



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر  
فصلنامه‌ی علمی - پژوهشی فضای جغرافیایی

سال هفدهم، شماره‌ی ۵۷  
بهار ۱۳۹۶، صفحات ۱۹۴-۱۷۵

\*امیرپویا صراف<sup>۱</sup>  
گلناز محقق‌زاده<sup>۲</sup>  
نازنین محقق‌زاده<sup>۳</sup>

## پهنه‌بندی سیلاب رودخانه‌ی شاپورخشت با بهره‌گیری از تصاویر Orthophoto

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۰۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۳/۰۹

### چکیده

به‌منظور شناخت رفتار رودخانه در زندگی انسان‌ها به‌عنوان تأمین‌کننده‌ی آب و همچنین ایجاد کننده تخریب و خسارت، لازم است که تعیین پهنه‌ی سیل‌گیر رودخانه با دقت زیادی انجام گیرد. هدف از پژوهش حاضر، مشخص نمودن پهنه‌ی سیل‌گیر بخشی از رودخانه‌ی شاپورخشت در بخش خشت و کمارج شهرستان کازرون، واقع در جنوب‌غربی استان فارس، حدفاصل روستای چروم تا روستای چیتی به طول ۲۳ کیلومتر می‌باشد. در این تحقیق، از یکی از جدیدترین انواع عکس‌های هوایی برای مشخص نمودن عوارض و محدوده‌ی مورد مطالعه، استفاده شده است. از عکس‌های Orthophoto منطقه (عکس‌های هوایی هستند که پس از تصویربرداری، طی فرآیندی، انحراف‌های حاصل در سیستم دوربین و انحراف‌های حاصل از تغییرات ارتفاع در این عکس‌ها را از بین می‌برند و سپس با تلفیق مدل ارتفاعی رقومی (DEM) و تصاویر اصلاح شده هوایی با استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری، اقدام به تهیه آن‌ها می‌نمایند) با دقت ۱:۲۰۰۰ و با تلفیق الحاقیه‌ی HEC-GeoRAS در سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (ArcGIS) و نرم‌افزار HEC-RAS، اقدام به مدل‌سازی سیلاب با دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله شده است.

E-mail: sarraf@riau.ac.ir

- \*۱- گروه مهندسی عمران، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران. (نویسنده مسئول)
- ۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران.
- ۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران.

بدین منظور ابتدا الحاقیه‌ی HEC-GeoRAS با بهره‌گیری از عکس‌های Orthophoto، مشخصات هندسی رودخانه برای ۳۴۴ مقطع عرضی استخراج و پس از واسنجی مدل هیدرولیکی HEC-RAS، مدل‌سازی رودخانه به انجام رسید و همچنین پروفیل سطح آب برای دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ برآورد و تخمین زده شد. سپس جهت تهیه‌ی پهنه‌ی سیل‌گیر مجدداً از الحاقیه‌ی HEC-GeoRAS استفاده گردید و نتایج، حاکی از آن بود که در این محدوده، تفاوت چشمگیری بین پهنه‌های سیلابی مورد مطالعه وجود نداشته و همچنین شرایط جریان رودخانه در این دوره بازگشت‌ها مؤید آن بود که رودخانه، شرایط جریان زیر بحرانی را تجربه می‌کند.

**کلیدواژه‌ها:** مدل‌سازی، پهنه‌بندی سیل، رودخانه‌ی شاپورخشت کازرون، ArcGIS، HEC-RAS، تصاویر Orthophoto.

#### مقدمه

افزایش خسارات جانی و مالی ناشی از جاری شدن سیلاب در جهان، در طی چند دهه‌ی اخیر، مهندسان و متخصصان علوم آب را بر آن داشته تا چاره‌ای جهت کنترل و مدیریت این پدیده‌ی طبیعی بیاندیشند. بررسی و تحقیقات اخیر نشان می‌دهند که علت افزایش خسارت‌های ناشی از سیلاب، به دلیل وقوع سیلاب‌هایی با دوره بازگشت‌های کوتاه و یا با شدت جریان زیاد بوده، بلکه افزایش خسارت‌های ناشی از سیلاب، به دلیل وقوع سیلاب‌هایی با دوره مجاور رودخانه‌ها، عامل اصلی ایجاد خسارات می‌باشند (رستمی‌قراگزلو و همکاران، ۱۳۸۴). از اساسی‌ترین اقداماتی که ضرورت دارد در مدیریت سیلاب‌دشت انجام گیرد، تعیین دقیق مرزها یا همان پهنه‌بندی سیل می‌باشد که دستیابی به این نتایج، جز با تحلیل هیدرولیکی رودخانه، امکان‌پذیر نخواهد بود. یکی از ابزارهای شبیه‌سازی جریان رودخانه، استفاده از مدل‌سازی عددی است که بر مبنای روش‌های ریاضی در این زمینه، می‌توان به مدل ریاضی HEC-RAS اشاره نمود (سازمان برنامه‌بودجه، ۱۳۸۴: ۳۰۷). این نرم‌افزار، قادر به شبیه‌سازی جریان‌های یک‌بعدی دائمی و غیردائمی رودخانه بوده و با استفاده از اطلاعاتی نظیر مشخصات هندسی رودخانه، ضریب زبری در مقاطع، دبی و شرایط مرزی رودخانه، مدل‌سازی هیدرولیکی را انجام می‌دهد. همچنین، این نرم‌افزار می‌تواند سازه‌های عرضی مانند پل را در مسیر مدل‌سازی آورده و اثرات آن‌ها را نیز بررسی نماید. لذا مجموعه‌ی قابلیت‌های یاد شده، امکان در دسترس بودن و گرافیک بسیار بالای این نرم‌افزار جهت نمایش مقاطع و پروفیل سطح آب، باعث گردیده که در سال‌های اخیر، این مدل مورد توجه بسیاری از محققان علوم آب قرار بگیرد. برای تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی سیلاب، روش‌های متفاوتی وجود دارد که یکی از جدیدترین روش‌های به‌کار گرفته شده در این زمینه، تلفیق مدل‌های هیدرولیکی مانند HEC-RAS با سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (ArcGIS)، با بهره‌گیری از الحاقیه‌ی HEC-GeoRAS می‌باشد که این الحاقیه، قادر است با پتانسیل بالایی، اطلاعات توپوگرافی مقاطع عرضی بازه‌ی رودخانه‌ی مورد مطالعه را از روی عکس‌های Orthophoto (عکس‌های هوایی هستند که پس از تصویر برداری، طی

فرآیندی، انحراف‌های حاصل در سیستم دوربین و انحراف‌های حاصل از تغییرات ارتفاع در این عکس‌ها را از بین می‌برند و سپس با تلفیق مدل ارتفاعی رقومی (DEM) و تصاویر اصلاح شده هوایی با استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری، اقدام به تهیه آن‌ها می‌نمایند) استخراج نماید. در سال‌های اخیر بسیاری از محققان علوم آب با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS و با بهره‌گیری از سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (ArcGIS)، اقدام به بررسی پهنه‌ی سیلابی رودخانه‌های مختلف نموده‌اند که از آن جمله می‌توان به تحقیقات ذیل اشاره نمود:

قمی‌اویلی و همکاران (۱۳۸۹)، در مطالعه‌ی موردی رودخانه‌ی کارون حدفاصل بند قیر تا اهواز، اقدام به شبیه‌سازی پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از مدل HEC-RAS نمودند و نتایج این تحقیق مبین آن بود که وسعت اراضی در معرض خطر سیلاب، در دوره بازگشت‌های مختلف، تفاوت چشم‌گیری با یکدیگر ندارند.

یمانی و همکاران (۱۳۹۱)، در مطالعه‌ی موردی بازه‌ی بالادست سد طالقان از پل گلینک تا پل وشته، اقدام به تعیین پهنه‌ی سیل‌گیر با استفاده از مدل HEC-RAS نمودند و نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد که از کل مساحت تحت پوشش سیلاب ۲۰۰ ساله، حدود ۸۸/۱۶ درصد، مستعد سیل‌گیری توسط سیل‌های ۲۵ سال و کم‌تر از آن است.

روشان و همکاران (۱۳۹۲)، با تلفیق مدل هیدرولیکی HEC-RAS با نرم‌افزار ArcView از مجموعه نرم‌افزارهای ArcGIS از طریق الحاقیه HEC-GeoRAS به منظور شبیه‌سازی پارامترهای هیدرولیکی رودخانه‌ی بشار واقع در استان کهگیلویه و بویراحمد استفاده نمودند و نتایج حاصل از این شبیه‌سازی نشان داد که مدل HEC-RAS، قادر است مقادیر عددی مناسبی را جهت مطالعه‌ی خصوصیات هیدرولیکی جریان در رودخانه‌ها ارائه داده و جهت پهنه‌بندی سیلاب با دقت بالا و هزینه اندک، مورد استفاده قرار گیرد.

درخشان و همکاران (۱۳۸۹)، در مطالعه‌ی موردی رودخانه‌ی کارون حدفاصل بند قیر تا اهواز، اقدام به شبیه‌سازی پهنه‌بندی سیلاب رودخانه‌های گوهر رود و سیاه‌رود با استفاده از مدل HEC-RAS نمودند و نتایج این تحقیق مبین آن بود که وسعت اراضی در معرض خطر سیلاب، در دوره بازگشت‌های مختلف، تفاوت چشم‌گیری با یکدیگر ندارند.

عاشوری و همکاران (۱۳۹۲)، اقدام به بررسی کارایی مدل هیدرولیکی در پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از ArcGIS در مطالعه موردی پایین‌دست سد ستارخان اهر نمودند و به این نتیجه رسیدند که می‌توان از ArcGIS و مدل هیدرولیکی، برای پهنه‌بندی سیلاب استفاده نمود.

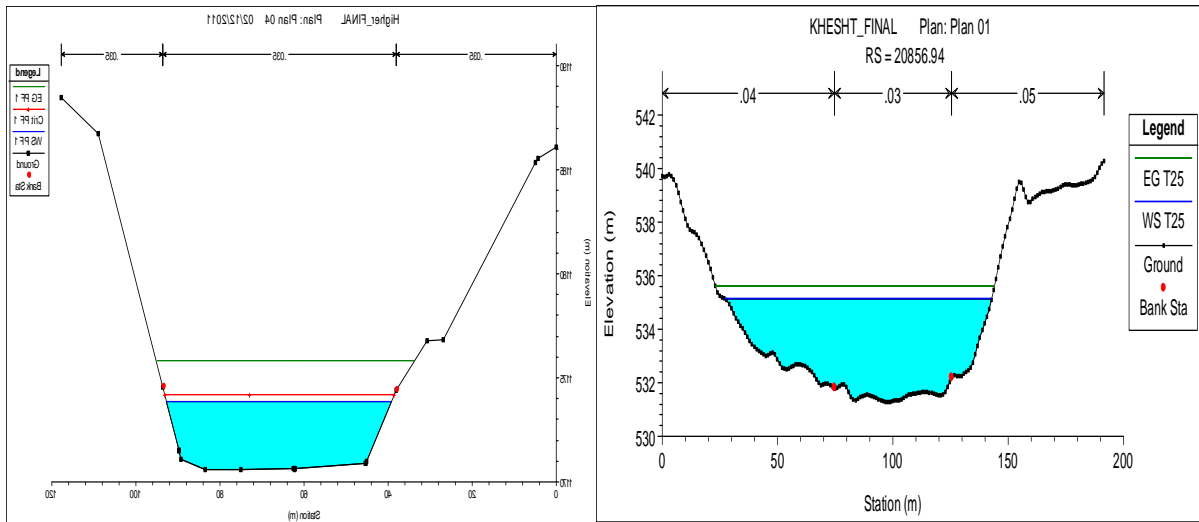
پاپنبرگر<sup>۴</sup> (۲۰۰۵)، در پژوهشی اقدام به پهنه‌بندی خطر سیلاب در بخشی از حوضه‌ی آبریز جاجرود با استفاده از مدل HEC-RAS و ArcGIS نموده و چنین نتیجه گرفت که این مدل، قابلیت مناسبی در تحلیل هیدرولیکی رقوم سطح آب را دارا می‌باشد.

شهیری پارسا و همکاران (۲۰۱۳)، با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS اقدام به شبیه‌سازی پهنی سیلاب رودخانه‌ی جُهور در منطقه‌ی تینجی نمودند و سپس به بررسی حساسیت این مدل نسبت به ضریب زبری، بازشدگی و تنگ‌شدگی رودخانه و شیب انرژی پرداختند و نتیجه حاکی از آن بود که مدل، بیش‌ترین حساسیت را نسبت به ضریب زبری دارد و همچنین مورفولوژی رودخانه (تنگ‌شدگی و بازشدگی رودخانه) را به‌عنوان مهم‌ترین عامل در شدت سیل مشخص نمودند.

کاردوانی و قلعه (۲۰۱۳)، در پژوهشی اقدام به بررسی کارایی مدل هیدرولیکی در پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از ArcGIS در مطالعه موردی رودخانه‌ی آغدايموش نمودند و به این نتیجه رسیدند که می‌توان از ArcGIS و مدل هیدرولیکی، برای پهنه‌بندی سیلاب استفاده نمود.

کمان‌بدست (۲۰۱۱)، در پژوهشی اقدام به پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از مدل HEC-RAS و ArcGIS نموده و چنین نتیجه گرفتند که این مدل، قابلیت مناسبی در تحلیل هیدرولیکی رقوم سطح آب را دارا می‌باشد. در سال‌های اخیر برای تهیه‌ی نقشه‌های پهنی سیلاب، از نقشه‌برداری زمینی استفاده می‌گردد که علاوه بر وقت‌گیر بودن، بسیار دشوار نیز می‌باشد؛ زیرا برای آن‌که دقت نقشه‌برداری بالا رود لازم است تعداد مقاطع عرضی برداشت شده بیش‌تر و در فواصل کمی انجام شود و با در نظر گرفتن این موضوع که بسیاری از رودخانه‌ها در مناطقی واقع‌اند که دسترسی به آن‌ها به سهولت امکان‌پذیر نبوده و همچنین امکان برداشت کلیه‌ی عوارض موجود در بازه، غیرممکن یا به سختی بوده است در مقاطع عرضی برداشت شده، نقشه‌برداری تعداد نقاط برداشت، بسیار کم و دارای دقت پایینی در نشان‌دادن توپوگرافی مقطع است (شکل ۱)، نمایی از مقطع عرضی رودخانه‌ی نقشه‌برداری شده که توسط مدل هیدرولیکی HEC-RAS، به‌دست آمده است را نشان می‌دهد؛ اما در حال حاضر، با توجه به پیشرفت علم نقشه‌برداری و استفاده از تکنولوژی عکس‌های هوایی، تهیه‌ی نقشه‌های رودخانه‌ای، بسیار ساده‌تر و با دقت بسیار بالایی صورت می‌گیرد. به منظور تهیه‌ی محدوده‌ی رودخانه به جای نقشه‌برداری زمینی، در بازه‌های مورد نظر، عکس‌های هوایی، تصویربرداری شده و نقشه‌ی رقومی این مناطق نیز تهیه گردیده و سپس در عکس‌های هوایی برداشت شده طی فرآیندی، انحراف‌های حاصل در سیستم دوربین و انحراف‌های حاصل از تغییرات ارتفاع از بین می‌روند و در نهایت با تلفیق مدل ارتفاعی-رقومی و تصاویر اصلاح‌شده هوایی و با استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری، اقدام به تهیه‌ی عکس‌های تلفیقی با مدل رقومی-ارتفاعی می‌گردد که اصطلاحاً به عکس‌های Orthophoto مشهور می‌باشند. استفاده از این عکس‌ها علاوه بر سهولت استفاده، می‌تواند کلیه‌ی عوارض موجود در مسیر رودخانه با جزئیات بسیار بالا را به ما نشان داده و حتی مکان‌های صعب‌العبور و عوارضی که با چشم غیرمسلح امکان مشاهده‌ی آن‌ها، امکان‌پذیر نمی‌باشد را با جزئیات قابل قبول، مشخص سازد (شهیری پارسا و همکاران، ۲۰۱۳). در (شکل ۲)، نمایی از مقطع عرضی رودخانه‌ی مورد مطالعه که استخراج شده از عکس Orthophoto می‌باشد، توسط مدل هیدرولیکی HEC-RAS نمایش داده شده است. همچنین (شکل‌های ۱ و ۲)،

گویای این مطلب هستند که استفاده از عکس‌های Orthophoto، دقت بسیار بالایی در نشان دادن توپوگرافی مقطع دارند.



شکل ۱: نمایی از مقطع عرضی حاصل از نقشه‌برداری زمینی      شکل ۲: نمایی از مقطع عرضی استخراج شده از عکس Orthophoto

در تحقیق حاضر به منظور مشخص کردن بستر رودخانه‌ی شاپورخشت حفاصل روستای چروم تا روستای چیتی به طول ۲۳ کیلومتر با استفاده از عکس‌هایی با دقت ۱:۲۰۰۰ منطقه و نقشه‌ی رقومی-ارتفاعی زمین با دقت ۱:۱ با بهره‌گیری از الحاقیه‌ی HEC-GeoRAS، به منظور استخراج خصوصیات هندسی رودخانه با معرفی ۳۴۴ مقطع عرضی و مقادیر زبری مانینگ برای هر یک از مقاطع در بستر، سیلاب دشت‌های چپ و راست، خصوصیات جریان و مشخصات هیدرولیکی در مدل HEC-RAS مشخصات جریان در دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله محاسبه و سپس اطلاعات خروجی از مدل HEC-RAS به الحاقیه‌ی HEC-GeoRAS انتقال داده می‌شود تا پهنه‌ی سیل‌گیر در دوره بازگشت‌های محاسبه‌شده در مدل را تخمین و نمایش دهد.

#### موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

بازه‌ی مطالعاتی رودخانه‌ی شاپورخشت واقع در استان فارس، شهر شیراز (شهرستان کازرون) در حفاصل روستای چیتی تا روستای چروم به طول جغرافیایی  $51^{\circ}25'$  و  $51^{\circ}17'$  و عرض جغرافیایی  $29^{\circ}35'$  و  $29^{\circ}35'$ ، به طول ۲۳ کیلومتر می‌باشد و در (شکل ۳) تصاویری از آن به نمایش در آمده است. مشخصات فیزیوگرافی این حوضه با بارندگی ۵۴۴ میلی‌متر در سال در (جدول ۱)، آورده شده است. ضمناً، جنس مواد بستر و کف رودخانه، عمدتاً درشت دانه و متشکل از قطعه‌سنگ، قلوه‌سنگ و شن می‌باشد. لازم به ذکر است که به دلیل وجود باغات نخل، اراضی کشاورزی و روستاهای موجود در حاشیه‌ی این رودخانه، این بازه، برای مطالعه، انتخاب گردیده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیوگرافی حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی شاپورخست

ردیف	پارامتر	واحد	مقدار
۱	مساحت	km <sup>۲</sup>	۲۱۴۱/۷۶
۲	محیط	km	۴۰۲/۴
۳	طول آبراهه‌ی اصلی	km	۱۱۰/۹
۴	ضریب گراویلوس	-	۲/۴۳
۵	نسبت دایره‌ای	-	۰/۱۷
۶	طول مستطیل معادل	km	۱۸۹/۹
۷	عرض مستطیل معادل	km	۱۱/۳
۸	نسبت کشیدگی	-	۰/۵۹
۹	ضریب شکل	-	۰/۱۷
۱۰	Lca	-	۴۲/۲
۱۱	حداکثر ارتفاع	m	۳۰۱۸
۱۲	حداقل ارتفاع	m	۵۲۷
۱۳	شیب متوسط حوضه	درصد	۲۸/۷
۱۴	عامل شکل	Li	۱۶/۸
۱۵	Lm	km	۸۹/۱
۱۶	زمان تمرکز روش SCS	h	۱۱/۸



شکل ۳: تصاویری از وضع موجود بازه مورد مطالعه رودخانه

### یافته‌ها و بحث

- تعیین پهنه‌ی سیلاب

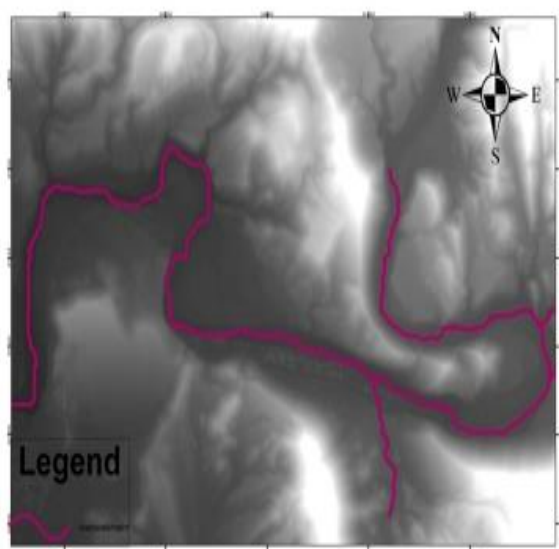
- شبیه‌سازی هیدرولیک جریان با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS

به‌طور خلاصه اطلاعات مورد نیاز مدل HEC-RAS به‌منظور شبیه‌سازی هیدرولیکی جریان در رودخانه شامل: مشخصات هندسی یا فیزیک رودخانه، دبی جریان، ضریب مقاومت جریان و شرایط مرزی است. به‌طوری‌که

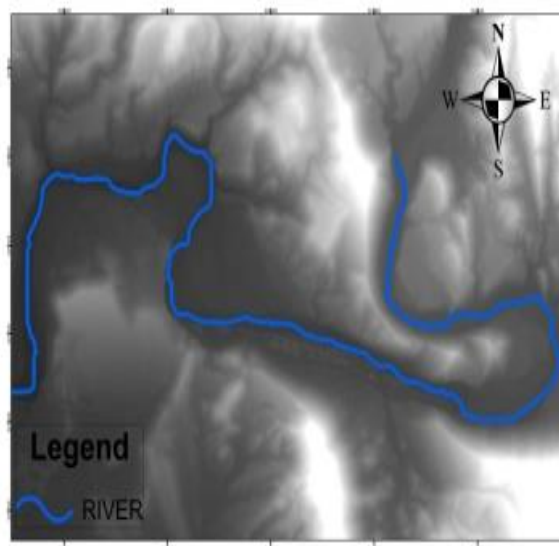
هندسه‌ی رودخانه، جزو اولین و اصلی‌ترین اطلاعات لازم جهت شبیه‌سازی هیدرولیک رودخانه می‌باشد. در واقع بر مبنای شکل سطح مقطع رودخانه است که پارامترهای هیدرولیکی آن نظیر سرعت، عمق و سطح آب‌گرفتگی مشخص می‌شود. در تحقیق حاضر، عملیات نقشه‌برداری به‌صورت هوایی انجام پذیرفته و برای مشخص نمودن خصوصیات هندسی رودخانه از الحاقیه‌ی HEC-GeoRAS به‌شرح زیر استفاده شده است:

- مشخص کردن خط‌القعر رودخانه

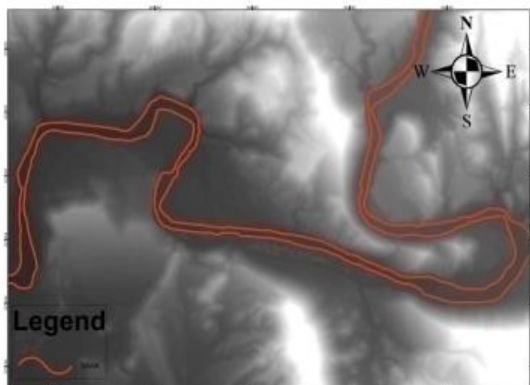
با استفاده از الحاقیه‌ی ARC SWAT در نرم‌افزار ArcGIS و با استفاده از نقشه‌ی DEM، شبکه‌ی آبراهه و خط‌القعر رودخانه مشخص می‌گردد (شکل ۴) و سپس به‌منظور مشخص کردن جریان و موقعیت رودخانه مورد مطالعه در الحاقیه‌ی HEC-GeoRAS در قسمت CreateStream Centerline و با کمک گرفتن از الحاقیه‌ی ARC SWAT که خط‌القعر رودخانه را مشخص نموده است، خط جریان رودخانه (شکل ۵) را معرفی نموده و با کمک گرفتن از عکس‌های اورتوفوتوی محدوده‌ی مورد مطالعه، جداسازی مجرای اصلی جریان رودخانه از سواحل در الحاقیه‌ی HEC-GeoRAS در قسمت Banks آن، توسط این لایه (شکل ۶) انجام گرفت که از آن، جهت مشخص نمودن ابعاد مسیر هیدرولیکی جریان در مجرای اصلی جریان و سواحل چپ و راست در ناحیه‌ی سیلاب گیر استفاده گردید که برای این منظور در الحاقیه‌ی HEC-GeoRAS مسیر هیدرولیکی جریان را در قسمت Flowpaths را معرفی نموده (شکل ۷) و در نهایت موقعیت، وضعیت و پهنای مقاطع در این لایه معرفی می‌شوند به‌طوری که برای این منظور در الحاقیه‌ی HEC-GeoRAS در قسمت Xcutlines، مقاطع (شکل ۸) معرفی گردید. در تحقیق پیش‌رو، ۳۴۴ مقطع عرضی به مدل معرفی شده است. در (شکل ۹)، لایه‌های ذکر شده در بالا بر روی عکس Orthophoto، نشان داده شده‌اند.



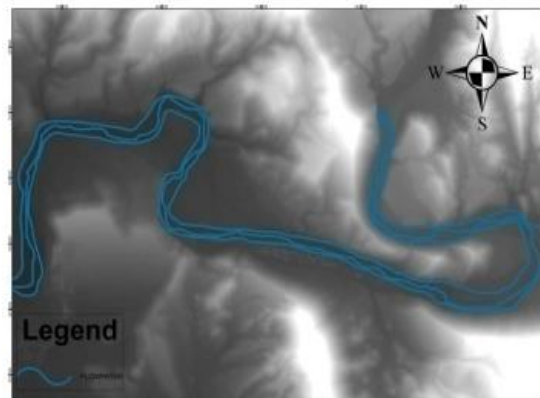
شکل ۵: نمایی از نقشه رقومی زمین و خط مرکزی جریان



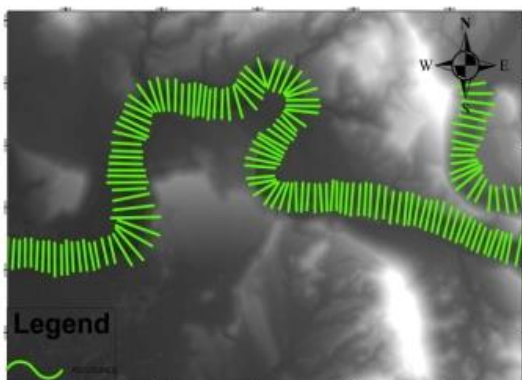
شکل ۴: نمایی از نقشه رقومی زمین و شبکه آبراهه



شکل ۷: نمایی از نقشه رقومی زمین و ابعاد مسیر هیدرولیکی

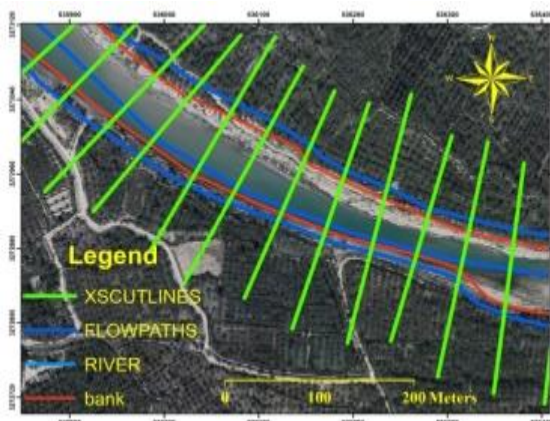


شکل ۶: نمایی از نقشه رقومی زمین و خط سواحل جریان



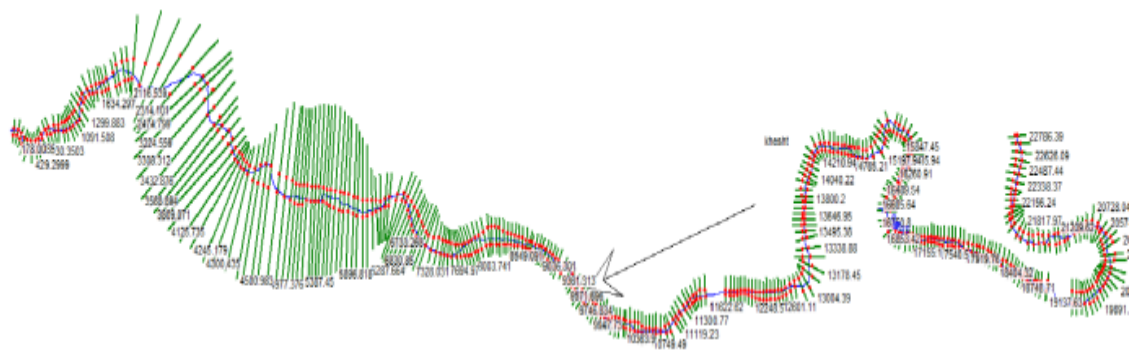
شکل ۹: نمایی از عکس ارتوفوتو و معرفی مشخصات هیدرولیکی

در HEC-GeoRAS



شکل ۸: نمایی از نقشه رقومی زمین و مقاطع عرضی

پس از وارد کردن لایه‌های مورد نیاز الحاقیه‌ی HEC-GeoRAS از این الحاقیه، یک خروجی برای نرم‌افزار HEC-RAS که مشخصات هندسی رودخانه را به این مدل معرفی می‌نماید، گرفته شد. در (شکل ۱۰)، نمای کلی از مشخصات هندسی رودخانه‌ی وارد شده در نرم‌افزار HEC-RAS، مشاهده می‌گردد (فرجی‌سبکبار و همکاران، ۱۳۹۳؛ درخشان و همکاران، ۱۳۸۹؛ ۱۴؛ درویشی‌لاسبز و همکاران، ۱۳۹۲).



شکل ۱۰: نمای کلی رودخانه‌ی شاپورخشت در مدل هیدرولیکی HEC-RAS





جداول ارائه شده توسط محققان که عموماً بر مبنای نوع دانه‌بندی بستر و پوشش آن ارائه شده است، می‌باشد. در تحقیق حاضر با بهره‌گیری از جداول ضرایب مانینگ نرم‌افزار و بازدید صحرایی، ضرایب مانینگ انتخاب شده است. در (جدول ۳)، مقادیر ضرایب سیلاب‌دشت راست، سیلاب‌دشت چپ و کانال اصلی بازه‌ی مورد مطالعه آورده شده است.

از آنجا که در محدوده‌ی مورد مطالعه، به دلیل عدم وجود ایستگاه هیدرومتری، اطلاعاتی از شرایط مرزی مورد نیاز نرم‌افزار HEC-RAS که شامل یکی از موارد؛ سطح آب، عمق نرمال، عمق بحرانی و منحنی دبی اشل بوده تا به‌عنوان شرایط مرزی لحاظ گردد وجود ندارد، لذا فرض گردیده، جریان در مرز پایین‌دست و مرز بالادست، شرایط نرمال را تجربه می‌کند. با توجه به برابری شیب سطح آب با شیب کف رودخانه در شرایط نرمال، شیب متوسط رودخانه به-عنوان شرط مرزی به مدل معرفی گردید، به طوری که شرط مرزی بالادست و پایین‌دست به ترتیب برابر با ۰/۱۳۹ و ۰/۱۱۰ می‌باشند.

#### - اجرا و واسنجی مدل هیدرولیکی

با معرفی مشخصات هندسی، ضریب زبری مانینگ، دبی سیلاب و شرایط مرزی به مدل هیدرولیکی، اجرای مدل برای مقادیر دبی‌های سیلابی با دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله انجام شد و در محدوده‌ی مطالعاتی به دلیل عدم وجود ایستگاه هیدرومتری و فقدان اطلاعات اندازه‌گیری شده‌ی جریان، به‌منظور بررسی صحت نتایج محاسبات، از حساسیت‌سنجی مدل هیدرولیکی استفاده شده است (تُد، ۲۰۰۴).

#### - حساسیت‌سنجی مدل

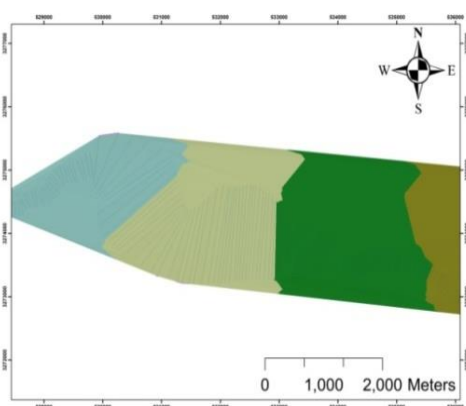
نرم‌افزارهای مورد استفاده در علم مهندسی، در واقع ابزارهایی هستند که درجه‌ی اعتماد به خروجی آن‌ها، بستگی به چگونگی استفاده از مدل دارد و تنها با ورود اطلاعات اولیه و عدم کنترل تطابق‌پذیری نتایج آن با آن چه در شرایط واقعی رخ می‌دهد، ممکن است به خطاها و اشتباه‌های محسوسی منجر شود. بر همین اساس، ضرورت دارد تا نتایج حاصل از شبیه‌سازی جریان رودخانه، مورد واسنجی قرار گیرد.

به‌منظور کنترل مقادیر ضرایب زبری مانینگ رودخانه‌ی شاپورخشت، بررسی حساسیت‌سنجی مدل مربوطه نسبت به ضرایب مربوطه‌ی مذکور، ضروری می‌باشد. نظر به این که سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ ساله، مبنای تعیین حد بستر رودخانه‌ی شاپورخشت قرار گرفته است، لذا واسنجی مدل هیدرولیکی بر مبنای این سیلاب، از اهمیت بیش‌تری برخوردار می‌باشد. بدین منظور با تغییرات افزایشی و کاهشی به میزان  $\pm 0/005$ ، ضریب مانینگ دیگر پارامترهای جریان ارزیابی گردید. در این راستا، درصد تغییرات ضریب زبری مانینگ برای تغییرات متوسط ارتفاع، سرعت متوسط و متوسط عرض سطح آزاد آب، به ازای تغییرات ضریب زبری مانینگ، محاسبه شد که نتایج در (جدول ۴)، آمده است.

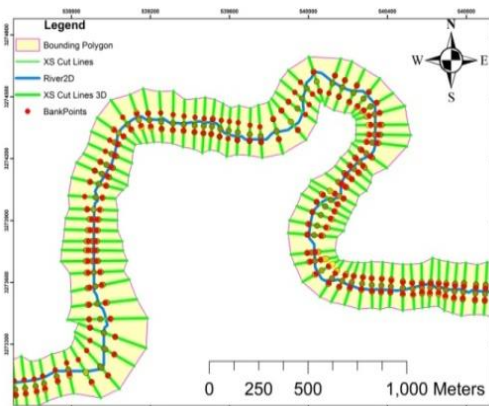
جدول ۴- متوسط درصد تغییرات متوسط ارتفاع، سرعت و عرض سطح آزاد آب با تغییرات ضریب زبری برای سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ ساله

درصد تغییرات ضریب مانینگ	متوسط درصد تغییرات عرض سطح آب	متوسط درصد تغییرات عمق آب	متوسط درصد تغییرات سرعت جریان
-۰/۰۰۵	۳/۸	۰	۸/۴
۰	۴/۰	۰	۷/۹
+۰/۰۰۵	۴/۲	۰	۷/۳

خاطر نشان می‌گردد که خروجی الحاقیه HEC-GeoRAS وارد نرم‌افزار HEC-RAS می‌گردد تا خصوصیات هندسی رودخانه را به منظور مدل‌سازی به آن معرفی نموده و سپس با وارد کردن ضرایب زبری کانال اصلی، دبی و شرایط مرزی جریان، مدل‌سازی هیدرولیکی جریان رودخانه آغاز گردد. همچنین برای این منظور، ضروری است شرایط رژیم جریان را که عبارت از زیر بحرانی، فوق بحرانی و یا ترکیبی از آن‌ها است را انتخاب نماییم (روشان و همکاران، ۱۳۹۲: ۷). در تحقیق حاضر، رژیم جریان ترکیبی انتخاب شده است تا بتواند عبور جریان از حالت زیربحرانی به فوق‌بحرانی و وقوع پرش هیدرولیکی را نیز مشخص سازد. پس از مشخص شدن خصوصیات هیدرولیکی جریان مانند سرعت، عدد فرود، تراز سطح آب و ... از نرم‌افزار HEC-RAS خروجی گرفته شده و نتایج خروجی مجدداً جهت تعیین پهنه سیلاب به الحاقیه HEC-GeoRAS، مطابق (شکل ۱۱)، وارد گردیده و سپس بر اساس داده‌های ورودی از محدوده مورد نظر، مساحت محدوده مطالعاتی (شکل ۱۲)، مشخص و پس از آن، اقدام به پهنه‌بندی سیلاب با دوره بازگشت‌های مورد نظر می‌گردد (پاپنبرگر و همکاران، ۲۰۰۵: ۲۳؛ اسمیت<sup>۵</sup>، ۱۹۹۵: ۱۲۴؛ تال<sup>۶</sup> و همکاران، ۱۹۹۹: ۲۲۳).



شکل ۱۲: نمایی از سطح محدوده مطالعاتی در الحاقیه HEC-GeoRAS

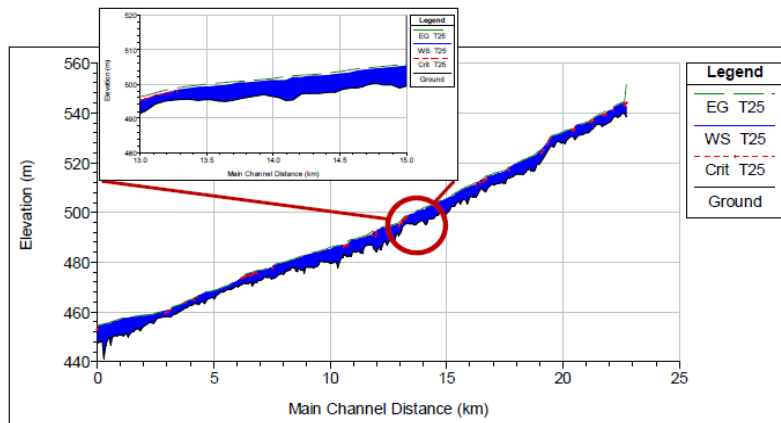


شکل ۱۱: نمای داده‌های ورودی به الحاقیه HEC-GeoRAS از نرم‌افزار HEC-RAS

در این پژوهش، مشخصات جریان در تمام مقاطع با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS مشخص گردیده و از هر کیلومتر، یک مقطع به‌عنوان نمونه در (جداول ۵ تا ۷)، آورده شده است. همچنین با به‌کارگیری مدل یاد شده، پروفیل سطح آب نیز در (شکل‌های ۱۳ تا ۱۵)، به تصویر کشیده شده است.

جدول ۵- مقادیر پارامترهای هیدرولیکی در مقاطع مختلف رودخانه‌ی شاپورخشت با دوره بازگشت ۲۵ سال

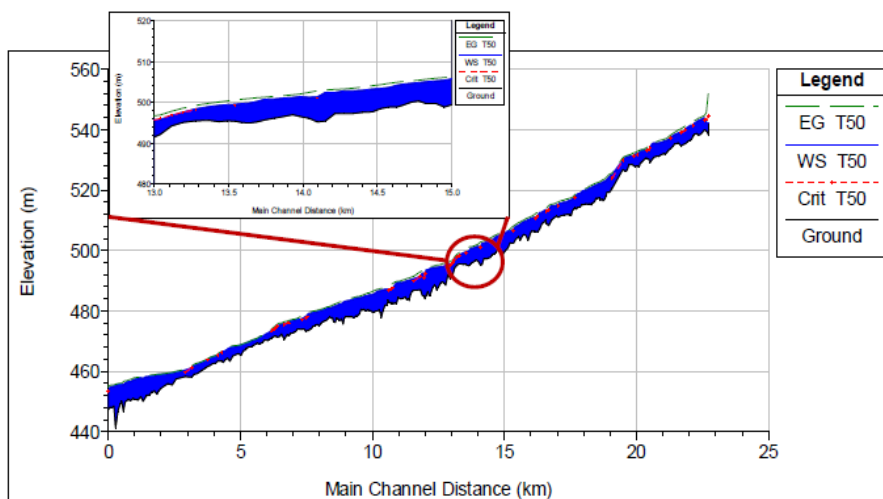
نام رودخانه	کیلومتراژ	پروفیل	حداقل عمق آب (m)	تراز سطح آب (m)	عمق بحرانی (m)	شیب خط انرژی (m)	تراز خط انرژی (m/m)	سرعت کانال (m/s)	سطح مقطع جریان (m <sup>2</sup> )	عرض سطح آزاد (m)	عدد فرود کانال
شاپورخشت	۲۲۷۸۶/۳۹	T۲۵	۵۳۸/۳۹	۵۴۱/۹۷	۰/۰۶	۵۵۱/۳۵	۰/۱۳۹۹۰	۱۳/۹	۶۶/۶۱	۴۷/۴۳	۳/۲۶
شاپورخشت	۲۱۹۸۵/۷۵	T۲۵	۵۳۵/۹۹	۵۴۰/۳۶		۵۴۱/۱۳	۰/۰۰۲۶۵	۴/۳۰	۲۵۹/۱۵	۸۶/۶۵	۰/۶۹
شاپورخشت	۲۰۹۸۲/۱۱	T۲۵	۵۳۱/۶۹	۵۳۵/۴۶		۵۳۶/۰۲	۰/۰۰۲۱۷	۳/۴۷	۲۷۷/۳۸	۹۷/۷۲	۰/۶۱
شاپورخشت	۱۹۹۵۰/۳۰	T۲۵	۵۲۸/۱۹	۵۳۱/۲۴		۵۳۱/۹۱	۰/۰۰۴۳۲	۳/۶۸	۲۲۹/۳۰	۱۱۷/۷۶	۰/۸۰
شاپورخشت	۱۸۹۹۷/۵۰	T۲۵	۵۱۹/۳۱	۵۲۳/۶۹		۵۲۴/۴۱	۰/۰۰۶۶۲	۳/۷۸	۲۱۴/۸۲	۶۷/۸۴	۰/۶۴
شاپورخشت	۱۷۹۸۳/۰۴	T۲۵	۵۱۵/۰۷	۵۱۹/۰۹		۵۱۹/۵۷	۰/۰۰۳۹۴	۳/۰۷	۲۶۷/۴۸	۸۷/۳۶	۰/۵۰
شاپورخشت	۱۶۹۹۶/۸۶	T۲۵	۵۱۱/۳۳	۵۱۴/۵۶		۵۱۵/۲۴	۰/۰۰۲۷۸	۳/۷۷	۲۳۰/۰۰	۸۷/۵۴	۰/۶۸
شاپورخشت	۱۵۹۹۶/۵۶	T۲۵	۵۰۴/۲۶	۵۰۹/۷۵		۵۱۰/۵۲	۰/۰۰۴۵۵	۴/۰۲	۲۱۳/۱۸	۷۸/۴۱	۰/۶۷
شاپورخشت	۱۴۹۵۱/۹۴	T۲۵	۴۹۹/۷۵	۵۰۴/۸۳		۵۰۵/۳۹	۰/۰۰۳۶۲	۳/۳۴	۲۴۳/۳۸	۷۳/۶۳	۰/۵۸
شاپورخشت	۱۳۹۹۰/۵۵	T۲۵	۴۹۶/۹۳	۵۰۰/۷۸		۵۰۱/۳۶	۰/۰۰۳۹۷	۳/۱۳	۲۴۳/۲۵	۸۸/۲۵	۰/۶۰
شاپورخشت	۱۲۹۱۸/۵۴	T۲۵	۴۹۱/۹۹	۴۹۵/۰۸		۴۹۵/۴۹	۰/۰۰۲۱۳	۲/۸۳	۲۸۶/۷۲	۱۱۸/۸۲	۰/۵۷
شاپورخشت	۱۱۹۹۹/۴۰	T۲۵	۴۸۴/۷۴	۴۹۲/۲۰	۰/۳۸	۴۹۲/۷۹	۰/۰۰۱۶۹	۳/۵۲	۲۴۷/۱۲	۵۸/۲۷	۰/۴۸
شاپورخشت	۱۰۹۷۴/۴۴	T۲۵	۴۸۲/۲۲	۴۸۸/۷۳		۴۸۹/۲	۰/۰۰۱۹۷	۲/۸۶	۲۹۵/۰۱	۸۸/۴۶	۰/۴۸
شاپورخشت	۹۹۴۷/۷۳	T۲۵	۴۸۰/۱۲	۴۸۴/۸۹		۴۸۵/۴۹	۰/۰۰۲۵۵	۳/۵۰	۲۹۳/۳۸	۶۷/۵۰	۰/۵۷
شاپورخشت	۸۹۹۱/۸۲	T۲۵	۴۷۷/۵۸	۴۸۲/۶۵		۴۸۳/۱۲	۰/۰۰۲۳۸	۳/۰۵	۲۶۴/۸۲	۸۴/۳۷	۰/۵۳
شاپورخشت	۷۹۶۰/۳۵	T۲۵	۴۷۵/۲۹	۴۷۹/۳۶		۴۷۹/۷۲	۰/۰۰۱۸۰	۲/۶۵	۳۱۳/۶۷	۱۳۸/۵۹	۰/۵۳
شاپورخشت	۶۹۶۶/۵۱	T۲۵	۴۷۲/۳۷	۴۷۶/۴۶		۴۷۶/۷۳	۰/۰۰۱۱۸	۲/۴۲	۴۳۶/۶۶	۲۷۵/۹۳	۰/۴۴
شاپورخشت	۵۹۵۵/۵۸	T۲۵	۴۷۰/۰۳	۴۷۱/۷۳		۴۷۱/۹۲	۰/۰۰۵۱۲	۲/۵۵	۴۶۲/۶۷	۵۵۷/۶۷	۰/۷۷
شاپورخشت	۴۹۷۷/۳۷	T۲۵	۴۶۵/۸۶	۴۶۸/۰۹		۴۶۸/۳۶	۰/۰۰۲۶۶	۲/۱۲	۴۸۲/۷۸	۴۸۳/۱۶	۰/۵۸
شاپورخشت	۳۹۱۳/۳۲	T۲۵	۴۶۱/۹۱	۴۶۴/۲۶		۴۶۴/۴۲	۰/۰۰۳۴۳	۲/۳۱	۵۵۹/۶۳	۶۶۲/۳۲	۰/۵۸
شاپورخشت	۲۹۷۴/۱۸	T۲۵	۴۵۸/۱۹	۴۶۰/۲۶	۰/۴۸	۴۶۰/۳۵	۰/۰۰۱۳۶	۱/۴۴	۶۱۸/۸۸	۵۰۱/۰۲	۰/۴۱
شاپورخشت	۱۹۶۳/۳۲	T۲۵	۴۵۳/۵۶	۴۵۸/۳۵		۴۵۸/۴۵	۰/۰۰۰۷۰	۱/۴۱	۵۷۴/۵۴	۱۸۶/۵۴	۰/۲۵
شاپورخشت	۹۹۱/۲۷	T۲۵	۴۵۰/۹۳	۴۵۶/۵۰		۴۵۶/۹۶	۰/۰۰۳۰۴	۳/۰۵	۲۷۱/۸۱	۷۸/۸۱	۰/۵۳
شاپورخشت	۶۰/۸۵	T۲۵	۴۴۷/۳۱	۴۵۲/۸۲	۰/۸۲	۴۵۴/۳۴	۰/۰۱۱۴۶	۵/۵۵	۱۵۰/۲۳	۴۹/۹۵	۱/۰۲



شکل ۱۳: پروفیل سطح آب با دوره بازگشت ۲۵ سال

جدول ۶- مقادیر پارامترهای هیدرولیکی در مقاطع مختلف رودخانه‌ی شاپورخست با دوره بازگشت ۵۰ سال

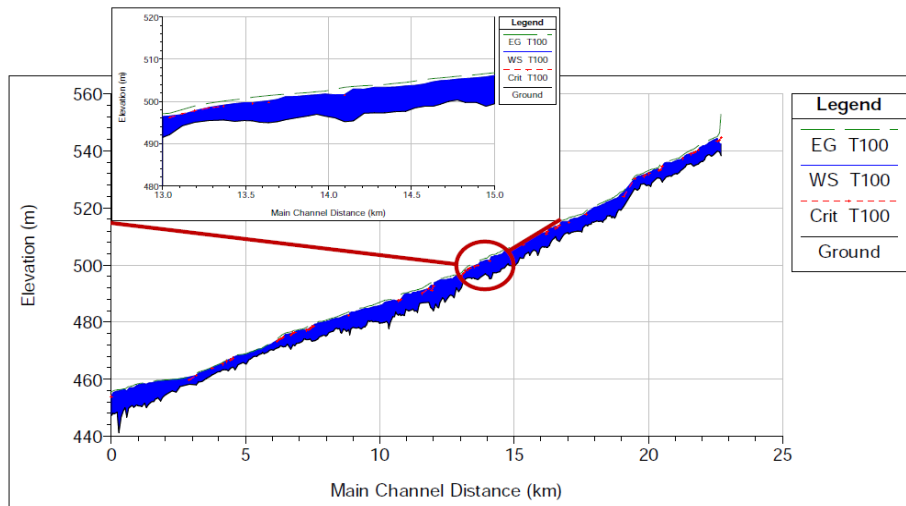
نام رودخانه	کیلومترناژ	پروفیل	حداقل عمق آب (m)	تراز سطح آب (m)	عمق بحرانی (m)	شیب خط انرژی (m)	تراز خط انرژی (m/m)	سرعت کانال (m/s)	سطح مقطع جریان (m <sup>2</sup> )	عرض سطح آزاد (m)	عدد فرود کانال
شاپورخست	/۳۹	T۵۰	۵۳۸/۳۹	۵۴۲/۱۶	۵۴۴/۴۰	۵۵۲/۶۸	۰/۱۳۹۸	۱۴/۸۸	۷۵/۸۸	۵۰/۱۲	۳/۳۱
شاپورخست	/۷۵	T۵۰	۵۳۵/۹۹	۵۴۰/۷۸		۵۴۱/۶۴	۰/۰۰۲۶	۴/۵۷	۲۹۶/۴۸	۹۲/۰۳	۰/۷۰
شاپورخست	/۱۱	T۵۰	۵۳۱/۶۹	۵۳۵/۸۵		۵۳۶/۴۷	۰/۰۰۲۱	۳/۶۸	۳۱۵/۷۴	۱۰۱/۳۴	۰/۶۱
شاپورخست	/۳۰	T۵۰	۵۲۸/۱۹	۵۳۱/۴۶	۵۳۱/۲۰	۵۳۲/۲۴	۰/۰۰۴۴	۳/۹۷	۲۵۵/۱۲	۱۱۹/۵۵	۰/۸۲
شاپورخست	/۵۰	T۵۰	۵۱۹/۳۱	۵۲۴/۰۳		۵۲۴/۸۷	۰/۰۰۶۷	۴/۰۶	۲۳۸/۴۴	۶۹/۲۶	۰/۶۵
شاپورخست	/۰۴	T۵۰	۵۱۵/۰۷	۵۱۹/۴۰		۵۱۹/۹۵	۰/۰۰۴۲	۳/۳۴	۲۹۴/۵۷	۹۱/۲۹	۰/۵۳
شاپورخست	/۸۶	T۵۰	۵۱۱/۲۳	۵۱۴/۹۲		۵۱۵/۶۶	۰/۰۰۲۷	۳/۹۹	۲۶۱/۲۹	۹۰/۲۰	۰/۶۸
شاپورخست	/۵۶	T۵۰	۵۰۴/۲۶	۵۱۰/۰۷		۵۱۰/۹۴	۰/۰۰۴۶	۴/۳۰	۲۳۸/۳۲	۸۰/۶۲	۰/۶۸
شاپورخست	/۹۴	T۵۰	۴۹۹/۷۵	۵۰۵/۲۲		۵۰۵/۸۶	۰/۰۰۳۶	۳/۵۶	۲۷۲/۸۹	۷۴/۷۶	۰/۵۹
شاپورخست	/۵۵	T۵۰	۴۹۶/۹۳	۵۰۱/۱۹		۵۰۱/۸۲	۰/۰۰۳۷	۳/۲۴	۲۷۹/۷۴	۹۰/۵۶	۰/۵۸
شاپورخست	/۵۴	T۵۰	۴۹۱/۹۹	۴۹۵/۶۶		۴۹۶/۰۴	۰/۰۰۱۵	۲/۷۳	۳۵۷/۷۰	۱۲۵/۰۸	۰/۵۰
شاپورخست	/۴۰	T۵۰	۴۸۴/۷۴	۴۹۲/۵۹	۴۹۰/۸۰	۴۹۳/۲۹	۰/۰۰۱۸	۳/۸۷	۲۶۹/۹۹	۵۹/۹۴	۰/۵۱
شاپورخست	/۴۴	T۵۰	۴۸۲/۲۲	۴۸۹/۲۴		۴۸۹/۶۷	۰/۰۰۱۸	۳/۰۰	۳۴۱/۴۵	۹۳/۴۲	۰/۴۷
شاپورخست	۹۹۴۷/۷۳	T۵۰	۴۸۰/۱۲	۴۸۵/۲۷		۴۸۵/۹۷	۰/۰۰۲۶	۳/۷۸	۲۶۵/۲۰	۶۹/۳۴	۰/۵۹
شاپورخست	۸۹۹۱/۸۲	T۵۰	۴۷۷/۵۸	۴۸۳/۰۱		۴۸۳/۵۶	۰/۰۰۲۴	۳/۲۸	۲۹۶/۴۰	۸۶/۴۵	۰/۵۵
شاپورخست	۷۹۶۰/۳۵	T۵۰	۴۷۵/۲۹	۴۷۹/۸۱		۴۸۰/۰۹	۰/۰۰۱۷	۲/۷۷	۳۶۲/۰۸	۱۳۹/۸۰	۰/۵۲
شاپورخست	۶۹۶۶/۵۱	T۵۰	۴۷۲/۳۷	۴۷۶/۶۹		۴۷۶/۹۹	۰/۰۰۱۲	۲/۶۰	۵۰۱/۰۷	۳۰۳/۷۴	۰/۴۶
شاپورخست	۵۹۵۵/۵۸	T۵۰	۴۷۰/۰۳	۴۷۱/۸۶		۴۷۲/۰۵	۰/۰۰۵۰	۲/۶۲	۵۳۵/۲۵	۵۸۸/۲۴	۰/۷۷
شاپورخست	۴۹۷۷/۳۷	T۵۰	۴۶۵/۸۶	۴۶۸/۳۶		۴۶۸/۵۵	۰/۰۰۲۴	۲/۱۹	۵۷۳/۰۶	۵۴۴/۳۵	۰/۵۶
شاپورخست	۳۹۱۳/۳۲	T۵۰	۴۶۱/۹۱	۴۶۴/۳۷		۴۶۴/۵۵	۰/۰۰۳۵	۲/۴۵	۶۴۲/۷۵	۷۸۰/۰۵	۰/۵۹
شاپورخست	۲۹۷۴/۱۸	T۵۰	۴۵۸/۱۹	۴۶۰/۴۱	۴۵۹/۶۰	۴۶۰/۵۲	۰/۰۰۱۳	۱/۵۳	۶۹۹/۳۳	۵۲۴/۰۰	۰/۴۱
شاپورخست	۱۹۶۳/۳۲	T۵۰	۴۵۳/۵۶	۴۵۸/۸۷		۴۵۸/۹۸	۰/۰۰۰۵	۱/۴۵	۶۷۲/۸۵	۱۹۰/۴۵	۰/۲۴
شاپورخست	۹۹۱/۲۷	T۵۰	۴۵۰/۹۳	۴۵۷/۰۶		۴۵۷/۵۴	۰/۰۰۲۷	۳/۱۲	۳۲۰/۹۹	۹۲/۲۰	۰/۵۲
شاپورخست	۶۰/۸۵	T۵۰	۴۴۷/۳۱	۴۵۳/۲۷	۴۵۳/۲۷	۴۵۴/۸۹	۰/۰۱۱۳	۵/۷۳	۱۷۳/۷۳	۵۴/۵۵	۱/۰۲



شکل ۱۴: پروفیل سطح آب با دوره بازگشت ۵۰ سال

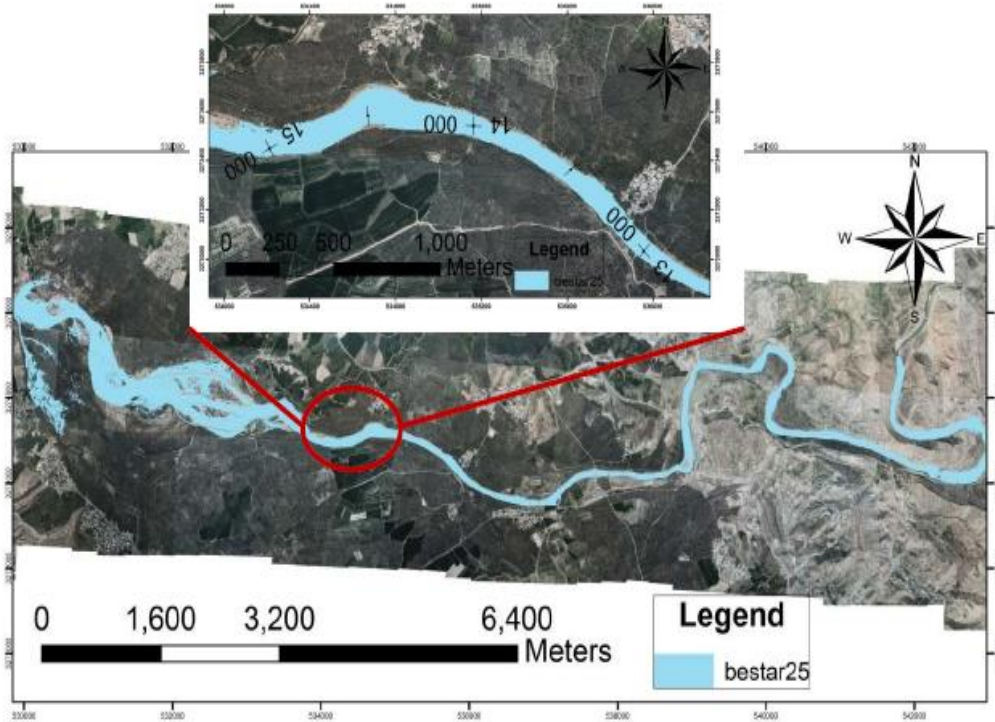
جدول ۷- مقادیر پارامترهای هیدرولیکی در مقاطع مختلف رودخانه‌ی شاپورخشت با دوره بازگشت ۱۰۰ سال

نام رودخانه	کیلومترژ	پروفیل	حداقل عمق آب (m)	تراز سطح آب (m)	عمق بحرانی (m)	شیب خط انرژی (m)	تراز خط انرژی (m/m)	سرعت کانال (m/s)	سطح مقطع جریان (m <sup>2</sup> )	عرض سطح آزاد (m)	عدد فرود کانال
شاپورخشت	۲۲۷۸۶/۳۹	T1۰۰	۵۳۸/۳۹	۵۴۲/۳۳	۵۴۴/۷۴	۵۵۳/۹۱	۰/۱۳۹۷	۱۵/۷	۸۴/۹۴	۵۱/۸۸	۳/۳۵
شاپورخشت	۲۱۹۸۵/۷۵	T1۰۰	۵۳۵/۹۹	۵۴۱/۱۶		۵۴۲/۱۰	۰/۰۰۲۵	۴/۸۱	۳۳۲/۳۹	۹۴/۰۷	۰/۷۰
شاپورخشت	۲۰۹۸۲/۱۱	T1۰۰	۵۳۱/۶۹	۵۳۶/۱۷		۵۳۶/۸۷	۰/۰۰۲۱	۳/۹۳	۳۴۸/۷۲	۱۰۵/۸۲	۰/۶۲
شاپورخشت	۱۹۹۵۰/۳۰	T1۰۰	۵۲۸/۱۹	۵۳۱/۶۵	۵۳۱/۴۳	۵۳۲/۵۵	۰/۰۰۴۶	۴/۲۷	۲۷۸/۷۷	۱۲۷/۲۹	۰/۸۵
شاپورخشت	۱۸۹۹۷/۵۰	T1۰۰	۵۱۹/۳۱	۵۲۴/۳۶		۵۲۵/۳۱	۰/۰۰۶۸	۴/۳۲	۲۶۱/۱۸	۷۰/۴۹	۰/۶۷
شاپورخشت	۱۷۹۸۳/۰۴	T1۰۰	۵۱۵/۰۷	۵۱۹/۶۸		۵۲۰/۳۱	۰/۰۰۴۵	۳/۶۳	۳۲۰/۷۱	۹۷/۴۶	۰/۵۵
شاپورخشت	۱۶۹۹۶/۸۶	T1۰۰	۵۱۱/۲۳	۵۱۵/۲۷		۵۱۶/۰۸	۰/۰۰۲۵	۴/۱۷	۲۹۳/۴۳	۹۲/۸۲	۰/۶۸
شاپورخشت	۱۵۹۹۶/۵۶	T1۰۰	۵۰۴/۲۶	۵۱۰/۳۹		۵۱۱/۳۵	۰/۰۰۴۶	۴/۵۲	۲۶۴/۹۸	۸۶/۶۷	۰/۶۹
شاپورخشت	۱۴۹۵۱/۹۴	T1۰۰	۴۹۹/۷۵	۵۰۵/۶۱		۵۰۶/۳۲	۰/۰۰۳۵	۳/۷۵	۳۰۲/۰۵	۷۵/۶۰	۰/۶۰
شاپورخشت	۱۳۹۹۰/۵۵	T1۰۰	۴۹۶/۹۳	۵۰۱/۵۸		۵۰۲/۲۵	۰/۰۰۳۴	۳/۳۵	۳۱۵/۰۴	۹۲/۳۸	۰/۵۸
شاپورخشت	۱۲۹۱۸/۵۴	T1۰۰	۴۹۱/۹۹	۴۹۶/۲۲		۴۹۶/۵۸	۰/۰۰۱۲	۲/۶۶	۴۳۰/۷۸	۱۳۵/۰۱	۰/۴۶
شاپورخشت	۱۱۹۹۹/۴۰	T1۰۰	۴۸۴/۷۴	۴۹۲/۹۵	۴۹۱/۲۵	۴۹۳/۷۶	۰/۰۰۲۰	۴/۱۹	۲۹۱/۷۷	۶۱/۰۸	۰/۵۳
شاپورخشت	۱۰۹۷۴/۴۴	T1۰۰	۴۸۲/۲۲	۴۸۹/۸۳		۴۹۰/۱۹	۰/۰۰۱۹	۳/۱۲	۳۸۸/۷۲	۹۷/۸۵	۰/۴۷
شاپورخشت	۹۹۴۷/۳۳	T1۰۰	۴۸۰/۱۲	۴۸۵/۶۳		۴۸۶/۴۳	۰/۰۰۲۸	۴/۰۴	۲۹۰/۸۶	۷۱/۴۱	۰/۶۱
شاپورخشت	۸۹۹۱/۸۲	T1۰۰	۴۷۷/۵۸	۴۸۳/۳۶		۴۸۳/۹۸	۰/۰۰۲۴	۳/۴۸	۳۲۶/۷۴	۸۷/۵۴	۰/۵۶
شاپورخشت	۷۹۶۰/۳۵	T1۰۰	۴۷۵/۲۹	۴۷۹/۹۹		۴۸۰/۴۲	۰/۰۰۱۶	۲/۹۳	۴۰۱/۵۷	۱۴۰/۲۵	۰/۵۲
شاپورخشت	۶۹۶۶/۵۱	T1۰۰	۴۷۲/۳۷	۴۷۶/۸۹		۴۷۷/۲۳	۰/۰۰۱۳	۲/۷۸	۵۶۶/۳۴	۳۴۸/۳۵	۰/۴۷
شاپورخشت	۵۹۵۵/۵۸	T1۰۰	۴۷۰/۰۳	۴۷۱/۹۸		۴۷۲/۱۸	۰/۰۰۴۹	۲/۶۴	۶۱۱/۱۵	۶۲۴/۵۹	۰/۷۷
شاپورخشت	۴۹۷۷/۳۷	T1۰۰	۴۶۵/۸۶	۴۶۸/۵۲		۴۶۸/۷۱	۰/۰۰۲۲	۲/۲۵	۶۶۵/۰۴	۵۹۷/۴۸	۰/۵۵
شاپورخشت	۳۹۱۳/۳۲	T1۰۰	۴۶۱/۹۱	۴۶۴/۴۸		۴۶۴/۶۷	۰/۰۰۳۶	۲/۵۹	۷۳۳/۵۶	۸۸۴/۶۷	۰/۶۱
شاپورخشت	۲۹۷۴/۱۸	T1۰۰	۴۵۸/۱۹	۴۶۰/۵۸	۴۵۹/۷۲	۴۶۰/۶۹	۰/۰۰۱۲	۱/۶۰	۷۸۷/۵۴	۵۷۱/۸۶	۰/۴۱
شاپورخشت	۱۹۶۳/۳۲	T1۰۰	۴۵۳/۵۶	۴۵۹/۳۷		۴۵۹/۴۸	۰/۰۰۰۵	۱/۴۸	۷۶۷/۹۸	۱۹۱/۸۸	۰/۲۳
شاپورخشت	۹۹۱/۲۷	T1۰۰	۴۵۰/۹۳	۴۵۷/۵۶		۴۵۸/۰۶	۰/۰۰۲۴	۳/۲۳	۳۷۷/۰۳	۹۵/۶۳	۰/۵۰
شاپورخشت	۶۰/۸۵	T1۰۰	۴۴۷/۳۱	۴۵۳/۶۹	۴۵۳/۶۹	۴۵۵/۴۱	۰/۰۱۰۸	۵/۸۹	۱۹۷/۳۶	۵۷/۴۹	۱/۰۱

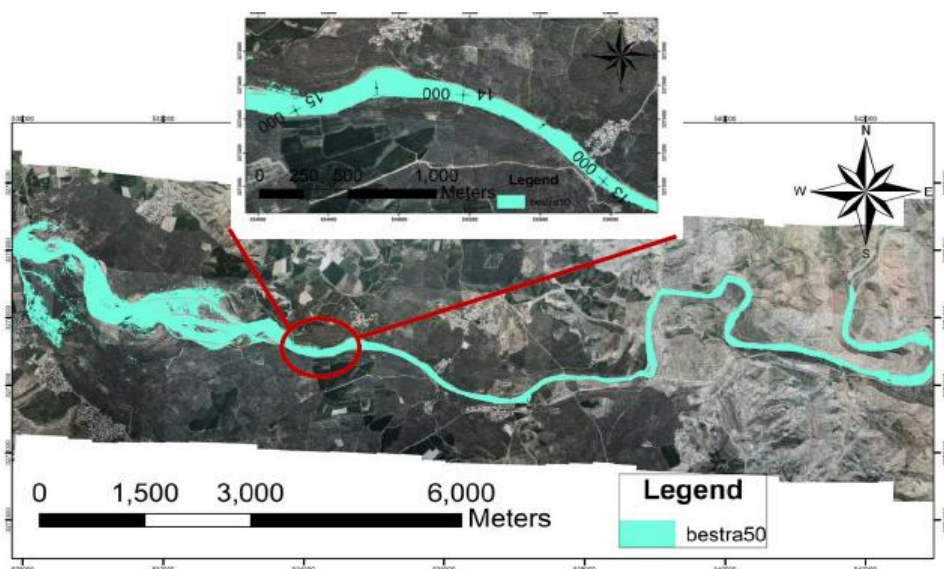


شکل ۱۵: پروفیل سطح آب با دوره بازگشت ۱۰۰ سال

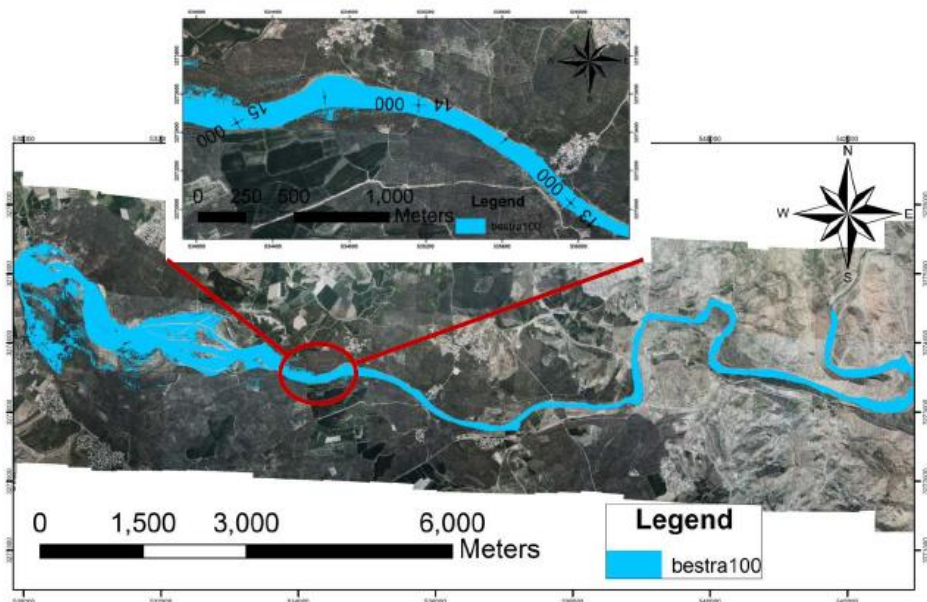
در ادامه، نقشه‌ی پهنه‌ی سیلاب با دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله، بر روی عکس‌های Orthophoto با استفاده از مشخصات هیدرولیکی رودخانه به‌دست آمده است که در (شکل‌های ۱۶ تا ۱۸)، به‌چشم می‌خورد (فالکنر<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۰۹: ۱۶).



شکل ۱۶: پهنه‌ی سیلاب رودخانه‌ی شاپورخشت با دوره بازگشت ۲۵ سال



شکل ۱۷: پهنه‌ی سیلاب رودخانه‌ی شاپورخست با دوره بازگشت ۵۰ سال



شکل ۱۸: پهنه‌ی سیلاب رودخانه‌ی شاپورخست با دوره بازگشت ۱۰۰ سال

مطالعات رژیم جریان از دیدگاه زیربحرانی و فوق بحرانی، مقادیر حداکثر و حداقل سرعت و ... می‌تواند اطلاعات مناسبی در مورد مشخصات جریان در شرایط سیلابی ارائه دهد. بدین منظور اطلاعات رودخانه‌ی شاپورخست در (جدول ۸) آورده شده است و همان‌گونه که از اعداد مندرج در جدول برمی‌آید، جریان در اکثر بازه‌ها، شرایط زیر بحرانی را تجربه می‌نماید و همچنین متوسط سرعت رودخانه با دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله، به ترتیب برابر با  $\frac{3}{2}$ ،  $\frac{3}{4}$  و  $\frac{3}{6}$  متر بر ثانیه است.



جدول ۸- مقادیر حداقل، متوسط و حداکثر مشخصه‌های جریان به ازای سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف رودخانه‌ی مورد مطالعه

دوره بازگشت وقایع سیلاب	مشخصه‌ی جریان	ساحل (سیلاب‌دشت) راست رودخانه			کانال اصلی رودخانه			ساحل (سیلاب‌دشت) چپ رودخانه		
		حداقل	متوسط	حداکثر	حداقل	متوسط	حداکثر	حداقل	متوسط	حداکثر
۲۵ ساله	سرعت جریان (متر بر ثانیه)	۰/۰۴	۱/۵۲	۳/۷۸	۰/۰۴	۱/۵۲	۳/۷۸	۰/۰۴	۱/۷۱	۵/۷۹
	عرض سطح آب (متر)	۰/۰۳	۲۹/۹۰	۳۵۹/۱۴	۰/۰۳	۲۹/۹۰	۳۶۶/۶۵	۰/۰۱	۴۱/۷۷	۶۰۲/۳۷
	سطح مقطع جریان (متر مربع)	۰/۰۲	۳۲/۸۱	۳۹۸/۴۷	۰/۰۲	۳۲/۸۱	۵۵۴/۷۹	۰/۰۱	۴۴/۹۶	۴۵۵/۲۳
	عدد فرود جریان	-	-	-	-	-	۳/۲۶	-	-	-
۵۰ ساله	سرعت جریان (متر بر ثانیه)	۰/۱۲	۱/۶۴	۴/۰۴	۰/۱۲	۱/۶۴	۷/۹۸	۰/۰۶	۱/۸۳	۶/۱۰
	عرض سطح آب (متر)	۰/۲۰	۳۲/۷۱	۳۶۳/۰۹	۰/۲۰	۳۲/۷۱	۳۷۵/۸۳	۰/۰۹	۴۷/۰۲	۶۸۷/۷۴
	سطح مقطع جریان (متر مربع)	۰/۰۲	۳۸/۱۹	۴۴۵/۹۸	۰/۰۲	۳۸/۱۹	۶۴۷/۱۸	۰/۰۴	۵۳/۳۲	۵۳۵/۹۲
	عدد فرود جریان	-	-	-	-	-	۳/۳۱	-	-	-
۱۰۰ ساله	سرعت جریان (متر بر ثانیه)	۰/۱۱	۱/۷۵	۴/۴۳	۰/۱۱	۱/۷۵	۸/۷۶	۰/۱۴	۱/۹۳	۵/۸۰
	عرض سطح آب (متر)	۰/۱۲	۳۶/۲۵	۳۶۶/۸۹	۰/۱۲	۳۶/۲۵	۳۸۷/۵۱	۰/۳۸	۵۳/۰۸	۷۹۷/۲۱
	سطح مقطع جریان (متر مربع)	۰/۰۴	۴۵/۱۵	۴۹۲/۱۹	۰/۰۴	۴۵/۱۵	۷۳۴/۹۶	۰/۰۵	۶۲/۳۱	۶۲۵/۱۹
	عدد فرود جریان	-	-	-	-	-	۳/۳۵	-	-	-

## نتیجه گیری

در تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌های سیلاب، یکی از بخش‌های مهم مدل‌سازی، معرفی دقیق هندسه و خصوصیات رودخانه است. در گذشته برای آن‌که بتوان مدل‌سازی دقیقی را به انجام رسانید، ضرورت داشت از تعداد مقاطع عرضی بسیاری با فاصله مناسب، نقشه‌برداری به عمل می‌آمد تا بتوان به صحت مدل‌سازی، اعتماد نمود. در نتیجه با توجه به آنکه بخش اعظم رودخانه‌ها در مناطق صعب‌العبور واقع شده و امکان نقشه‌برداری از این مناطق سخت یا غیرممکن می‌باشد، نیاز به ساده‌سازی نقشه‌برداری احساس می‌گردد و لذا امروزه با استفاده از عکس‌های Orthophoto، این مهم، محقق گردیده است. استفاده از عکس‌های Orthophoto به جای نقشه‌برداری زمینی، باعث می‌شود که در زمان صرفه‌جویی گردد زیرا نقشه‌برداری زمینی، بسیار وقت‌گیر و دشوار بوده و تعداد نقاط برداشت شده در یک مقطع عرضی در این روش، بسیار زیاد می‌باشد و لذا استفاده از عکس‌های یاد شده، باعث افزایش دقت در تهیه‌ی پهنه‌های سیلاب می‌گردد. همچنین از دیگر مزایای این روش آن است که دیگر محدودیتی نیز برای مشخص نمودن تعداد و

مکان مقاطع عرضی نخواهیم داشت. در خصوص مدل‌سازی هیدرولیکی رودخانه‌ی مورد مطالعه در این پژوهش نیز با توجه به سهولت دسترسی، بدون هزینه بودن و سایر قابلیت‌های موجود در نرم‌افزار HEC-RAS از جمله انطباق با فرمت اطلاعات نقشه‌برداری، نقشه‌های توپوگرافی، قابلیت گرافیکی قوی، خصوصیات کاربردی در تهیه‌ی پهنه‌ی سیلاب و الحاق آن به نرم‌افزار ArcGIS، باعث گردید تا از این روش مدل‌سازی، بهره‌مند شویم. همچنین خاطرنشان می‌گردد که مطالعات رژیم جریان از دیدگاه زیربحرانی و فوق‌بحرانی، مقادیر حداقل و حداکثر سرعت و ... نیز می‌تواند اطلاعات مناسبی در مورد مشخصات جریان در شرایط سیلابی ارائه دهد، به طوری که در رودخانه‌ی شاپورخشت (رودخانه‌ی مورد مطالعه) حد فاصل روستای چروم تا روستای چیتی، جریان در اکثر بازه‌های خود، شرایط جریان زیر بحرانی را تجربه کرده و متوسط سرعت این رودخانه در دوره بازگشت‌های ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به ترتیب برابر با ۳/۲، ۳/۴ و ۳/۶ متر بر ثانیه می‌باشد. همچنین در این بازه از رودخانه، پهنه‌های سیل‌گیر با دوره بازگشت‌های مختلف، تفاوت چندانی در میزان اراضی سیل‌گیر ندارند. لذا در نهایت می‌توان به طور کلی اظهار داشت که از نقشه‌های پهنه‌ی سیل‌گیر می‌توان در تدوین طرح‌های مقابله‌ی اضطراری با سیلاب، مشخص نمودن اراضی سیل‌گیر در سامانه‌های هشدار سیلاب، کمک‌رسانی و تخلیه‌ی مناطق در خطر سیلاب، تعیین نرخ بیمه‌ی سیلاب پهنه‌بندی‌شده با خطرات متفاوت و تحلیل اقتصادی طرح‌های مهار سیلاب در حوزه‌ی علوم و مهندسی رودخانه، استفاده و بهره‌ی کافی است.

## منابع

- درخشان، ش؛ غلامی و؛ تقوی سلیمی، ا (۱۳۸۹)، «شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی رودخانه‌های گوهررود و سیاه‌رود با سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل هیدرولیکی HEC-RAS»، *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، شماره ۱۹، صص ۷۹-۶۵.
- درویشی لاسبز، ب؛ برهمند، نادر (۱۳۹۲)، «شبیه‌سازی پهنه‌بندی سیل با استفاده از مدل (HEC-RAS) مطالعه موردی: رودخانه کارون، حوضه کوت سید شریف»، *پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تهران، انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران، ۳۰-۲۹ بهمن ماه ۱۳۹۲*، دانشگاه شهید بهشتی.
- رستمی قراگزلو، م؛ اردشیر، ع؛ اقبالی، س (۱۳۸۴)، «ارائه روشی مناسب در سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS به منظور بهبود پهنه‌بندی سیلاب رودخانه‌ها»، *پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، ۲۱ آبان ماه ۱۳۸۴*، کرمان، دانشگاه باهنر کرمان.
- روشن، ح؛ وهابزاده، ق؛ سلیمانی، ک؛ فرهادی، ر (۱۳۹۲)، «شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی رودخانه با استفاده از مدل HEC-RAS در محیط GIS (مطالعه‌ی موردی رودخانه‌ی بشار، استان کهگیلویه و بویراحمد)»، *پژوهشنامه‌ی مدیریت حوضه‌ی آبخیز*، شماره ۷، صص ۸۴-۷۰.
- سازمان برنامه و بودجه (۱۳۸۴)، «راهنمای پهنه‌بندی سیل و تعیین حد بستر و حریم رودخانه»، تهران، *نشریه شماره ۳۰۷*.
- عاشوری، م؛ رضایی مقدم، م؛ پیری، ز (۱۳۹۲)، «بررسی تغییر مورفولوژی بستر رودخانه پیش و پس از احداث سد با استفاده از HEC-RAS و GIS (مطالعه موردی: منطقه پایین‌دست سد ستارخان اهر)»، *مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، شماره ۱، صص ۱۰۰-۸۷.
- فرجی سبکبار، ح؛ حسین‌پور، س؛ ملکیان، آ؛ کیانی‌آرد، هانیه (۱۳۹۳)، «مقایسه کارایی مدل‌های MCDM در مکان‌یابی پخش سیلاب در محیط GIS، مطالعه موردی: حوضه آبریز گربایگان»، *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، شماره ۴۹، صص ۱۹۰-۱۶۷.
- قمی‌اویلی، ف؛ صادقیان، م. ص؛ جاوید، ا. ح؛ میرباقری، س. ا (۱۳۸۹)، «شبیه‌سازی پهنه‌بندی سیل با استفاده از مدل HEC-RAS، مطالعه موردی رودخانه‌ی کتروان حد فاصل بند قیر تا اهواز»، *فصلنامه علوم و فنون منابع طبیعی*، شماره ۱، صص ۱۱۵-۱۰۵.
- یمانی، م؛ تورانی، م؛ چزغه، س (۱۳۹۱)، «تهیه پهنه‌ی سیل‌گیر با استفاده از مدل (HEC-RAS) مطالعه‌ی موردی: بالادست سد طالقان از پل گلینک تا پل وشته»، *مجله‌ی جغرافیا و مخاطرات محیطی*، شماره ۱، صص ۱۶-۱.
- Falkner, E., Morgan, D., (2002), "Aerial mapping methods and applications", A CRC Press Company, Boca Raton– London–New York (Washington, D.C.), Lewis Publishers.

- Kamanbedast, A., Esfandiar, Y., (2011), "Investigation and study of morphological changing of rivers using HEC-GeoRAS and Mike 11 Software", *World Applied Sciences Journal*, 13 (5): 1253-1258.
- Kardavani, P., Qalehe, M. S., (2013), "Efficiency of hydraulic models for flood zoning using GIS (Case Study: Ay-Doghmush River Basin)", *Life Science Journal*, 10 (2): 915-924.
- Pappenberger, F., Deven, K., Horrit, M., Blazkova, S., (2005), "Uncertainty in the calibration of effective roughness parameters in HEC-RAS using inundation and downstream level observation", *Journal of Hydrology*, 32: 46-69.
- Shahiri Parsa, A., Heydari, M., Sadeghian, M. S., Moharrampour, M., (2013), "Flood zoning simulation by HEC-RAS model (Case Study: Johor River-Kota Tinggi Region)", *Journal of River Engineering Journal of River Engineering*. [on line]: (<http://www.scljour.com>).
- Smith, G. S., (1995), "Digital orthophotography and GIS, environmental systems research Institute", Conference Proceedings, Palm Springs, California. [on line]: (<http://www.esri.com/library/userconf/proc95/to150/p124.html>).
- Tale, E. C., Olivera, F., Maidment, D., (1999), "Flood plain mapping using HEC-RAS and ARCVIEW GIS", The University of Texas at Austin, 223 P.
- Todd, H., (2004), "Comparison of HEC-RAS and MIKE11 unsteady flow modeling for the Tillamook Valley", World water and environmental resources congress, June 27-July 1, 2004, Salt Lake City, Utah, United States.