

شبیه‌سازی پهنه‌های سیل‌گیر در حوضه‌های آبریز کلان شهر تهران (حوضه کن)

عزت‌اله قنواتی^۱، دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران.

علی احمد آبادی، استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران.

معصومه غلامی، کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران.

پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۱۲/۱۳

دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۸/۲۸

چکیده

دشت‌های سیلابی و مناطق مجاور رودخانه‌ها به دلیل شرایط خاص خود همواره در معرض خطرات ناشی از وقوع سیلاب‌ها قرار دارند. در حوضه رودخانه کن از بسیاری از اراضی مسکونی و زراعی در فاصله بسیار کمی از بستر رودخانه قرار دارند. با توجه به اینکه پایین‌دست حوضه با رشد سریع ساخت و ساز مواجه است، فعالیت‌های انسانی و تغییر کاربری اراضی در این منطقه، سیکل هیدرولوژیکی و تولید رواناب را به شدت متاثر ساخته است. در این تحقیق، سطوح سیل‌گیر در دوره بازگشت‌های ۲ تا ۲۰ ساله در بازه‌های به طول ۲۰ کیلومتر از بستر رودخانه کن با استفاده از مدل HEC-RAS و الحاقیه HEC-geoRAS تعیین گردیده است. به این منظور از نقشه‌های رقومی ۱:۲۵۰۰۰ و DEM ۱۰ متری، آمار دبی ایستگاه سولقان، ویژگی‌های مورفولوژی بستر و مقاطع عرضی استفاده شده است. در نهایت داده‌ها به نرم افزار HEC-RAS وارد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. پس از تعیین حدود سیل‌گیری در دوره بازگشت‌های گوناگون در هر مقطع عرضی، نتایج به محیط Arc GIS وارد و از این طریق خروجی نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب به دست آمده است. نقشه زمین‌شناسی و مشاهدات میدانی نشان داده است که عامل اصلی تفاوت عرض دره در محدوده مورد مطالعه مربوط به جنس سنگ‌ها می‌باشد. نتایج حاصل از خروجی مدل هیدرودینامیکی نشان می‌دهد که در بالادست رودخانه افزایش دبی به شکل افزایش ارتفاع سطح آب بوده و گسترش عرضی کمتری در سطوح سیلاب‌گیر به چشم می‌خورد. اما در بخش‌های میانی و کم شیب پایین دست رودخانه به علت کاهش ارتفاع سطح آب، رودخانه دارای گسترش جانبی بیشتری بوده و پهنه‌های سیل‌گیر در این بخش‌ها نسبت به بالادست رودخانه دارای وسعت بیشتری می‌باشند. همچنین به ازای دوره بازگشت‌های طولانی‌تر میزان دبی و ارتفاع سطح آب افزایش یافته و پهنه سیلابی نیز از وسعت بیشتری برخوردار بوده است.

واژه‌های کلیدی: مخاطرات محیطی، سیلاب، مناطق سیل‌گیر، رودخانه کن، HEC-RAS

مقدمه

سیلاب‌ها از جمله ویرانگرترین و پرهزینه‌ترین مخاطرات محیطی می‌باشند که تهدید کننده امنیت و توسعه پایدار است (Wilby et al, ۲۰۱۲؛ Kundzewich, ۲۰۱۰؛ Jha, ۲۰۱۰). به طوریکه برآورد شده سالانه ۲ تا ۳۰۰ میلیون نفر را در سطح جهان تحت تاثیر خود قرار دهد (Hirabayashi and Kanae, ۲۰۰۹). از طرف دیگر امروزه با روند افزایشی سریع تبدیل حوضه‌های آبخیز غیرشهری به شهری، در نتیجه تغییر کاربری اراضی از حالت طبیعی (کشاورزی، مرتعی و جنگلی) به انسان‌ساخت (مسکونی، صنعتی، تجاری، ورزشی و جاده‌ها و معابر) موضوع پیچیده‌ای تحت عنوان آبخیز شهری رواج یافته است (رزمجویی و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۳۷). این مسئله تاثیر نامطلوبی در هیدرولوژی مناطق شهری گذاشته و موجب تشدید سیلاب‌ها، افزایش آلودگی رواناب، افزایش ضریب رواناب و کاهش تغذیه آب‌های زیرزمینی گردیده است (Feifer and Bennett, ۲۰۱۱). همچنین رشد روزافزون جمعیت و عدم توجه به ظرفیت‌های محیط و استفاده نامناسب از منابع، باعث گسترش خسارات به جوامع مذکور شده و همین مسئله لزوم اعمال مدیریت در سیلاب دشت‌ها را آشکار می‌سازد (برخوردار و چاوشیان، ۱۳۷۹). بنابراین آگاهی از میزان خطرپذیری مناطق مختلف شهری جهت مدیریت سیلاب از جمله دغدغه‌های مدیریت شهری کلان شهر تهران می‌باشد (رزمجویی و همکاران، ۱۳۹۷: ۱، قهرودی تالی و همکاران، ۱۳۹۵: ۲۲). در این زمینه پهنه‌بندی سیلاب با رویکرد هیدرودینامیکی برای دوره‌های بازگشت مختلف بویژه دوره‌های ۱۰۰ ساله یکی از متداول‌ترین نقشه‌هایی است که برای نمایش پتانسیل مخاطرات در دشت‌های سیلابی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Bates, ۲۰۰۵؛ Jafarzadegan et al, ۲۰۱۸).

در حوضه رودخانه کن براساس موقعیت جغرافیایی، کوهستانی بودن و وجود توده‌های هوای تاثیرگذار، امکان وقوع سیلاب بسیار بالا می‌باشد. از آنجایی که بسیاری از اراضی مسکونی و زراعی در فاصله بسیار کمی از بستر رودخانه کن قرار دارند. همچنین با توجه به اینکه پایین‌دست حوضه کن با رشد سریع ساخت و ساز مواجه بوده است، فعالیت‌های انسانی و تغییر کاربری اراضی در این منطقه، سیکل هیدرولوژیکی و تولید رواناب را به شدت متاثر ساخته است. بنابراین افزایش ضریب رواناب، افزایش CN و در نتیجه احتمال وقوع سیل را در حوضه افزایش داده است. به طوری که طی سالیان متمادی (از جمله در سال‌های ۱۳۷۴-۱۳۹۲ و ۱۳۹۴) سیلاب‌های متعددی در حوضه رودخانه کن رخ داده که منجر به خسارات فراوانی شده است.

در زمینه پهنه‌بندی سیلاب و تعیین مناطق سیل‌گیر تاکنون مطالعات متعددی انجام گرفته است. از جمله: هودسن و همکاران (Hudson, et al., ۲۰۰۸) تاثیر مدیریت سیلاب در طول رودخانه راین و پایین دست می‌سی‌سی‌پی (ایالات متحده) را بررسی نموده‌اند که تحلیلی تاریخی و مرکب از رابطه مدیریت سیلاب در پایین دست و بررسی روابط متقابل مدیریت سیلاب و ژئومورفولوژی سیلاب دشت را ارائه داده‌اند. کوک و همکاران (Cook et al, ۲۰۰۹) تاثیر داده‌های توپوگرافیکی، پیکربندی ژئومتریک و انواع روش‌های مدل‌سازی و پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از دو مدل HEC-RAS و FESWMS را در حوضه رودخانه استراودز اجرا کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که مدل‌های دو بعدی محاسبات واقعی‌تر و دقیق‌تری نسبت به مدل یک بعدی دارد. زیرا تغییرپذیری کمتری در پیش‌بینی‌ها نسبت به تغییرات توپوگرافیکی نشان می‌دهد. کیسی و دمیر (Kisi and Demir, ۲۰۱۵) با استفاده از GIS و مدل هیدرولیکی HEC-RAS وقوع سیل در حوضه رودخانه سامسون ترکیه را پهنه‌بندی نمودند. نتایج نشان داده است که اضافه کردن مانع خاکریز و تنظیم پایین دست رودخانه می‌تواند در کاهش خطر سیل در حوضه مورد مطالعه موثر باشد. ساهیری پارسا و همکاران (Sahiriparsa

et al, ۲۰۱۶) مدل‌های تک‌بعدی HEC-RAS و دوبعدی CCHE۲D را به منظور پهنه‌بندی وقوع سیل در حوضه رودخانه سانگای ماکا^۱ در مالزی مورد مقایسه قرار داده‌اند. نتایج نشان داده است که هر دو روش مذکور در پهنه‌بندی سیل کارایی لازم را داشته و تفاوت این مدل‌ها مربوط به شکل رودخانه می‌باشد. خلفاله و سعیدی (۲۰۱۸) (Khalfallah and Saidi, ۲۰۱۸) سیلاب‌های رودخانه مجردا^۲ تونس را با استفاده از مدل HEC-RAS پهنه‌بندی نموده‌اند. آنالیز نتایج نشان داده است که همبستگی مناسبی بین تمامی پارامترهایی مورد استفاده وجود داشته و مدل مذکور توانسته سیلاب‌هایی با دبی بیشتر از $240 \text{ m}^3/\text{s}$ با دوره بازگشت ۱۰، ۲۰ و ۵۰ ساله را بازسازی نماید. یمانی و همکاران (۱۳۹۱) پهنه‌های سیل‌گیر حوضه رودخانه طالقان را با استفاده از مدل HEC-RAS تعیین نموده‌اند. نتایج نشان داده است که حدود ۸۸ درصد از مساحت حوضه مورد مطالعه مستعد سیل‌گیری بواسطه سیل‌های با دوره بازگشت ۲۵ ساله و کمتر می‌باشد. دلیران فیروز و همکاران (۱۳۹۴) خسارات ناشی از سیل در حوضه آبخیز قهرود و قصر را با استفاده از مدل HEC-FIA مورد ارزیابی قرار داده‌اند. نتایج حاکی از اینست که تغییر کاربری اراضی و افزایش ساخت و سازهای بی‌رویه در امتداد و حریم رودخانه قهرود و قصر باعث تغییر ضریب رواناب، ضریب زبری، نفوذپذیری و همچنین تنگ‌شدگی مقطع رودخانه گردیده است. در نتیجه دبی پیک سیلاب‌ها، سطح و عمق پهنه‌های سیل‌گیر افزایش یافته است. شیخ علیشاهی و همکاران (۱۳۹۵) وقوع سیلاب در حوضه آبریز منشاد استان یزد را در دوره بازگشت‌های ۲ تا ۲۰۰ ساله با استفاده از مدل هیدرولیکی تحلیل رودخانه را پهنه‌بندی نموده‌اند. هوشیار پور و همکاران (۱۳۹۵) مدیریت سیلاب در حوضه کن را شبیه‌سازی کرده‌اند. نتایج نشان داده است که ترکیب رویکردهای سازه‌ای (دیوار سیل‌بند و بند تاخیری و غیرسازه‌ای) (آبخیزداری مقاوم سازی و هشدار سیل می‌تواند در مدیریت سیلاب در حوضه مورد مطالعه موثر باشند. قهرودی تالی و همکاران (۱۳۹۵) آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در کلان‌شهر تهران و در محدوده حوضه‌های درکه و کن را بررسی و تصریح کرده‌اند که بیشترین آسیب‌پذیری در خارج از شهر و پیرامون مسیل‌ها رخ می‌دهد. همچنین نتایج نشان داده است که سهم رواناب حوضه کن در وقوع سیلاب نسبت به حوضه درکه بیشتر بوده است. قنواتی و همکاران (۱۳۹۵) در بررسی ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژیک حوضه‌های آبریز کلان شهر تهران، تاکید کرده‌اند که به علت تاثیر خصوصیات فیزیوگرافیک از جمله شکل حوضه‌ها، مساحت، طول کم آبراهه‌های اصلی، وجود اختلاف ارتفاع، زمان تمرکز کم و همچنین تاثیر دخالت‌های انسانی، رواناب‌ها در مدت زمان اندکی وارد پیکره کلان شهر تهران شده و منجر به سیل می‌شوند. رزمجویی و همکاران (۱۳۹۶) تاثیر توسعه شهری بر افزایش دبی پیک جریان و خسارت ناشی از آن را در منطقه ۲۲ کلان شهر تهران مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج این پژوهش حاکی از آنست که شهرسازی و افزایش سطوح نفوذناپذیر موجب کاهش پتانسیل نفوذ آب شده و در نتیجه دبی پیک جریان و حجم سیلاب افزایش یافته است. همچنین در حوضه مورد مطالعه حساسیت سیل‌های کوچک بیشتر از سیل‌های بزرگ بوده است. رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۷) سیلاب‌های رودخانه قره‌سو را با استفاده از مدل هیدرودینامیکی (HEC-RAS) پهنه‌بندی و مسیر رودخانه را به لحاظ مورفولوژی تحلیل نموده‌اند. با توجه به نتایج این پژوهش وقوع سیلاب‌هایی با دوره بازگشت ۲۵ ساله موجب خواهد شد که مساحتی در حدود ۱۰۸۵ هکتار از اراضی کشاورزی و باغات حاشیه رودخانه قره‌سو تحت تاثیر سیلاب قرار گیرند. راد و همکاران (۱۳۹۷) با بکارگیری مدل HEC-RAS پایین دست حوضه آبخیز خرم‌آباد را به لحاظ وقوع سیل مورد ارزیابی قرار داده‌اند. نتایج نشان داده است که به ازای دوره بازگشت‌های طولانی‌تر، میزان دبی بیشتر شده و تغییرات عرضی پهنه

۱. Sungai Maka

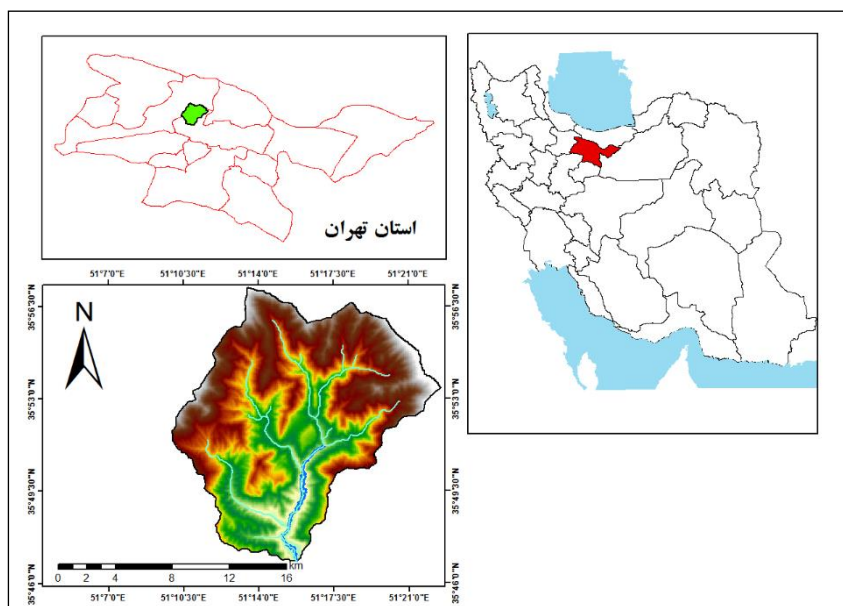
۲. Mejerda

سیلاب از بالادست به قسمت میانی به دلیل افزایش شیب رودخانه، کاهش یافته و سیل در گستره کمتری جریان یافته و در پایین دست به دلیل کاهش شیب و افزایش دبی مقدار عرض جریان افزایش یافته است. پژوهش حاضر با هدف تعیین پهنه‌های سیل‌گیر در امتداد بازه ای به طول حدود ۲۰ کیلومتر در حوضه کن انجام و با استفاده از نرم افزار-HEC RAS سعی شده است اراضی سیل‌گیر در دوره بازگشت های مختلف در حوضه مورد مطالعه تعیین شود.

داده ها و روش کار

• موقعیت محدوده مورد مطالعه

حوضه آبخیز کن در ناحیه کوهستانی البرز مرکزی واقع گردیده است. این حوضه از جنوب به شهر تهران، از شمال به حوضه جاجرود، از شرق به حوضه درکه و از سمت غرب به حوضه رودخانه کرج محدود می‌شود. رودخانه‌های حوضه از مناطق مرتفع سرچشمه گرفته و به همین دلیل از شیب بالایی برخوردار هستند. مهمترین آبراهه حوضه، رودخانه کن می‌باشد که از ارتفاعات مشرف به امامزاده داوود سرچشمه گرفته و تا خروجی حوضه (مناطق مسکونی کن) ادامه دارد. از دیگر آبراهه‌های مهم حوضه می‌توان از لالون، تالون و کشار نام برد. حداکثر و حداقل ارتفاع حوضه به ترتیب ۳۹۰۰ و ۱۴۰۵ متر از سطح دریا می‌باشد. بلندترین ارتفاع منطقه در شمال شرقی و در سرشاخه امام زاده داوود با ارتفاع ۳۹۰۰ متر و پست‌ترین نقطه ۱۴۰۵ متر در محل خروجی رودخانه کن به دشت می‌باشد. مساحت حوضه کن ۱۸۰۹۲ هکتار و شیب متوسط آن ۴۳/۵ درصد می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱. بازه مورد مطالعه در حوضه کن

• روش کار

تحلیل رودخانه انجمن مهندسين ارتش آمريكا (HEC-RAS) نرم افزاری است که به کاربر امکان انجام محاسبات هیدرولیک رودخانه در حالت جریان ماندگار و غیرماندگار را فراهم می‌کند. مدل HEC-RAS شامل سه مؤلفه تحلیل هیدرولیکی یک بعدی برای محاسبات پروفیل سطح آب در حالت جریان ماندگار، شبیه‌سازی جریان غیر ماندگار و محاسبات انتقال رسوب در مرز متحرک می‌باشد. این سه مؤلفه از یک نمایش داده‌های هندسی مشترک و از روند

محاسبات هندسی و هیدرولیکی یکسان استفاده می‌کنند (جبللی فرد و همکاران، ۱۳۸۷). جهت مطالعه سیلاب دشت حوضه کن ابتدا نقشه رقومی با مقیاس مناسب برای شبیه سازی رودخانه و اراضی اطراف با استفاده از اطلاعات توپوگرافی و مدل TIN رودخانه یا به عبارتی مدل سه بعدی رودخانه تهیه گردید. در مرحله بعد با استفاده از الحاقیه HEC-geo-RAS در محیط نرم افزار Arc GIS شبیه سازی هندسی رودخانه یا به عبارتی دیگر خط مرکزی جریان، سواحل کانال اصلی و همچنین مسیر جریان ترسیم شدند. برای نمایش شکل کلی رودخانه، مقاطع عرضی در فواصل مناسب از کناره چپ به سوی کناره راست بر روی TIN رسم گردید. این مقاطع کاملاً عمود بر جریان و در طول شاخه اصلی و در کل سیلاب دشت تهیه شده و در تمامی طول مسیر بازه مورد بررسی انطباق یافته است. در طول مسیر رودخانه کن جهت بررسی و شناسایی پهنه های سیل گیر تعداد ۲۴۶ مقطع بر روی رودخانه ترسیم شد. رسم این خطوط با استفاده از موقعیت، وضعیت و پهنای مقاطع عرضی از TIN استخراج شده و در لایه مذکور معرفی و ذخیره گردید. گام بعد ارسال اطلاعات به نرم افزار HEC-RAS می‌باشد. برای این منظور با استفاده از الحاقیه HEC-geoRAS فایل با پسوند Spatial Data Framework (sdf) تولید شد که تمام لایه های ایجاد شده از جمله مشخصات هندسی رودخانه در این مرحله را شامل می‌شود. جهت شبیه سازی و پهنه بندی سیل با استفاده از مدل HEC-RAS لایه هایی شامل: اطلاعات هیدرولیکی (ضریب زبری، وضعیت مسیر رودخانه ...)، اطلاعات توپوگرافیک (پروفیل طولی و عرضی رودخانه و اراضی حاشیه ...)، اطلاعات جریان سیل (هیدروگراف ورودی سیل، منحنی دبی - اشل ...) مورد نیاز می‌باشد. مراحل مدل سازی در نرم افزار به ترتیب زیر انجام شده است:

الف) وارد کردن و ویرایش داده های هندسی، شامل تعریف پلان رودخانه و تعریف مختصات مقاطع عرضی رودخانه (طول، عرض و ارتفاع هر نقطه از هر مقطع).

ب) تعیین ضریب زبری رودخانه: ضریب زبری مانینگ^۱ برای کناره رودخانه کن با استفاده از کاربری اراضی و مطالعات میدانی و براساس (رابطه ۱) محاسبه گردیده است.

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m \quad \text{رابطه (۱)}$$

n_b = ضریب مانینگ پایه که بر اساس دانه بندی مواد تشکیل دهنده جدار آبراهه و یا سیلاب دشت تعیین می‌شود. n_1 = ضریب مانینگ تعدیلی برای درجه بی نظمی سطح آبراهه و یا سیلاب دشت، n_2 = ضریب مانینگ تعدیلی برای تغییرات مقاطع عرضی، n_3 = ضریب مانینگ تعدیلی برای موانع آبراهه اصلی و سیلاب دشت، n_4 = ضریب مانینگ تعدیلی برای پوشش گیاهی آبراهه اصلی و سیلاب دشت، m = ضریب اصلاحی بر اساس درجه پیچانرودی آبراهه اصلی. با توجه به موارد فوق، در پژوهش حاضر میزان ضریب زبری مانینگ ۰/۰۳ در نظر گرفته شده است.

ج) وارد کردن شرایط مرزی بالا دست و پایین دست: شرایط مرزی برای برقراری سطح آب آغازین در هر یک از دو انتهای سیستم رودخانه (پایین دست و بالادست) مورد نیاز است. به منظور شروع محاسبات توسط برنامه، تعریف یک سطح آغازین آب ضروری می‌باشد. شرایط مرزی در مرز فیزیکی بالادست و پایین دست در بازه مورد نظر بازسازی شده و مقادیر به دست آمده برای بالا دست ۰/۶۶ و برای پایین دست ۳ می‌باشد. بدین منظور از روش عمق نرمال استفاده گردیده که مستلزم وارد کردن شیب خط انرژی و همچنین دبی داده شده در محل مورد نظر است. چنانچه شیب خط

۱. Manning's Roughness Coefficients

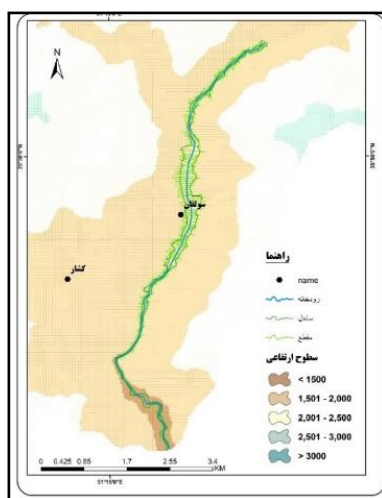
انرژی موجود نباشد، می‌توان از شیب کف رودخانه استفاده نمود. بدین منظور با توجه به پروفیل طولی در بالا دست و پایین دست، شیب کف رودخانه محاسبه و مورد استفاده قرار گرفته است (شکل ۲).



شکل ۲. نمایی از پروفیل طولی رودخانه به منظور تعیین شیب کف بستر

د) وارد کردن میزان دبی لازم (به منظور تحلیل جریان): برای این منظور از نتایج مطالعات شرکت آب منطقه‌ای تهران بر روی رودخانه کن و همچنین از مقادیر سیلاب حداکثر لحظه‌ای در دوره بازگشت‌های ۲۰، ۱۰، ۵ و ۲ ساله به روش کریگر استفاده شد. شایان ذکر است که در محدوده مورد مطالعه برآورد مقادیر سیلاب حداکثر لحظه‌ای به روش‌های دیکن، فولر و کریگر صورت پذیرفته که روش کریگر مورد تایید است. در بازه مورد نظر در ۳ بخش رودهای فرعی به شاخه اصلی می‌پیوندند که در این محل‌ها میزان دبی نیز افزایش می‌یابد و مقدار دبی محاسباتی در این محل‌ها لحاظ گردیده است.

و) انتخاب رژیم جریان مورد نظر (که جریان مختلط انتخاب گردید): پس از وارد کردن داده‌های هندسی و داده‌های جریان ماندگار پروفیل‌های سطح آب در حالت جریان ماندگار در دوره بازگشت‌های چهارگانه محاسبه و خروجی آن به شکل تعیین سطوح آب در مقاطع عرضی به ازای دوره بازگشت‌ها، پروفیل طولی مسیر رود همراه با ارتفاع آب در هر دوره، هیدروگراف‌ها و نمودارهای سه بعدی X.Y.Z در هر مقطع عرضی تهیه گردید. در این مرحله خطاهای موجود از طریق درون‌یابی مقاطع جدید برطرف گردید. در نهایت نتایج حاصل از محاسبات سطوح آب در دوره بازگشت‌های مختلف در نرم‌افزار HEC-RAS از طریق الحاقیه HEC-geoRAS به محیط Arc GIS منتقل و پهنه‌های سیلابی هر دوره به صورت سه بعدی ترسیم و مساحت پهنه‌ها محاسبه گردید (شکل ۳).

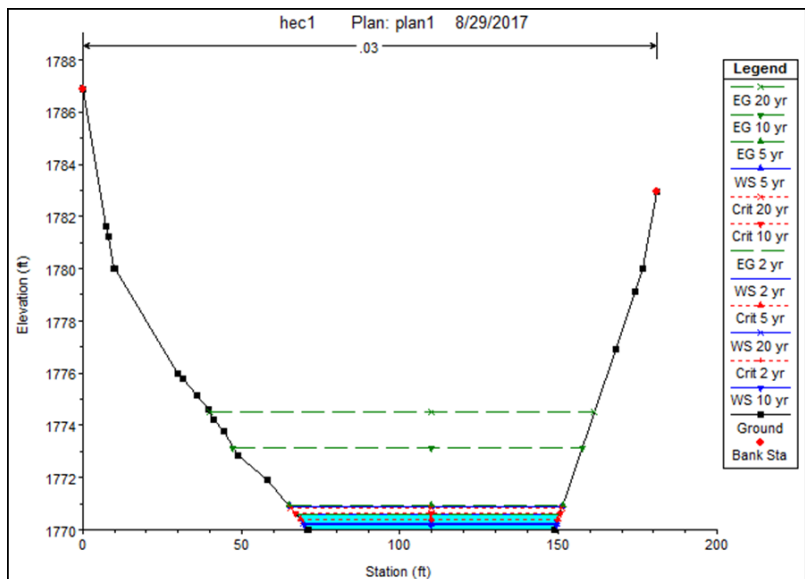


شکل ۳. ترسیم مقاطع عرضی رودخانه کن

شرح و تفسیر نتایج

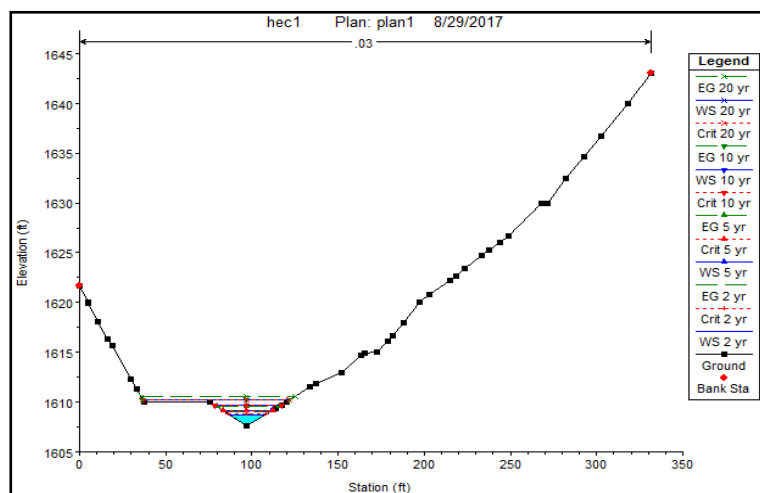
• تحلیل مقاطع عرضی مدل شده در HEC-RAS

نتایج حاصل از محاسبات سطوح آب رودخانه کن در دوره بازگشت‌های مختلف در نرم افزار HEC-RAS از طریق الحاقیه HEC-geoRAS به Arc GIS منتقل و پهنه‌های سیلابی در هر دوره تعیین گردید. شکل‌های ۴، ۵ و ۶ ارتفاع سطح آب رودخانه در بخش‌های بالایی، میانی و پایین دست در دوره‌های بازگشت ۲۰، ۱۰، ۵ و ۲ ساله را نشان می‌دهد. شکل ۴ ارتفاع آب رودخانه در بالا دست برای دوره بازگشت‌های چهارگانه را شبیه‌سازی نموده است. با توجه به این شکل در دوره بازگشت ۲۰، ۱۰، ۵ و ۲ ساله ارتفاع سطح آب رودخانه کن به ترتیب به میزان ۴/۵، ۳، ۱ و ۰/۵ متر بوده است.



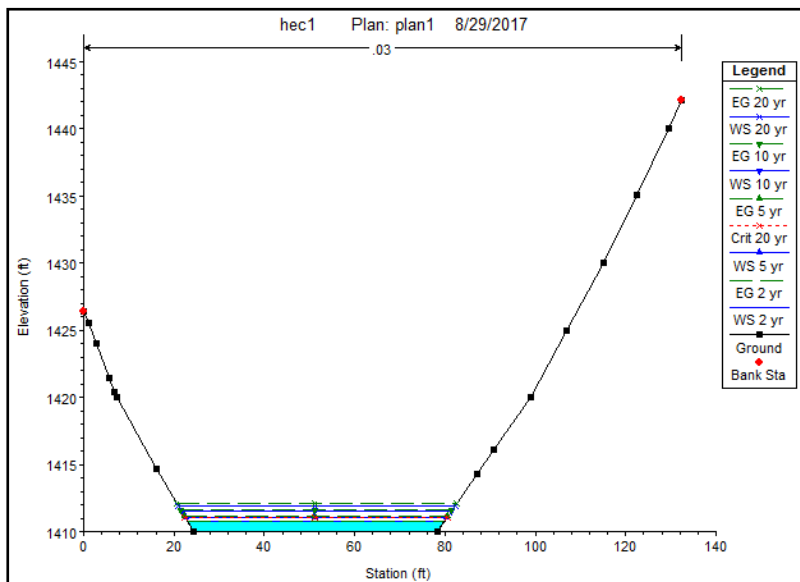
شکل ۴. مقطع عرضی مدل شده در بالا دست رودخانه کن در دوره‌های بازگشت‌های مختلف

شبیه‌سازی مقاطع عرضی بخش میانی رودخانه کن نشان می‌دهد که ارتفاع آب در این بخش نسبت به بالا دست در دوره مورد مطالعه کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته است. به طوریکه ارتفاع آب در دوره‌های ۲۰، ۱۰، ۵ و ۲ ساله به ترتیب به ۲، ۵، ۱۰ و ۲۵ سانتی‌متر رسیده است و روند کاهشی شدیدی را نشان داده است (شکل ۵).



شکل ۵. مقطع عرضی مدل شده در بخش میانی رودخانه کن در دوره‌های بازگشت‌های مختلف

شکل ۶ نمایانگر مقطع عرضی رودخانه در پایین دست می‌باشد. در این قسمت از رودخانه بستر رودخانه عریض‌تر شده و ارتفاع آب نسبت به بالادست روند کاهشی و نسبت به بخش میانی روند افزایشی را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر ارتفاع سطح آب در دوره‌های بازگشت ۲۰، ۱۰، ۵ و ۲ ساله به ترتیب به میزان ۲، ۱، ۰/۷۵ و ۰/۵ متر بوده است.



شکل ۶. مقطع عرضی مدل شده در پایین دست رودخانه کن در دوره‌های بازگشت‌های مختلف

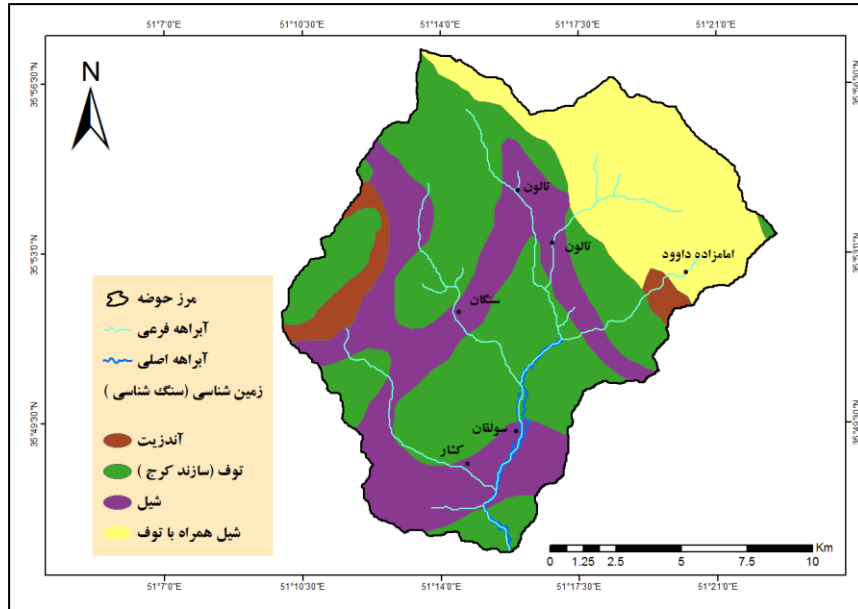
جدول ۱. ارتفاع سطح آب در دوره‌های بازگشت مختلف در حوضه رودخانه کن

پایین دست	میانی	بالا دست	بخش
			دوره بازگشت
۲ (متر)	۲۵ (سانتی‌متر)	۴/۵ (متر)	۲۰ ساله
۱ (متر)	۲۰ (سانتی‌متر)	۳ (متر)	۱۰ ساله
۰/۷۵ (متر)	۱۰ (سانتی‌متر)	۱ (متر)	۵ ساله
۰/۵ (متر)	۵ (سانتی‌متر)	۰/۵ (متر)	۲ ساله

با توجه به اشکال ۴ تا ۶ به ازای دوره بازگشت‌های طولانی‌تر میزان دبی و یا به عبارتی ارتفاع سطح آب افزایش یافته و پهنه سیلابی نیز از وسعت بیشتری برخوردار بوده است. هر جا عرض بستر آبراهه زیاد شده پهناي سطح سیلابی نیز افزایش یافته و آب در سطح وسیع‌تری گسترش داشته است. برعکس، هر جا که عرض دره کمتر شده به همان نسبت پهناي سطح سیلابی نیز کاهش یافته و به موازات آن بر عمق سطح آب افزوده شده است.

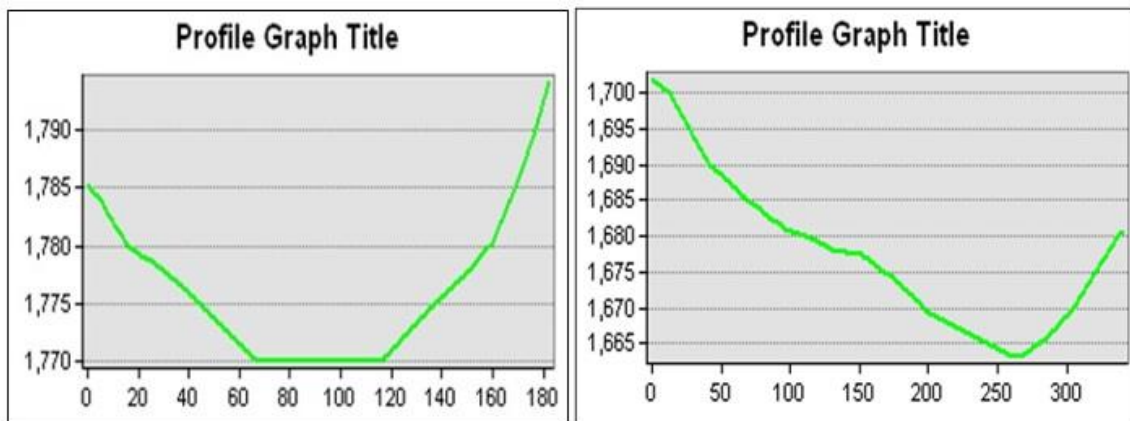
از جمله یکی از عوامل مهم تفاوت در گسترش پهنه‌های سیل‌گیر در بخش‌های مختلف حوضه کن، می‌توان به ویژگی‌های توپوگرافی و به ویژه زمین‌شناسی (سنگ‌شناسی) مسیر دره اشاره نمود. با توجه به نقشه زمین‌شناسی (سنگ‌شناسی) و مشاهدات میدانی می‌توان گفت که بخش‌های بالادست حوضه مورد مطالعه عمدتاً از سنگ‌های آندزیت تشکیل شده است. مقاومت این سنگ‌ها (آتشفشانی) باعث شده که رودخانه کن در بخش‌های بالادست حوضه نتواند بستر خود را به صورت عرضی گسترش دهد به همین خاطر بستر رود در این قسمت عمیق شده و این مسئله منجر به کاهش عرض پهنه‌های سیلابی و افزایش ارتفاع آب شده است. بخش میانی حوضه از رسوبات آبرفتی و سنگ‌های شیلی تشکیل شده است. وجود شیل و رسوبات آبرفتی و فرسایش‌پذیری بسیار زیاد آنها منجر به گسترش جانبی پهنه‌های سیل‌گیر و کاهش

ارتفاع سیلاب در این بخش شده است. همچنین بستر رودخانه در بخش پایین دست از سنگ‌هایی با جنس توف تشکیل شده است. با توجه به مقاومت بیشتر توف نسبت به شیل و رسوبات آبرفتی، عرض دره در پایین دست نسبت به بخش میانی گسترش جانبی کمتری داشته است. بنابراین عرض کمتر دره رودخانه در پایین دست حوضه باعث افزایش ارتفاع سطح آب نسبت به بخش میانی شده است (شکل ۷).



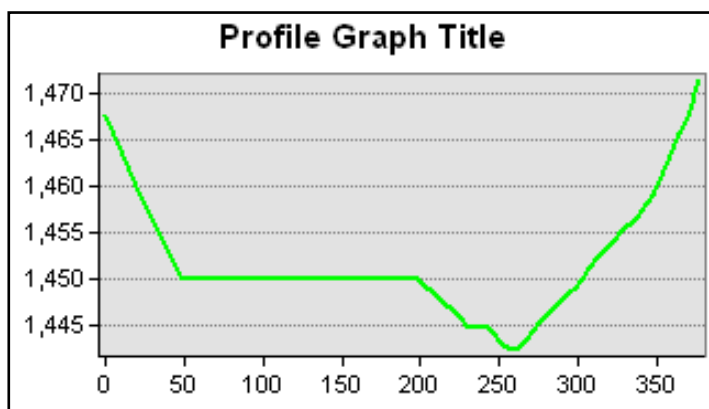
شکل ۷. نقشه زمین شناسی حوضه کن

شکل ۸ عرض بستر رودخانه در مقاطع بالا دست رودخانه کن را نشان می‌دهد. بستر رودخانه در این قسمت کم عرض بوده و رودخانه تقریباً V شکل می‌باشد. اما با فاصله از بالادست، عرض بستر افزایش یافته است. به طوریکه میانگین عرض در بخش میانی به حدود ۵۵ متر رسیده و دره در این قسمت U شکل می‌باشد (شکل ۹). همچنین بستر رود در بخش پایینی بسیار عریض شده و دره رود کاملاً به شکل U نمایان شده است (شکل ۱۰). با توجه به شکل‌های ۸ تا ۱۰ و شکل ۷ گسترش جانبی و شکل دره رودخانه کن متناسب با جنس سنگ‌های بستر می‌باشد.



شکل ۹. مقطع رودخانه در بخش میانی

شکل ۸. مقطع رودخانه در بالادست



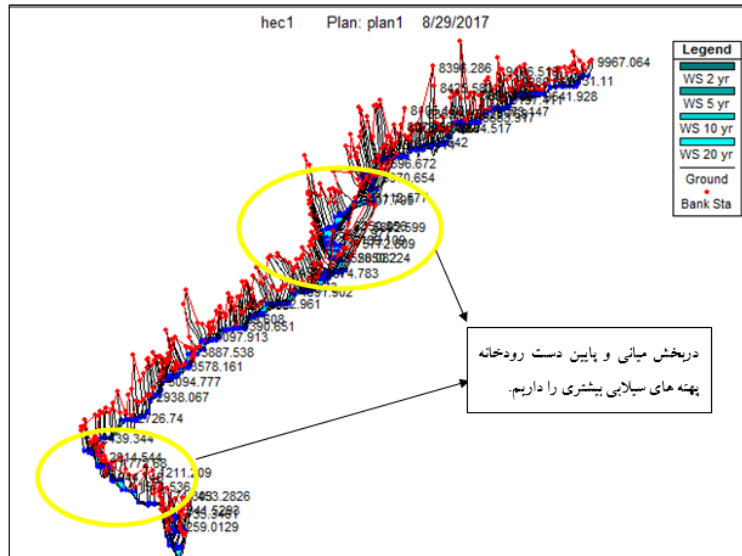
شکل ۱۰. مقطع عرضی رودخانه در پایین دست

• اثرات ریخت‌شناسی تغییر توان رودخانه کن

توانایی انجام کار ژئومورفیک رودخانه‌ها، معمولاً به عنوان توان رودخانه^۱ (SP) بیان می‌شود (Bizzi and Lerner, ۲۰۱۰). سیلاب‌ها با افزایش قابل توجه توان رودخانه، نقش چشمگیری در تغییرات مورفولوژیکی مجرای رودخانه ایفا می‌کنند (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۲). در رودخانه کن به علت کاهش شیب و بالطبع کاهش سرعت و تنش برشی مجرا، یک روند کلی کاهش توان رود در جهت پایین دست دیده می‌شود. با توجه به وجود سنگ‌هایی از نوع آندزیت در بالادست، رودخانه کن دارای بستری سنگی و کم عرض بوده و توان و امکان گسترش جانبی بستر را پیدا نکرده است. در بخش میانی رودخانه وجود رسوبات آبرفتی و شیلی فرسایش‌پذیر باعث شده که جریان آب در سطح وسیع‌تری پخش شده و این مسئله منجر به اتلاف انرژی و کاهش توان برشی رودخانه گردیده است. اما در بخش پایین دست به علت کاهش عرض پهنه‌های سیلابی تحت تاثیر متغیرهای زمین‌شناسی (سنگ‌های توف) توان رودخانه نسبت به بخش میانی افزایش یافته است. با مقایسه ارتفاع سطح آب در دوره‌های بازگشت مختلف می‌توان نتیجه گرفت که پتانسیل تغییرات مورفولوژیکی رودخانه کن در دوره‌های بازگشت ۲۰ ساله نسبت به دیگر دوره‌ها بیشتر بوده است. بنابراین می‌توان گفت که گسترش جانبی و عمق و سطح آب رودخانه کن در تمامی طول مسیر، تحت تاثیر متغیر زمین‌شناسی قرار گرفته است.

نتایج کلی حاصل از بررسی مقاطع متعدد در بخش‌های بالادست، میانی و پایین دست، نشان می‌دهد که پهنه‌های سیل‌گیر بویژه در بخش‌های پست و کم‌شیب پایین دست و میانی حوضه نسبت به بخش‌های بالادست گسترش بیشتری دارند. در بخش‌های پست و کم‌شیب حوضه به علت ناپایداری بستر، وجود کانال‌های پهن و فرسایش یافته، توانایی بالا در فراهمی رسوب، فرسایش دیواره و بستر کانال و تاثیر کم پوشش گیاهی باعث شده است که این بخش از حوضه توان احیا و بازسازی ضعیفی داشته و دائم در حال تغییر باشد. با توجه به قرارگیری و عبور آزاد راه تهران- شمال از حوضه کن می‌بایستی در احداث جاده‌ها و سازه‌ها، حریم پهنه‌های سیلاب‌گیر رودخانه کاملاً رعایت و یا مقاوم سازی شوند (شکل ۱۱).

۱. Stream Power



شکل ۱۱. پهنه‌های سیلابی مسیر رودخانه کن در دوره بازگشت‌های مختلف

نتیجه گیری

با توجه به عدم تجهیز اکثر حوضه‌های کشور به وسایل اندازه‌گیری، استفاده از روش‌ها و مدل‌های تجربی در برآورد سیلاب‌ها و پهنه‌های سیل گیر اجتناب‌ناپذیر است. از طرف دیگر بخش عمده‌ای از اطلاعات مورد نیاز این روش‌ها از طریق به کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و فنون سنجش از دور قابل تهیه می‌باشد. در این پژوهش جهت پهنه‌بندی و شبیه‌سازی سیلاب و شناسایی پهنه‌های سیل گیر در مسیر رودخانه کن در دوره بازگشت‌های ۲۰، ۱۰، ۵ و ۲ ساله تعداد ۲۴۶ مقطع در سه بخش بالادست، میانی و پایین‌دست مورد بررسی قرار گرفته است. برای شبیه‌سازی مسیر و مجرای رودخانه کن از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS و محیط نرم‌افزاری Arc GIS استفاده شده است. مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS توانایی پراکنش فضایی پهنه‌های سیلابی با دوره بازگشت‌های مختلف و نمایش مشخصات جریان در طول مسیر رودخانه را دارا می‌باشد. با بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی و مشاهدات میدانی از منطقه مشخص گردید که عامل اصلی تنگ شدگی و بازشدگی دره در محدوده مورد مطالعه جنس سنگ‌ها می‌باشد. از آنجایی که بخش‌های کم عرض بالادست و پایین‌دست حوضه مورد مطالعه از سنگ‌های آتشفشانی آندزیت و توف تشکیل شده است، رودخانه توانایی کمتری در گسترش عرضی بستر را در این نوع از سنگ‌ها داشته است. اما در بخش‌های میانی با توجه به وجود سنگ‌های شیلی و رسوبات آبرفتی فرسایش‌پذیر، عرض دره نسبت به سایر بخش‌ها (بویژه نسبت به بالادست) گسترش جانبی بیشتری داشته و سیلاب در سطح وسیع‌تری پخش گردیده است.

نتایج حاصل از خروجی مدل هیدرودینامیکی نشان می‌دهد که در بالادست رودخانه افزایش دبی به شکل افزایش ارتفاع سطح آب نقش داشته و گسترش عرضی کمتری در سطوح سیلاب گیر به چشم می‌خورد. اما در بخش‌های میانی و کم شیب پایین دست رودخانه به علت کاهش ارتفاع سطح آب، رودخانه دارای گسترش جانبی بیشتری بوده و پهنه‌های سیل گیر در این بخش‌ها نسبت به بالادست رودخانه دارای وسعت بیشتری می‌باشند. بنابراین در طول مسیر رودخانه کن هر جا عرض بستر آبراهه زیاد شده پهنای سطح سیلابی نیز افزایش یافته و آب در سطح وسیع‌تری گسترش داشته است. برعکس، هر جا که عرض دره کمتر شده به همان نسبت پهنای سطح سیلابی نیز کاهش یافته و به موازات آن بر عمق سطح آب افزوده شده است. به عبارت دیگر در بخش‌های پست و کم‌شیب حوضه به علت ناپایداری بستر، وجود کانال‌های

پهن و فرسایش‌یافته، توانایی بالا در فراهمی رسوب، فرسایش دیواره و بستر کانال و تاثیر کم پوشش گیاهی باعث شده است که این بخش از حوضه توان احیا و بازسازی ضعیفی داشته و دائم در حال تغییر باشد. با توجه به قرارگیری و عبور آزاد راه تهران- شمال از حوضه کن می‌بایستی در احداث جاده‌ها و سازه‌ها، حریم پهنه‌های سیلاب‌گیر رودخانه کاملاً رعایت و یا مقاوم‌سازی شوند.

همچنین بررسی پهنه‌های سیل‌گیر در دوره بازگشت‌های مختلف نشان می‌دهد که به ازای دوره بازگشت‌های طولانی‌تر میزان دبی و یا به عبارتی ارتفاع سطح آب افزایش یافته و پهنه سیلابی نیز از وسعت بیشتری برخوردار بوده است. نتایج جدول (۱) نشان می‌دهد که در دوره بازگشت‌های ۲۰ و ۱۰ ساله نسبت به دوره‌های کوتاه‌مدت ۵ و ۲ ساله ارتفاع سطح آب و همچنین پهنه‌های سیلابی افزایش داشته‌اند. با توجه به نتایج به دست آمده پیشنهاد می‌شود که:

- ۱: مناطق مسکونی در دست ساخت در مجاور رودخانه با رعایت حریم و فاصله مناسب از آن ساخته شود.
- ۲: توسعه باغات و فعالیت‌های کشاورزی پایدار و با بهره‌وری دراز مدت در بستر رودخانه، ممنوع و متوقف شود و در حریم رودخانه نیز با ضوابط خاص آن اعمال گردد.
- ۳: جهت کاهش خطر سیلاب، بهره‌برداری از مراتع و پوشش گیاهی در کل حوضه کن کنترل شود و مراتع تخریب شده احیاء گردد.

۳: به منظور بررسی دقیق‌تر پهنه‌های سیل‌گیر پیشنهاد می‌شود که از سایر روش‌های تجربی نیز استفاده شود.

منابع

- دلیران فیروز، هدی؛ مختاری خوزانی، فهیمه؛ سلطانی، سعید؛ موسوی، سید علیرضا ۱۳۹۴. ارزیابی خسارات ناشی از سیل در حوضه آبخیز قهرود و قمصر با استفاده از نرم‌افزار HEC-FIA. *نشریه علوم آب و خاک*، ۱۹(۷۴): ۶۳-۷۵.
- راد، مژگان؛ وفاخواه، مهدی؛ غلامعلی فرد، مهدی ۱۳۹۷. پهنه‌بندی سیل با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS در پایین دست حوضه آبخیز خرم‌آباد. *مجله مخاطرات محیط طبیعی*، ۷(۱۶): ۲۱۱-۲۲۶.
- رمزجویی، نازیلا؛ مهدوی، محمد؛ افخمی، حمیده؛ محسنی ساروی، محسن؛ معتمد وزیر، بهارک ۱۳۹۷. آنالیز و توجیه اقتصادی احداث بند خاکی جهت مدیریت رواناب شهری به منظور استفاده در فضای سبز (مطالعه موردی منطقه ۲۲ تهران). *نشریه ترویج و توسعه آبخیزداری*، ۶(۲۲): ۳۸-۲۹.
- رمزجویی، نازیلا؛ مهدوی، محمد؛ افخمی، حمیده؛ محسنی ساروی، محسن ۱۳۹۶. تاثیر توسعه شهری بر افزایش دبی پیک جریان و خسارت ناشی از آن (مطالعه موردی منطقه ۲۲ تهران). *فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی*، ۱۷(۵۷): ۲۴۳-۲۳۵.
- رضایی مقدم، محمد حسین؛ رجبی، معصومه؛ دانشفزا، رسول؛ خیری‌زاده، منصور ۱۳۹۵. پهنه‌بندی و بررسی اثرات مورفولوژیکی سیلاب‌های رودخانه زرینه‌رود (از ساری قمیش تا سد نوروزلو). *مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۷: ۲۰-۱.
- رضایی مقدم، محمد حسین؛ یاسی، مهدی؛ نیکجو، محمدرضا؛ رحیمی، مسعود ۱۳۹۷. پهنه‌بندی و تحلیل مورفولوژیکی سیلاب‌های رودخانه قره‌سو با استفاده از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS (از روستای پیر از میان تا تلاقی رودخانه اهر چای). *مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۲۵: ۱۵-۱.
- شیخ علیشاهی، نجمه؛ جمالی، علی اکبر؛ حسن‌زاده نفوتی، محمد ۱۳۹۵. پهنه‌بندی سیل با استفاده از مدل هیدرولیکی تحلیل رودخانه (مطالعه موردی: حوضه آبریز منشاد- استان یزد). *فصلنامه علمی پژوهشی فضای جغرافیایی*، ۱۶(۵۳): ۹۶-۷۷.
- قنواتی، عزت‌اله؛ صفاری، امیر؛ کرم، امیر؛ نجفی، اسماعیل؛ جهاندار، غلامحسین ۱۳۹۵. بررسی ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژیک حوضه‌های آبریز کلان شهر تهران با تاکید بر سیل‌خیزی. *مجله علمی پژوهشی هیدروژئومورفولوژی*، ۶: ۵۴-۳۳.
- قهرودی تالی، منیژه؛ مجیدی هروی، آنتیا؛ عبدلی، اسماعیل ۱۳۹۵. آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب شهری (مطالعه موردی: تهران، درکه تا کن). *مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۷: ۳۵-۲۱.

- هوشیارپور، فرهاد؛ یزدی، جعفر؛ افتخاری، مرتضی؛ جوادی، فاطمه؛ شش انگشتی، سارا. ۱۳۹۵. مدیریت سیلاب در حوضه آبریز رودخانه کن با رویکرد شبیه‌سازی و بهینه‌سازی. نشریه علمی پژوهش‌های تجربی در مهندسی عمران، ۳(۱): ۸۹-۷۳.
- یمانی، مجتبی؛ تورانی، مریم و چزعه، سمیرا. ۱۳۹۱. تعیین پهنه‌های گیر با استفاده از مدل HEC-RAS (مطالعه موردی بالادست سد طالقان از پل گلینک تا پل وشته). *مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱: ۱۶-۱.
- Bates, P. D., ۲۰۰۴. Computationally efficient modelling of flood inundation extent. In European Science Foundation Workshop, edited by BIOS, Bologna.
- Bizzi, S., and Lerner, D.N. ۲۰۱۵. The use of stream power as an indicator of channel sensitivity to erosion and deposition processes. *River Research and Applications*, ۳۱: ۱۶-۲۷.
- Feifer, L. R., Bennett, E. M., ۲۰۱۱. Environmental and social predictors of phosphorus in urban streams on the Island of Montreal, Quebec. *Urban Ecosystem*, ۱۴: ۴۸۵-۴۹۹.
- Hirabayashi, Y. and Kanae, S. ۲۰۰۹. First estimate of the future global population at risk of flooding. *Hydrological research letters*, ۳: ۶-۹.
- Jha, A. K., Bloch, R., and Lamond, J., ۲۰۱۲. Cities and flooding: a guide to integrated urban flood risk management for the ۲۱st century. The World Bank.
- Jafarzadegan, K. Merwade, V. Saksena, S. ۲۰۱۸. A geomorphic approach to ۱۰۰-year floodplain mapping for the Conterminous United States. *Journal of Hydrology*, ۵۶۱: ۴۳-۵۸.
- Khalfallah. C. Ben, Saidi, S. ۲۰۱۸. Spatiotemporal floodplain mapping and prediction using HEC-RAS - GIS tools: Case of the Mejerda River, Tunisia. *Journal of African sciences*, ۱۴۲: ۴۴-۵۱.
- Kundzewicz, Z. W., Hirabayashi, Y., and Kanae, S., ۲۰۱۰. River floods in the changing climate observations and projections. *Water Resources Management*, ۲۴(۱۱): ۲۶۳۳-۲۶۴۶.
- ShahiriParsa, A. Noori, M. Heydari, M. Rashidi, M. ۲۰۱۶. Floodplain Zoning Simulation by Using HEC-RAS and CCHE۲D Models in the Sungai Maka River. *Air, Soil and Water Research*, ۹: ۵۵-۶۲.
- Wilby, R. L., and Keenan, R., ۲۰۱۲. Adapting to flood risk under climate change, Progress in Science Foundation Workshop, edited by BIOS, Bologna.

