند.

منطقه مورد مطالعه

تحقیق حاضر بر روی رودخانه گمناب چای که از حوضه آبریزی با همین نام سرچشمه می‌گیرد انجام گرفته است. این رودخانه اراضی شمال غربی تبریز ،شمال پایگاه شکاری تبریز، شرق آناخاتون تا روستاهای اسپیران ، گمانج، نصرت‌آباد، کزنق و اولی کندی را زهکشی می‌کند. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، این حوضه از نظر موقعیت سیاسی و جغرافیایی در استان آذربایجان شرقی و در شمال غرب ایران بین مختصات ″۵۸ ′۰۶ °۳۸ تا ″۳۸ ′۲۸ °۳۸ عرض شمالی و ″۱۲ ′۱۵ °۴۶ تا ″۰۲ ′۲۸ °۴۶ طول شرقی قرار گرفته است (شکل ۱). مساحت حوضه حدود ۴۲۰ کیلومترمربع است. ارتفاع متوسط این منطقه از سطح متوسط دریا ۱۷۵۰ متر است. دمای سالانه بین ۵- تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد با میانگین ۱۱ درجه سانتی‌گراد متغیر است. طبقات شیب اصلی ۸-۰ درصد (۱۰ درصد از کل مساحت) و ۱۹-۸ درصد (۱۸ درصد از کل مساحت) هستند. شیب تخت و تقریباً رولینگ به ترتیب ۱ و ۴ درصد است. شیب‌های بسیار تند نیز حدود ۱۰ درصد از

[1] -Dorji
[2] -Amochhu
[3] -Phuntsholing city
[4] -Ongdas
[5] - Aynalem

کل منطقه را پوشش می‌دهد. آب‌وهوای منطقه، طبق طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، نیمه‌خشک می‌باشد. و میانگین بارش سالانه آن حدود ۳۰۰ میلی‌متر (اداره کل هواشناسی استان آذربایجان شرقی) است که حداکثر مقدار آن در بهار و حدود ۱۰۰ میلی‌متر نیز در زمستان اتفاق می‌افتد. حداکثر ارتفاع منطقه ۲۸۲۷ متر در ارتفاعات شمالی منطقه و حداقل ارتفاع نیز در خروجی حوضه برابر ۱۳۵۲ متر از سطح دریاست. حوضهٔ آبریز گمناب چای یکی از زیرحوضه های حوضه آبریز دریاچه ارومیه محسوب می‌شود. این منطقه در شمال غربی شهر تبریز و در قسمت شمالی پایگاه شکاری و فرودگاه تبریز قرار گرفته است و آب‌های خروجی از حوضه در شرق فرودگاه تبریز به رودخانه آجی‌چای می‌پیوندند.



شکل۱: موقعیت حوضه آبریز گمناب چای و بازه مورد مطالعه در استان آذربایجان شرقی و ایران

شکل ۲: ویلاسازی و گسترش باغات در حاشیه رودخانه گمناب چای

مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر جهت پهنه‌بندی خطر سیلاب در طول مسیر رودخانه گمناب چای از مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۲متر، اطلاعات داده‌های ایستگاه هیدرومتری آناخاتون شامل حداکثر دبی‌های ثبت شده در طول آماری بلندمدت (از سال ۱۳۵۴ تا ۱۳۹۹)، نرم‌افزار هیدرودینامیکی HEC-RAS، الحاقیه HEC-GeoRAS و نرم‌افزار ArcGIS به تناسب نیاز استفاده شده است.

مدل HEC-RAS

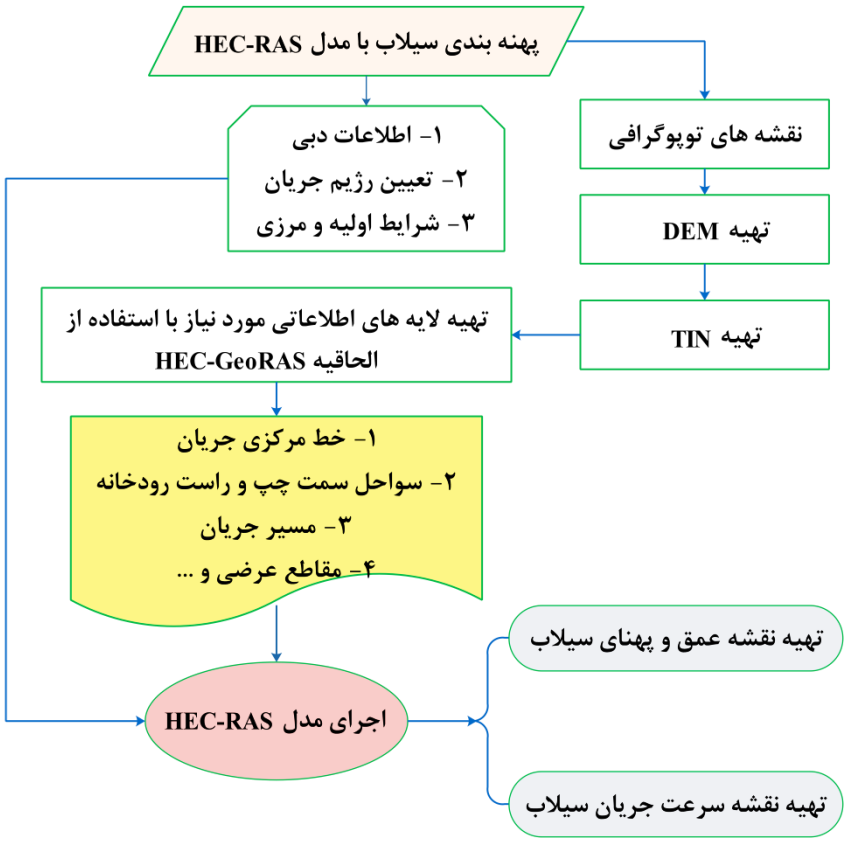
HEC-RAS از پرکاربردترین مدل‌های ترسیم نقشه‌های پهنه‌بندی سیل در دوره بازگشت‌های مختلف و تجزیه‌وتحلیل جریان در رودخانه‌ها و کانال‌ها می‌باشد (ختاک[1] و همکاران، ۲۰۱۶). به‌عبارت‌دیگر HEC-RAS نرم‌افزاری است که به کاربران این امکان را می‌دهد که با انجام محاسبات هیدرولیک در حالت جریان ماندگار و غیر ماندگار به شبیه‌سازی رودخانه بپردازند (حکمتی فر و همکاران، ۱۳۸۸). در این مدل چهار مؤلفه تحلیل یک‌بعدی برای یک رودخانه متصور می‌شود: ۱- محاسبات مربوط به پروفیل سطح آب جریان ماندگار؛ ۲- شبیه‌سازی جریان غیر ماندگار؛ ۳- محاسبات انتقال رسوب مرزی متحرک؛ ۴- تحلیل کیفیت آب (HEC, 2010). در مدل HEC-RAS جهت پهنه‌بندی سیلاب برای دوره‌های بازگشت مختلف، اطلاعات اولیه زیر برای ورود به نرم‌افزار موردنیاز است: ۱- اطلاعات هیدرولیکی شامل ضرایب زبری بستر آبراهه اصلی و سواحل سمت چپ و راست رودخانه، پلان رودخانه، مقاطع عرضی رودخانه۲- اطلاعات توپوگرافی از قبیل پروفیل طولی و عرضی رودخانه ۳- اطلاعات جریان سیل از قبیل دبی با دوره بازگشت‌های مختلف. در تحقیق حاضر، به‌منظور محاسبات مربوط به دبی‌های با دوره‌های بازگشت مختلف از اطلاعات ایستگاه هیدرومتری آناخاتون استفاده شده است. جهت تعیین ضریب زبری مانینگ از معادلهٔ معروف کاون (۱۹۵۶) استفاده می‌شود. به این صورت که ابتدا بر اساس جداول موجود، ضریب مانینگ اولیه تخمین زده می‌شود؛ سپس با توجه به دیگر شرایط حاکم بر رودخانه در مقاطع مختلف، تأثیر عوامل دیگر مانند پوشش گیاهی، وجود موانع، درجه ناهمواری و شکل مسیر اعمال و ضرایب مانینگ مطابق معادلهٔ ذیل اصلاح می‌شود.

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)n_5 \qquad (۱)$$

که در این معادله n: ضریب مانینگ ترکیبی، n0: ضریب مانینگ مربوط به دانه‌بندی مواد بستر، n1: ضریب مانینگ مربوط به درجهٔ ناهمواری در سطح بستر رودخانه، n2: ضریب مانینگ مربوط به تغییرات مقطع رودخانه، n3: ضریب مانینگ مربوط به موانع موجود در مسیر رودخانه، n4: ضریب مانینگ مربوط به پوشش گیاهی و n5: ضریب مانینگ مربوط به درجهٔ انحنای مسیر رودخانه می‌باشد. در مدل HEC-RAS، ژئومتری رودخانه توسط مقاطع عرضی و فاصله این مقاطع از یکدیگر معرفی می‌گردد و از سوی دیگر در هر مقطع عرضی کلیه پارامترهای هیدرولیکی جریان موردمحاسبه قرارگرفته و به‌صورت جداول هیدرولیکی و نمایش گرافیکی ارائه می‌شوند. جهت ترسیم پروفیل سطح آب توسط در محل مقاطع عرضی به دبی حداکثر لحظه‌ای سیل با دوره‌های بازگشت مختلف نیاز می‌باشد. در نرم‌افزار HEC-RAS پس از وارد کردن داده‌های هندسی و داده‌های جریان ماندگار، برای انجام شبیه‌سازی باید نوع رژیم جریان را مشخص کرد. نوع جریان در رودخانه‌ها به‌طورکلی ممکن است زیربحرانی، فوق بحرانی و یا مختلط باشد. در رودخانه‌های کوهستانی معمولاً جریان فوق بحرانی و در رودخانه‌های سیلاب‌دشتی نوع جریان زیربحرانی می‌باشد (رضایی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۷). در مدل HEC-RAS پهنه سیلاب به‌صورت رقوم سطح آب محاسبه و در محل مقاطع عرضی نمایش داده می‌شود. از تلفیق

[1] -Khattak

TIN، پهنه سیلاب در محیط GIS ارائه می‌شود. به‌طورکلی بستر و حریم رودخانه برای سیلاب‌های با دوره بازگشت‌های مختلف طراحی می‌شود (شیخ علیشاهی و همکاران، ۱۳۹۵).



شکل ۳: فلوچارت پهنه‌بندی سیلاب بر اساس مدل HEC-RAS

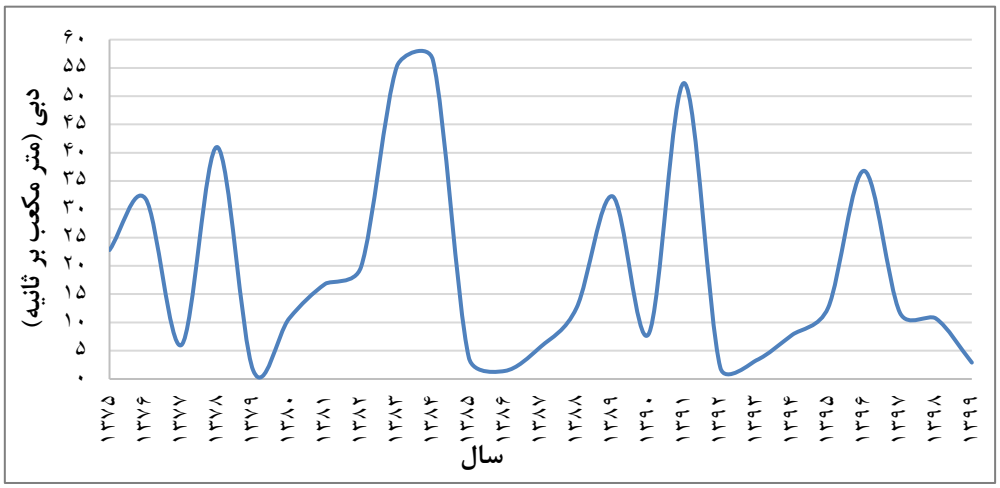
یافته‌ها و بحث

در تحقیق حاضر از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS به‌منظور پهنه‌بندی سیلاب‌های رودخانه گمناب چای به طول تقریبی ۵ کیلومتر از روستای آناخاتون تا محل تلاقی رودخانه آجی چای استفاده شد. جهت پهنه‌بندی سیلاب برای دوره‌های بازگشت مختلف از آمار بلندمدت دبی حداکثر روزانه ایستگاه هیدرومتری آناخاتون برگرفته از شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی (۹۹-۱۳۵۴) و از نرم‌افزار EasyFit و روش آماری توزیع پیرسون تیپ ۳ استفاده شد. نتایج پیش‌بینی دبی‌های حداکثر برای دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ سال در جدول (۱) ارائه شده است. بررسی دبی‌های پیش‌بینی نشان می‌دهد که حداکثر دبی پیش‌بینی‌شده برای دوره بازگشت ۵ ساله نسبت به دوره ۲ ساله بیش از دو برابر بوده که بیانگر وضعیت سیلابی رودخانه گمناب چای می‌باشد. مقادیر حداکثر دبی‌های روزانه ثبت‌شده در ایستگاه هیدرومتری آناخاتون بین سال‌های ۹۹-۱۳۷۵ (آخرین سال آماری که اطلاعات دبی رودخانه ثبت شده است مربوط به سال ۱۳۹۹ بوده است) در شکل ۴ آورده شده است.

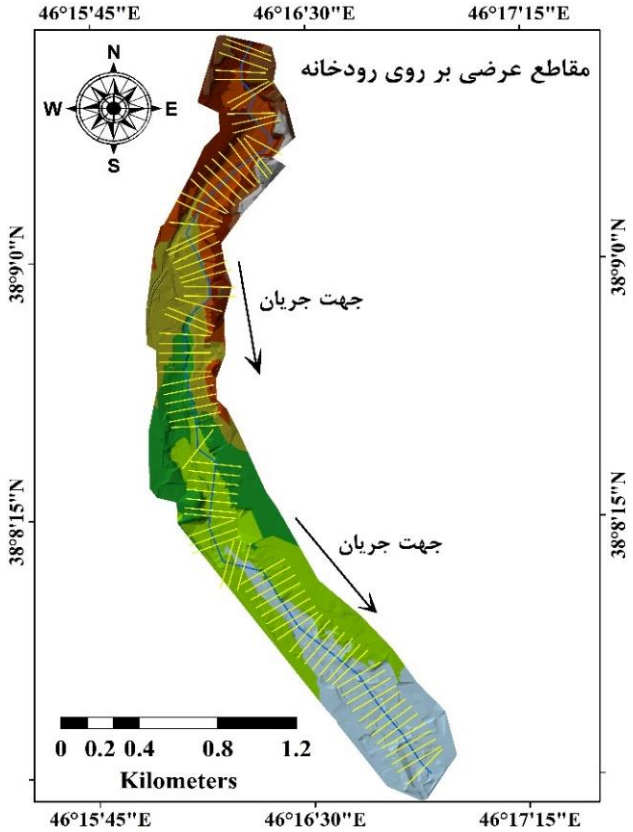
جدول ۱:حداکثر دبی‌های سیلابی پیش‌بینی‌شده برای دوره‌های بازگشت مختلف

دوره بازگشت	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	۵۰۰
دبی (m^3/s)	۱۷/۵	۳۷/۷	۵۵/۶	۸۳/۴	۱۰۷/۸	۱۳۵/۳	۱۶۶/۲	۲۱۲/۵

در ادامه جهت تعیین مشخصات هندسی رودخانه گمناب چای و تهیه لایه های خط مرکزی جریان، سواحل سمت راست و چپ رودخانه، دشت سیلابی و مقاطع عرضی از نرم‌افزار ArcGIS و الحاقیه HEC-GeoRAS استفاده شد. این لایه‌ها با استفاده از لایه شبکه نامنظم مثلثی (TIN) تهیه شدند. در تحقیق حاضر با انجام بازدیدهای میدانی و استفاده از لایه DEM و شیب، ۸۶ مقطع عرضی به فاصله ۵۰ متر و عرض ۲۶۰ متر بر روی رودخانه گمناب چای ایجاد شد شکل(۵). همچنین بازدیدهای میدانی در طول بازه مورد مطالعه نشان می دهد که اراضی حاشیه رودخانه مورد بهره برداری اهالی منطقه قرار گرفته و به مناطق ویلایی و باغات تبدیل شده است.

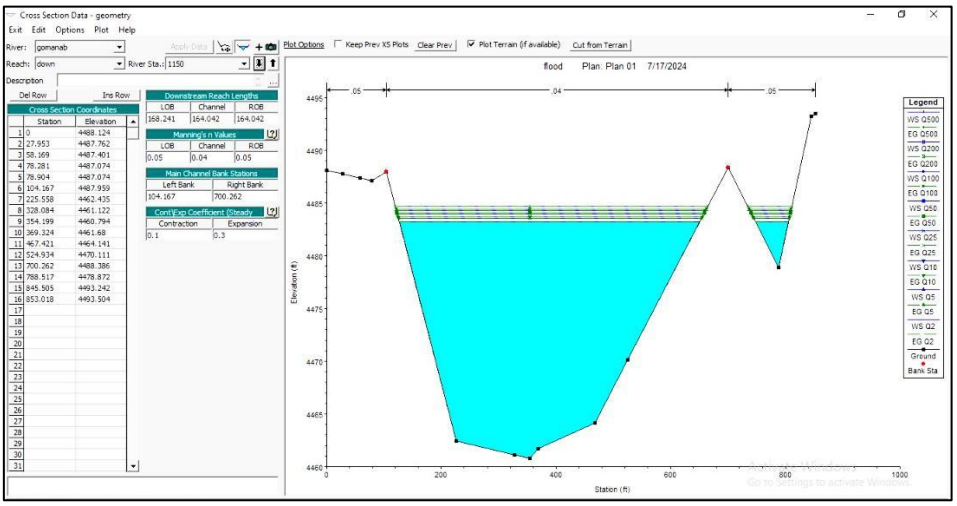


شکل ۴: دبی‌های پیک روزانه ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری آناخاتون بین سال های ۱۳۷۵-۱۳۹۹



شکل ۵: مقاطع عرضی ترسیم شده با استفاده از الحاقیه HEC-GeoRAS

جهت تعیین مقادیر ضرایب زبری مانینگ بستر و سواحل سمت چپ و راست رودخانه گمناب چای از نقشه کاربری اراضی و بررسی های میدانی استفاده شد. در ادامه از جدول کاون استفاده شده و مقادیر ضریب زبری محاسبه گردید. نتایج این بخش نشان داد که ضریب زبری بستر رودخانه عدد ۰/۰۴ و برای سواحل سمت چپ و راست نیز ۰/۰۵ می‌باشد. سه نوع جریان زیر بحرانی[1]، جریان فوق بحرانی[2] و جریان مختلط[3] برای تعیین نوع رژیم جریان رودخانه‌ها تعریف می‌شود. در بازه مورد مطالعه با توجه به اینکه رودخانه گمناب چای در محدوده دشتی جریان دارد و شیب آن از بالادست تا محل تلاقی رودخانه آجی چای تغییرات آنچنانی را نشان نمی‌دهد، نوع جریان برای آن مختلط در نظر گرفته شده است. شکل ۶ نمونه‌ای از مقطع عرضی و سطوح سیلابی را برای دوره‌های بازگشت مختلف ارائه می‌دهد. بررسی این شکل نشان می‌دهد که با افزایش دوره‌های بازگشت، مقادیر دبی لحظه‌ای نیز افزایش یافته و در نتیجه سطوح سیلابی نیز گسترش یافته است.

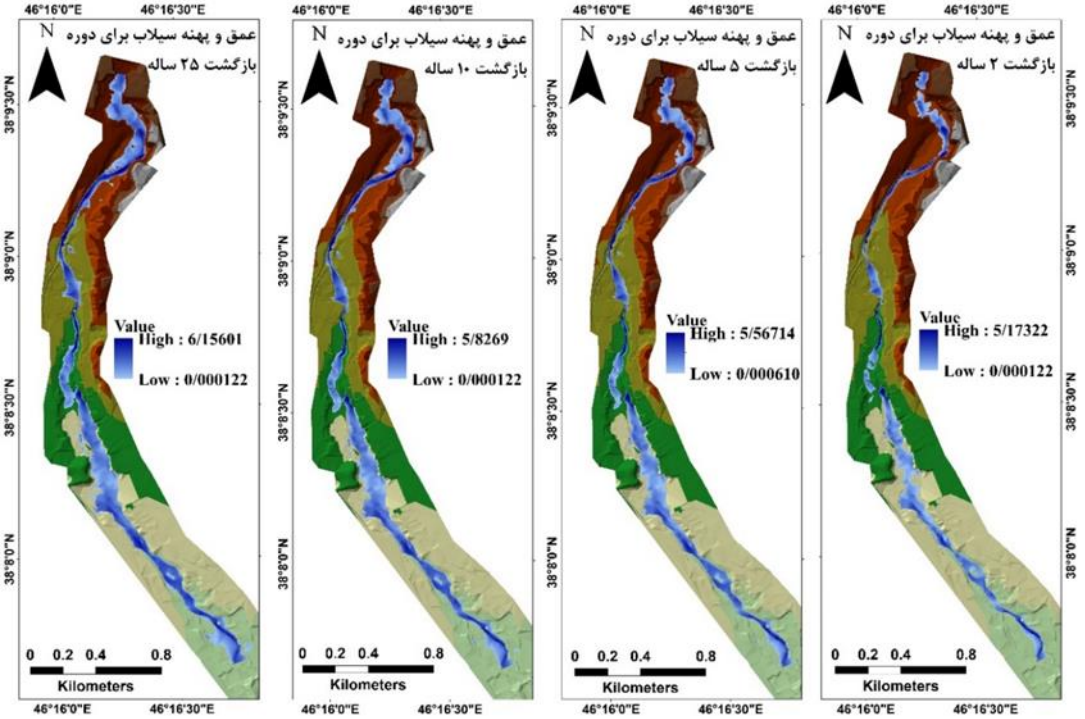


شکل ۶: نمونه ای از پروفیل عرضی رودخانه و سطوح سیلابی برای دوره‌های بازگشت مختلف

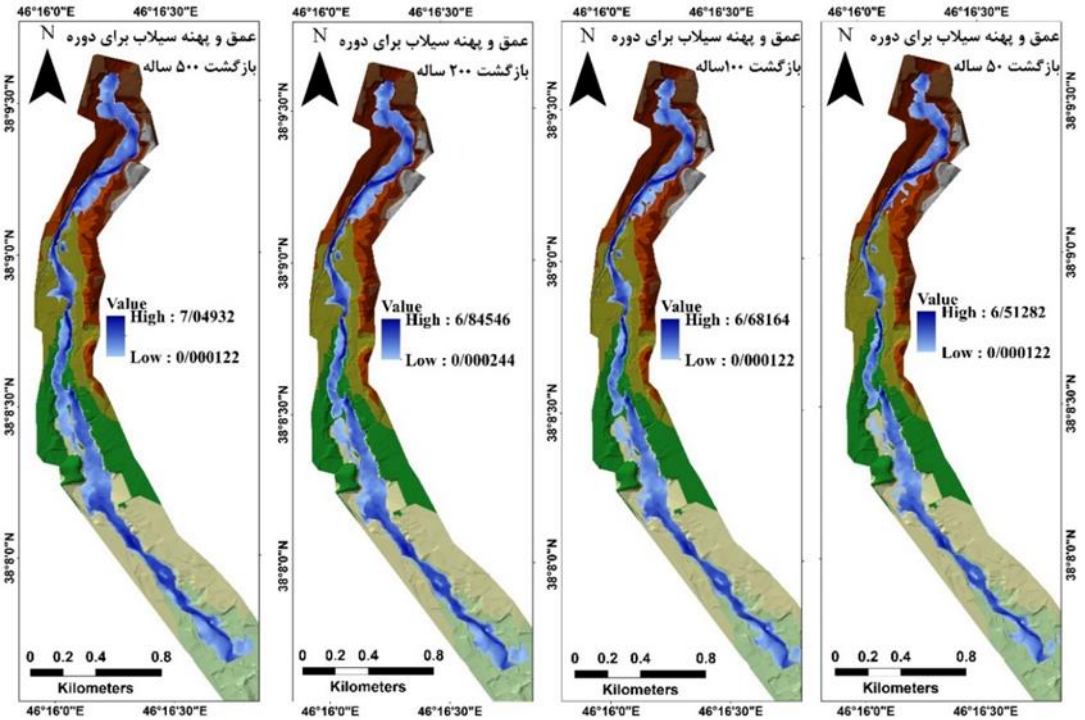
در ادامه با تکمیل اطلاعات و تهیه لایه‌های مورد نیاز با استفاده از الحاقیه HEC-GeoRAS، پهنه‌بندی جریان سیلاب برای دوره‌های بازگشت مختلف در محیط نرم‌افزار HEC-RAS انجام شد. نقشه پهنه‌های سیلابی رودخانه گمناب چای در طول بازه مورد مطالعه برای دوره‌های بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ ساله در شکل‌های ۷ و ۸ ارائه شده است. بررسی این نقشه‌ها نشان می‌دهد که تغییرپذیری مکانی خطر سیلاب در امتداد این رودخانه تا حدودی زیاد می‌باشد. این تغییرپذیری، نشأت گرفته از شرایط ژئومورفولوژیکی متغیر در امتداد رودخانه می‌باشد. همچنین نتایج نشان دادند که سیلاب‌های با دوره بازگشت دو و پنج سال، خطری جدی را برای جوامع و تأسیسات انسانی ساکن در مجاور رودخانهٔ گمناب چای به همراه ندارند و عمدتاً اراضی کشاورزی حاشیهٔ رودخانه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. به این صورت که در این دوره‌ها رودخانه عمدتاً در بستر خود حالت سیلابی به خود می‌گیرد. با افزایش دوره‌های بازگشت سیلاب، خطر ناشی از سیلاب‌ها نیز افزایش خواهد یافت. تعیین محدوده آب‌گرفتگی رودخانه و زمین‌های اطراف آن از مهم‌ترین نتایج مطالعات هیدرولیکی رودخانه محسوب می‌شود. در واقع هدف مطالعات حاضر تعیین حدود بستر رودخانه در شرایط سیلابی

[1] - *Sub Critical*
[2] - *Super Critical*
[3] - *Mixed*

می‌باشد. محاسبه مساحت پهنه‌های سیلابی برای دوره‌های بازگشت مختلف نشان می‌دهد که در دوره‌های بازگشت ۱۰، ۲۵ و ۵۰ ساله حدود ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۷۵ هکتار از اراضی اطراف رودخانه دچار سیل گرفتگی می‌شوند.

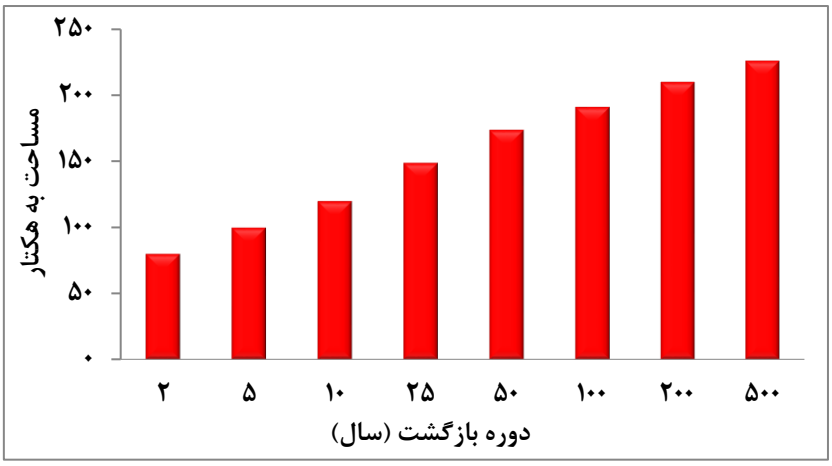


شکل ۷: عمق و پهنه سیلاب با دوره بازگشت ۲، ۵، ۱۰ و ۲۵ ساله



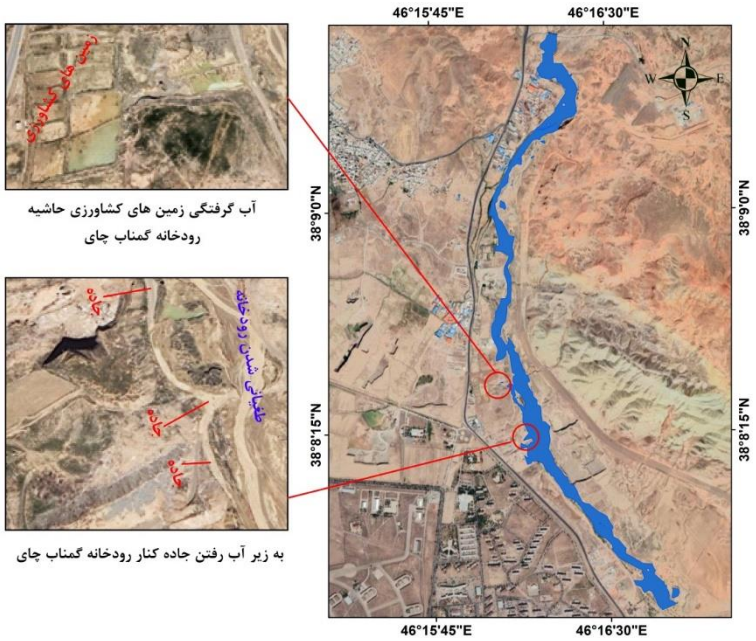
شکل ۸: عمق و پهنه سیلاب با دوره بازگشت ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ ساله

شکل ۹ مساحت پهنه‌های سیلابی را برای بازه مورد مطالعه در دوره‌های بازگشت مختلف نشان می‌دهد. بررسی این نمودار نشان می‌دهد که مساحت پهنه‌های سیلابی با افزایش دوره‌های بازگشت همبستگی مثبتی دارد. به این صورت که با افزایش دوره‌های بازگشت، مساحت پهنه‌های سیلابی نیز روند افزایشی را نشان می‌دهد.



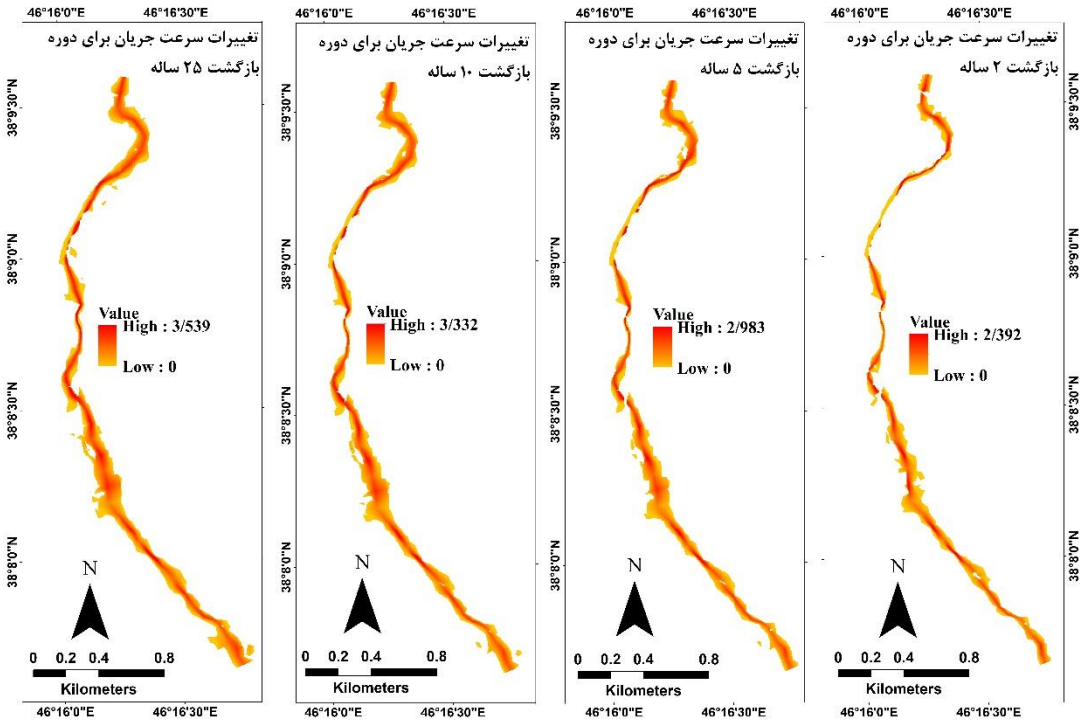
شکل ۹: مساحت پهنه‌های سیلابی برای دوره‌های بازگشت مختلف

شکل ۱۰ پهنه سیلابی پیش‌بینی‌شده برای دوره بازگشت ۲۵ ساله را بر روی تصویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود ساختمان‌ها و تأسیسات زیادی در امتداد رودخانه شکل گرفته‌اند که در معرض تهدید سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ ساله قرار دارند. برای نمونه زمین‌های کشاورزی و جاده‌ای که در سیلاب فروردین ماه ۱۳۹۶ دچار آب‌گرفتگی شده‌اند نیز با بزرگنمایی بیشتر نشان داده شده است. مقایسه این پهنه‌ها با نتایج مدل HEC-RAS نشان می‌دهد که این مدل با دقت خوبی توانسته است پهنه‌های سیلابی را پیش‌بینی کند.

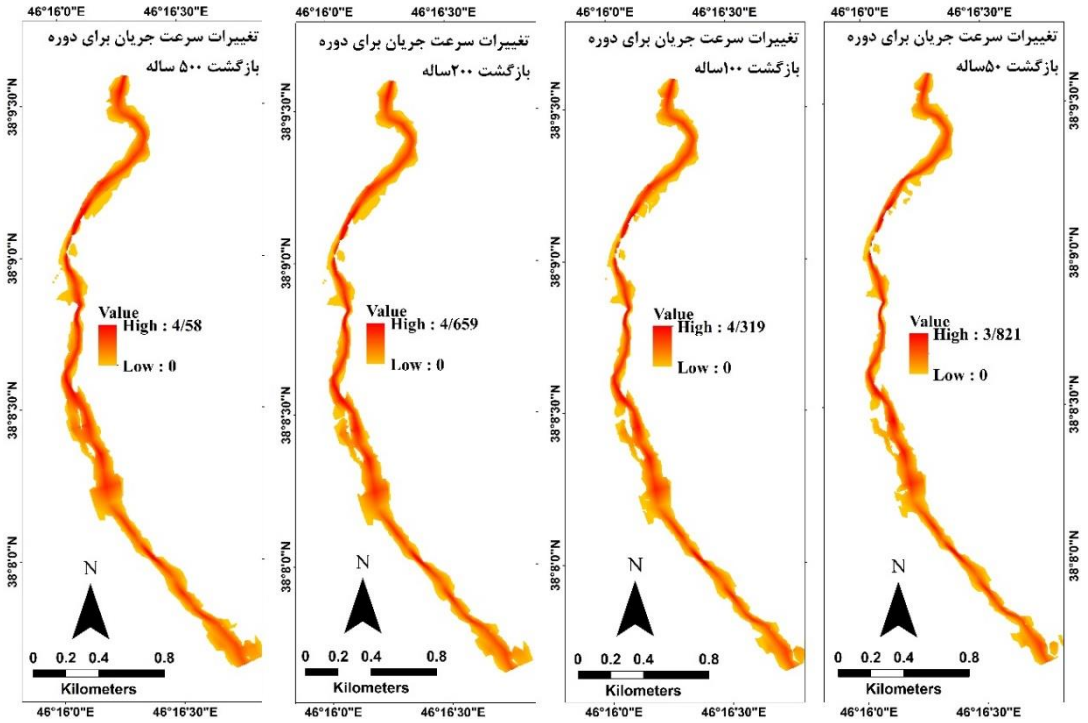


شکل ۱۰: پهنه سیلابی برای دوره بازگشت ۲۵ سال و مناطق دچار آب‌گرفتگی

پارامتر سرعت جریان در واقع تعیین‌کننده نوع جریان و معرفی پتانسیل فرسایش‌پذیری یا رسوب‌گذاری در محدوده‌های مختلف رودخانه می‌باشد. در مطالعات هیدرولیک سرعت متوسط رودخانه با توجه به ضریب مانینگ در مقاطع مختلف محاسبه شده و می‌تواند در رفتارشناسی رودخانه و نحوه تغییرات آن کمک شایان توجهی نماید. در واقع سرعت و تنش جریان و مقایسه آن با سرعت و تنش‌های بحرانی در بازه‌های مختلف رودخانه که بر اساس دانه‌بندی بستر آن قابل محاسبه است می‌تواند قدرت فرسایش یا رسوب‌گذاری رودخانه را تشخیص داد (ثقفی و رضائی‌مقدم، ۱۳۹۶). شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نشان‌دهنده نقشه‌های سرعت جریان را برای دوره‌های بازگشت مختلف نشان می‌دهد. بررسی این نقشه‌ها بیانگر این است که سرعت جریان در تمامی دوره‌های بازگشت یک روند کاهشی را از بالادست رودخانه به سمت پایین‌دست نشان می‌دهد. علت اصلی این کاهش می‌تواند به دلیل کاهش شیب کانال رودخانه باشد.



شکل ۱۱: سرعت جریان سیلاب (متر بر ثانیه) با دوره بازگشت ۲، ۵، ۱۰ و ۲۵ ساله



شکل ۱۲: سرعت جریان سیلاب (متر بر ثانیه) با دوره بازگشت ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ ساله

نتیجه‌گیری

رودخانه گمناب چای یکی از رودخانه‌های فصلی واقع در شمال غربی شهر تبریز می‌باشد که در طی سال‌های اخیر با توجه به تغییر کاربری و چرای بی‌رویه مراتع، مستعد وقوع رخداد سیلاب‌های بزرگی می‌باشد. لذا در این پژوهش سیلاب‌های رودخانه گمناب چای با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS و در محیط GIS مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت و پراکنش فضایی این سیلاب‌ها با در نظر گرفتن دوره‌های بازگشت مختلف پهنه‌بندی شد. در این پژوهش رودخانه گمناب چای به طول تقریبی ۵ کیلومتر (از روستای آناخاتون تا محل تلاقی رودخانه آجی چای) مورد مطالعه قرار گرفت. طی مطالعات میدانی صورت گرفته مشخص شد که تصرفات محدوده بستر و حریم رودخانه گمناب چای سبب تنگ‌شدگی مجرای رودخانه شده و در نتیجه خطر وقوع سیلاب‌های مخرب در این محدوده دور از انتظار نیست. تحلیل‌های انجام‌گرفته با نرم‌افزار HEC-RAS نشان داد که در سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ ، ۲۰۰ و ۵۰۰ ساله به ترتیب ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۹، ۱۷۴، ۱۹۱، ۲۱۰ و ۲۲۶ هکتار از اراضی حاصل خیز دشت سیلابی با مخاطره سیلاب مواجه خواهند بود. به‌عبارت‌دیگر افزایش مساحت پهنه‌های سیل گیر رودخانه تا دوره بازگشت ۱۰۰ ساله نسبت به دوره‌های بازگشت بالاتر شدیدتر می‌باشد. همچنین خروجی پراکنش مکانی سیلاب‌های پهنه‌بندی شده نشان می‌دهد که در صورت وقوع سیلاب‌های با دوره‌های بازگشت ۱۰۰ و ۲۰۰ ساله مناطق مسکونی و صنعتی حاشیه روستای آناخاتون، در معرض مخاطره سیلاب قرار خواهند گرفت. مقایسه سیلاب‌های ثبت‌شده در ایستگاه هیدرومتری آناخاتون با نتایج سیلاب‌های شبیه‌سازی‌شده با دوره‌های بازگشت مختلف در مدل HEC-RAS و پراکنش مکانی آن در محیط GIS نشان‌دهنده مطابقت این دو با یکدیگر می‌باشد که این امر دقت بالای پهنه‌بندی سیلاب توسط این مدل را نشان می‌دهد. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر با نتایج پژوهشگرانی همچون راد و همکاران (۱۳۹۷)، دامادی و همکاران (۱۴۰۰) و اسفندیاری درآباد و همکاران (۱۴۰۱) مطابقت دارد. این پژوهشگران استفاده از مدل HEC-RAS را روشی مناسب برای پهنه‌بندی جریان سیلاب برای دوره‌های بازگشت مختلف معرفی کرده‌اند، که نتایج به‌دست آمده از این پژوهش نیز این

مطلب را تأیید می‌کند. لذا با توجه به دخل و تصرف صورت گرفته در محدوده بستر و حریم رودخانه توسط ویلاسازی‌ها و صنایع و کارگاه‌های کوچک، بایستی مدیریت دشت سیلابی و آزادسازی اراضی اطراف رودخانه جهت مدیریت هر چه بهتر مخاطره سیلاب در دستور کار متولیان امر باشد.

منابع

- ابراهیمی مقدم، فهیمه؛ موسی اکبری، احمد؛ کردی کریم‌آبادی، فاطمه، ۱۴۰۳، پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از مدل دوبعدی *HEC-RAS* و نرم‌افزار *GIS* (منطقه مورد مطالعه : رودخانه سغدر، حوضه آبریز شور جیرفت)، ششمین کنفرانس بین‌المللی و هفتمین کنفرانس ملی عمران، معماری، هنر و طراحی شهری، تبریز، ایران.
- اسفندیاری درآباد، فریبا؛ نظافت تکله، بهروز؛ پاسبان، امیرحسام، ۱۴۰۱، شبیه‌سازی مورفولوژیکی وقوع سیلاب در رودخانه نوران چای با استفاده از مدل هیدرولیکی *HEC-RAS*. پژوهش‌های فرسایش محیطی، شماره ۴۷. صص ۱۹۰-۲۱۰.
- حجازی، اسدالله؛ نگهبان، سعید؛ موسوی، سیده معصومه؛ امین زاده، محمد هادی، ۱۴۰۳، بررسی و پهنه‌بندی خطر سیلاب حوضه‌های آبریز شهری با استفاده از مدل‌های فازی ویکور و روش خطی وزنی (مطالعه موردی: حوضه آبریز ایذه- خوزستان)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال ۱۳، شماره ۲.
- حجازی، اسداله؛ خدائی قشلاق، فاطمه؛ خدائی قشلاق، لیلا، ۱۳۹۸، پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در حوضه‌ی آبریز ورکش چای با استفاده از نرم‌افزار *HEC-RAS* و الحاقیه *HEC-GEO-RAS*. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۵۳، صص ۵۶-۱۳۷.
- حکمتی فر، حسین؛ نظریها، مهرداد؛ گیوه چی، سعید (۱۳۸۸). ارزیابی خسارات کشاورزی ناشی از سیلاب با استفاده از مدل‌سازی *HEC-RAS* و *ARC View*، علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، سال ۱۱، شماره ۴، صص ۱۰۸-۹۵.
- دامادی، سکینه؛ دهواری، عبدالحمید؛ دهمرده قلعه نو، محمدرضا؛ ابراهیمیان، محبوبه، ۱۴۰۰، پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از مدل هیدرولیکی *HEC-RAS* در رودخانه سرباز استان سیستان و بلوچستان، مهندسی و مدیریت آبخیز، سال ۱۳، شماره ۳، ۶۰۱-۵۹۰.
- راد، مژگان؛ وفاخواه، مهدی؛ غلامعلی فرد، مهدی، ۱۳۹۷، پهنه‌بندی سیل با استفاده از مدل هیدرولیکی *HEC-RAS* در پایین‌دست حوزه آبخیز خرم‌آباد، مخاطرات محیط طبیعی، سال ۷، شماره ۱۶، ۲۲۶-۲۱۱.
- رضائی مقدم، محمدحسین؛ حجازی، سیداسداله؛ ولیزاده کامران، خلیل؛ رحیم‌پور، توحید، ۱۳۹۹، بررسی حساسیت سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز با استفاده از شاخص‌های هیدروژئومورفیک (مطالعه موردی: حوضه آبریز الندچای، شمال غرب ایران)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال نهم، شماره ۲. صص ۲۱۴-۱۹۵. *10.22034/gmpj.2020.118241*
- رضائی مقدم، محمدحسین؛ مهدی، یاسی؛ نیکجو، محمدرضا؛ رحیمی ، مسعود، ۱۳۹۷، پهنه‌بندی و تحلیل مورفولوژیکی سیلاب‌های رودخانه قره‌سو با استفاده از مدل هیدرودینامیکی *HEC-RAS* (از روستای پیرازمیان تا تلاقی رودخانه اهر چای). جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۲۵، صص ۱۵-۱.
- رضائی‌مقدم، محمدحسین؛ رحیم‌پور، توحید، ۱۴۰۲، تهیهٔ نقشهٔ پتانسیل خطر وقوع سیل با استفاده از دو روش نسبت فراوانی و شاخص آماری (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبریز آجی‌چای)، مدیریت مخاطرات محیطی سال۱۰، شماره ۴، صص ۳۰۸-۲۹۱. *10.22059/jhsci.2024.369163.803*
- روح اللهی، ماجده؛ سرائی تبریزی، مهدی؛ بابازاده، حسین، ۱۴۰۲، پهنه‌بندی و شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی سیلاب با استفاده از نرم‌افزار *HEC-RAS*، مهندسی آبیاری و آب ایران، سال ۱۴، شماره ۵۳، صص ۲۱۴-۲۰۲.
- شیخ علیشاهی، نجمه؛ علی‌اکبر، جمالی؛ محمد، حسن‌زاده نفوتی، ۱۳۹۵، پهنه‌بندی سیل با استفاده از مدل هیدرولیکی رودخانه (مطالعه موردی : حوضه آبریز منشاد- استان یزد)، فضای جغرافیایی اهر، سال شانزدهم، شماره ۵۳، صص۹۶-۷۷.
- عسگری، شمس اله؛ احمدی، مهدی؛ همتی، موسی، ۱۳۹۳، فرسایش کناری رودخانه چرداول با استفاده از مدل *HEC-RAS* و *GIS*، تحقیقات جغرافیایی، سال ۳۰، شماره ۱۱۶، صص ۸۰-۷۱.

- مهرورز، ارسلان؛ مددی، عقیل؛ اسفندیاری در آباد، فریبا؛ رحیمی، مسعود، ۱۳۹۹، شبیه‌سازی سیلاب‌های رودخانه دره ائورت با استفاده از مدل هیدرولیکی *HEC-RAS* در محیط *GIS* (محدوده مورد مطالعه: از روستای شورستان تا تلاقی رودخانه ارس). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۴، صص ۱۳۱-۱۴۶.
- *Aynalem SB., 2020. Flood Plain Mapping and Hazard Assessment of Muga River by Using ArcGIS and HEC-RAS Model Upper Blue Nile Ethiopia. Landscape Architecture and Regional Planning 5: 74-85.*
- *Dorji K, Dorji K, Choosumrong S., 2019. River Flood modeling of Amochu River using GIS and HEC-RAS: A case study in Phuntsholing city, Chukha, Bhutan. Naresuan University.*
- *HEC (Hydrologic Engineering Center). 2010. HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual. U. S. Army Corps of Engineers.*
- *Khattak MS, Anwar F, Saeed TU, Sharif M, Sheraz K, Ahmed A., 2016. Floodplain mapping using HEC-RAS and ArcGIS: A case study of Kabul River. Arabian Journal for Science and Engineering, 41, 1375- 1390.*
- *Ma, M.. Liu, C., Zhao, G., Xie, H., Jia, P., Wang, D., Wang, H., Hong, Y., 2019. Flash Flood Risk Analysis Based on Machine Learning Techniques in the Yunnan Province, China. Remote Sens 11: 170. https://doi.org/10.3390/rs11020170.*
- *Nikoo,m. R,M. et al. 2020. Analyses of land use land cover (LULC) change and built-up expansion in the suburb of a metropolitan city: Spatio-temporal analysis of Delhi NCR using landsat datasets. Journal of Urban Management 9 (2020) 347–359.*
- *Ongdas N, Akiyanova F, Karakulov Y, Muratbayeva A, Zinabdin N., 2020. Application of HEC-RAS (2D) for flood hazard maps generation for Yesil (Ishim) river in Kazakhstan. Water 12: 1-20.*
- *Tate, E. 1999. Floodplain Mapping Using HEC-RAS and ArcView GIS. M.S.E thesis. The University of Texas at Austin. 215p.*
- *Trinh, M. X., and Molkenthin, F., 2021. Flood hazard mapping for data-scarce and ungauged coastal river basins using advanced hydrodynamic models, high temporal-spatial resolution remote sensing precipitation data, and satellite imageries. Natural Hazards, 109:441–469.*