

وجود دارد. در گام بعد ضریب زبری سیلاب‌دشت با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی و تعیین الگوهای موجود، برای شبیه‌سازی سیلاب تعیین گردید. در ادامه با توجه به داده‌های توپوگرافی، پس از تهیه فایل Tin منطقه، با اجرای بسته الحاقی Hec-GeoRAS، نسبت به تهیه و استخراج Feature Class‌های مربوط به خط مرکزی و اصلی رودخانه، محدوده جناحین و دیواره‌های چپ و راست مسیر اصلی رودخانه، محدوده جناحین چپ و راست سیلابی رودخانه و مقاطع عرضی رودخانه اقدام گردید. به دنبال آن با انتقال اطلاعات مذکور به مدل HEC-RAS و وارد نمودن مقادیر ضریب زبری مانینگ در هر یک از مقاطع عرضی و تعریف آبراه‌ها و سرشاخه‌های ورودی به رودخانه اصلی (Junctions)، و همچنین تعریف شرایط مرزی، مدل HEC-RAS در شرایط غیرماندگار اجرا گردید. در نهایت نتایج خروجی مدل HEC-RAS به تفکیک در هر دوره بازگشت سیل، مجدداً وارد بسته الحاقی Hec-GeoRAS گردید. و در خاتمه با پردازش‌های لازم، نقشه‌های پهنه‌های سیلابی منطقه تهیه گردید و پارامترهایی نظیر مساحت مناطق آبگرفتگی، عمق سیلاب در بازه‌های مختلف و سایر پارامترهای هندسی و هیدرولیکی مورد نیاز استخراج گردید. در واقع آنالیز جریان سیلاب و نحوه گسترش آن در توپوگرافی منطقه، با توجه به شرایط حاکم بر جریان، عوارض موجود، ضریب زبری و... منجر به تولید نقشه‌هایی موسوم به "نقشه‌های آب‌گرفتگی مناطق" گردید.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی سیلاب، سیستم اطلاعات جغرافیایی، شبیه‌سازی، ضریب زبری، مدیریت سیل، HEC_RAS، HEC_GeoRAS

مقدمه

دشت سیلابی رودخانه‌ها کانون فعالیت کشاورزی، تفرجگاهی و تفریحی بوده و باید در مقابل خطرات احتمالی محافظت شوند. از مهم‌ترین این خطرات جاری شدن سیلاب می‌باشد که ممکن است تمام دشت سیلابی را فرا گرفته و خسارت زیادی به بار آورد. از این رو، باید با شناخت دقیق هیدرولیک جریان در دشت‌های سیلابی روش‌های مناسب و مؤثری را برای مدیریت و کنترل سیلاب انتخاب نمود.

مفهوم پهنه‌بندی سیل بر این اصل استوار است که دشت سیلابی و کانال رودخانه یک مجموعه واحد بوده و جلگه سیلابی یک قسمت

کاربرد مدل‌های ریاضی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در تولید نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب (مطالعه موردی رودخانه اترک)

سید احمد حسینی^۱

تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۲۳

چکیده

در پروژه‌های حریم‌یابی رودخانه‌ها، هدف از مطالعات هیدرولیک رودخانه، تعیین حد حریم و بستر رودخانه و ظرفیت عبور سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف می‌باشد. تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب به‌عنوان اولین گام در مدیریت ریسک سیلاب محسوب می‌شود. این نقشه‌ها نمایانگر مناطق پرخطر بوده که نه تنها بر اساس تجزیه و تحلیل و شبیه‌سازی جریان سیلاب در وضعیت فعلی محاسبه شده‌اند بلکه سیلاب‌های تاریخی و محدوده‌های در معرض خطر شکست سازه‌های مهار سیلاب را در حالت‌های احتمالی نیز نمایش می‌دهند. این نقشه‌ها نقش مهمی در رسیدن به مناطق پرخطر سیلاب را نیز ایفا می‌نمایند. در حال حاضر استفاده از مدل‌های ریاضی، حل معادلات حاکم بر جریان را آسان نموده و در جامعه مهندسی برای شبیه‌سازی سیلاب در تحلیل‌های مدیریتی نیز کاربرد فراوانی پیدا کرده است. در این مقاله نتایج شبیه‌سازی هیدرولیکی در بازه‌ای از رودخانه‌ی اترک واقع در استان خراسان شمالی از روستای سیسپاب تا عشق‌آباد، به طول حدود ۱۰۰ کیلومتر، و با در نظر گرفتن بیش از ۵۰ شاخه ورودی به رودخانه‌ی اترک، با به‌کارگیری توام مدل‌های HEC_RAS، HEC_GEOAS و ARC GIS به‌منظور تعیین پهنه‌های سیل‌گیر منطقه ارائه شده است به‌طوری‌که ابتدا پس از تعیین مقادیر هیدروگراف سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف، مناطق سیلاب‌دشت هدف و رودخانه‌ی اصلی با مقیاس مناسب نقشه‌برداری گردید. شایان ذکر است تعیین سیلاب‌دشت هدف بر اساس نقشه‌های مساحت تخمینی مناطق سیل‌گیر و با استفاده از داده‌های مربوط به سیلاب‌های گذشته، به‌دست آمده و مشتمل بر مناطقی است که احتمال آب‌گرفتگی آن‌ها در سیلاب هدف

۱. عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری
hosseini_sa@scwmri.ac.ir

از رودخانه است که در مواقع طغیان رودخانه‌ها، آب ممکن است کل آن و یا قسمتی از آن را فرا گیرد.

این گستره به صورت پهن‌شدگی و در واقع جریان یافتن آب در مقطع بزرگ‌تر از مقطع عادی رودخانه، در اطراف آن حاصل می‌شود. هدف از مطالعات گستره سیل آگاهی یافتن از چگونگی رفتار رودخانه در مواقع سیلابی است. با به‌دست آوردن نقشه‌های گستره سیل برای دوره بازگشت‌های مختلف می‌توان امکان ساخت تأسیسات مهم در محدوده‌های سیل‌گیر را بررسی نمود. همچنین این مطالعات می‌تواند بهترین راه‌حل‌ها را جهت کنترل سیلاب در اختیار کارشناسان قرار دهد. به علاوه توسط این مطالعات می‌توان یک سیستم اطلاع‌رسانی به وجود آورد که در آن زمان انتقال سیلاب به مناطق مورد نظر را توسط یک ایستگاه اندازه‌گیری در بالادست تحت کنترل درآورد.

به‌طور خلاصه مطالعات پهنه‌بندی سیل اهداف زیر را نیز تأمین می‌کند.

الف- تعیین ظرفیت رودخانه در بازه مورد مطالعه و روندیابی سیلاب رودخانه،

ب- به‌دست آوردن نقشه‌های گستره سیلاب با دوره برگشت‌های مختلف،

ج- به وجود آوردن یک سیستم اطلاع‌رسانی موقت جهت آگاهی از زمان رسیدن سیلاب به مناطق مهم پایین‌دست،

د- تعیین حریم و بستر رودخانه‌ها به منظور جلوگیری از ساخت و سازهای غیر قانونی، برداشت آب غیر مجاز از رودخانه، کشت و زرع در حریم و بستر رودخانه و بالاخره مدیریت جامع منابع آبی و خاک اطراف رودخانه‌ها،

ه- آگاهی از بهترین روش‌های کنترل سیلاب،

و- مدیریت ساخت تأسیسات مهم در حاشیه رودخانه و همچنین امکان بهره‌برداری از اراضی موجود در حریم رودخانه.

در زمینه پهنه‌بندی سیل نرم‌افزارهای متعددی ارائه شده که توانمندی‌های متفاوتی در زمینه برآورد خصوصیات جریان و در نتیجه سطوح سیل‌گیری دارند، از این‌رو، جهت رسیدن به این مهم متداول‌ترین نرم‌افزارهای مورد استفاده در زمینه تعیین پهنه‌بندی، مجموعه نرم‌افزارهای HEC.MIKE11 می‌باشد، که در این مقاله نتایج کاربرد نرم‌افزار HEC-RAS با کمک ARC GIS و بسته الحاقی HEC_GeoRas، جهت تعیین پهنه‌های سیل ارائه می‌گردد.

در این رابطه مطالعات مختلفی توسط محققین داخلی و خارجی صورت گرفته است، به‌طورمثال صفری [5]، در مطالعه موردی روی رودخانه نکا واقع در استان مازندران، با استفاده از مدل HEC-RAS اقدام به پهنه‌بندی خطر سیل نمود و نتیجه گرفت که این مدل کارایی بسیار بالایی در محاسبه پروفیل آب و پهنه‌های سیلاب دارد. آرمان [1]، در مطالعه بازه ای از رودخانه کرج (سیرا-پل خواب)، با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS به پهنه‌بندی سیل و تجزیه و تحلیل داده‌ها جهت کالیبره کردن ضریب زبری مانینگ پرداخته و به این

نتیجه رسید که به علت شیب زیاد این بازه، افزایش ارتفاع سیل در این بازه تأثیر زیادی در گسترش پهنه‌سیل ندارد. همچنین عامل ضریب زبری نیز تأثیر محسوسی را در افزایش ارتفاع جریان نشان نمی‌دهد. شکوری [4]، با استفاده از نرم‌افزارهای HEC-RAS و ARCVIEW با تأکید بر صحت‌سنجی داده‌های هیدرومتری، تأثیر روش‌های مختلف تخمین ضریب زبری در میزان دقت پهنه‌بندی سیل را بررسی نمود و به این نتیجه رسید که از بین روش‌های تخمین ضریب زبری، روش مستقیم دقیق‌ترین روش می‌باشد. باقری و همکاران [2]، با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS به پهنه‌بندی سیلاب رودخانه گرمروید پرداخته و به این نتیجه رسیدند که دلیل افزایش خسارات و سطح سیل‌گیری در سیل‌های ۲ تا ۲۵ ساله را می‌توان در رفتار طبیعی رودخانه و اعمال غیر طبیعی و سودجویانه بهره‌برداران جستجو نمود.

جیمز و همکاران [9]، اقدام به پهنه‌بندی سیل در ایالت یوتای آمریکا نمودند و اظهار داشتند که به علت تغییرات مناطق سیل‌گیر از سیلی به سیل بعدی، باید توجه نمود که در مناطق پهنه‌بندی شده، میزان خطرات به مقدار واقعی نشان داده شوند.

هاریت و باتس [8]، در بازه‌ای به طول ۶۰ کیلومتر از رودخانه Severn در کشور انگلستان مدل‌های HEC-RAS، LISFLOOD و FP و ۲D-TELEMAC را ارزیابی کرده و به این نتیجه رسیدند که مدل‌های HEC-RAS و ۲D-TELEMAC می‌تواند برای دبی یا داده‌های منطقه سیل گرفته، کالیبره شود و به خوبی می‌تواند منطقه مورد هجوم سیل را پیش‌بینی کنند.

آدم [7]، با استفاده از مدل HEC-RAS تغییرات سرعت و عدد فرود را در دو نوع رودخانه جنگلی و غیر جنگلی مورد بررسی قرار داده و تأثیر پوشش گیاهی بر رژیم و رفتار فیزیکی جریان را مورد مقایسه قرار داده و نتیجه گرفت که استفاده از مدل HEC-RAS می‌تواند مقادیر عددی مناسبی را جهت مطالعه رژیم و سایر خصوصیات هیدرولیکی جریان رودخانه در اختیار محققین قرار دهد. پاپن برگر و همکاران [11]، با استفاده از مدل HEC-RAS تأثیر تغییرات ضریب زبری روی سیل را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که در کالیبره کردن پارامترهای ضریب زبری عدم قطعیت وجود دارد.

نبل و همکاران [10]، در حوزه آبخیز رودخانه سان آنتونیو در تگزاس مرکزی در کشور ایالات متحده با استفاده از نرم‌افزارهای HEC-RAS، GIS.HEC-HMS و NEXRAD-RAINFALL سیلی را که در تابستان سال ۲۰۰۲ اتفاق افتاده بود شبیه‌سازی نموده، و پس از کالیبره کردن آن، به این نتیجه رسیدند که نتایج شبیه‌سازی جریان غیرماندگار توسط مدل HEC-RAS، در مقایسه با عکس‌های هوایی منطقه نتایج قابل قبولی ارائه می‌کند.

با توجه به مطالعات و تحقیقات قبلی انجام شده و کاربرد مدل‌های مختلف در تعیین پهنه‌بندی سیلاب، در این مقاله نیز اقدام به ذکر نتایج حاصل از کاربرد مدل‌های HEC-RAS و HEC_GeoRas،

در شرایط جریان غیرماندگار، به منظور تعیین پهنه‌بندی سیلاب حوزه رودخانه اترک گردیده است.

مواد و روش‌ها

حوزه آبریز رودخانه‌ی اترک در شمال شرق کشور و در شمال استان خراسان قرار دارد. رودخانه اترک با طول ۵۸۳ کیلومتر در این حوزه که از شرق به غرب جریان داشته و نهایتاً به دریای خزر می‌ریزد، از شمال به ترکمنستان، از جنوب به حوزه‌های آبریز گرگان رود و کال شور (کویر مرکزی)، از شرق به حوزه آبریز قره‌قوم و از غرب به دریای خزر محدود می‌گردد.

بستر رودخانه‌ی اترک در مناطق میانی آن (محدوده مورد مطالعه) در اثر جریان یافتن سیل دچار فرسایش شده و عموماً از بریدگی‌ها و پیچ و خم‌های ناشی از فرسایش تشکیل شده است. ضریب پیچان رودی رودخانه در این بازه ۱/۶۹ است. اگر ضریب ۱/۱۵ را به عنوان رودخانه پیچان‌رودی بپذیریم لذا رودخانه در این بازه بسیار پیچان‌رود محسوب می‌شود و فرسایش کناری رودخانه در وضعیت بحرانی قرار دارد.

بر اساس مطالعات فیزیوگرافی در محدوده مورد مطالعه (بازه سیسب تا روستای عشق‌آباد) شاخه‌های اصلی و فرعی زیادی به رودخانه اترک وارد می‌شود. شاخه‌های اصلی که در این بازه به رودخانه وارد می‌شوند عبارتند از رودخانه‌های چناران، بدرانلو، سملقان و شیرین دره. همچنین تعداد زیادی شاخه فرعی شناسایی شده است که به رودخانه اترک وارد می‌شوند، از این رو، تنها تعدادی از آنها که دارای دبی بالای ۱/۵ مترمکعب در ثانیه و مؤثر در ایجاد سیلاب در رودخانه هستند برای شبیه‌سازی در مدل استفاده گردیدند. شکل (۱) موقعیت حوزه و زیرحوزه‌های اترک را در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد.

تهیه اطلاعات و مدل‌های موردنیاز

۱- استخراج اطلاعات اولیه

در انجام مطالعات هیدرولیک سیل در رودخانه‌ها، در مرحله نخست نیاز به چهار دسته اطلاعات اولیه‌ی ذیل می‌باشد.

الف- اطلاعات توپوگرافی مسیر رودخانه و گستره سیل

ب- عکس‌های هوایی یا ماهواره‌ای هنگام وقوع سیلاب

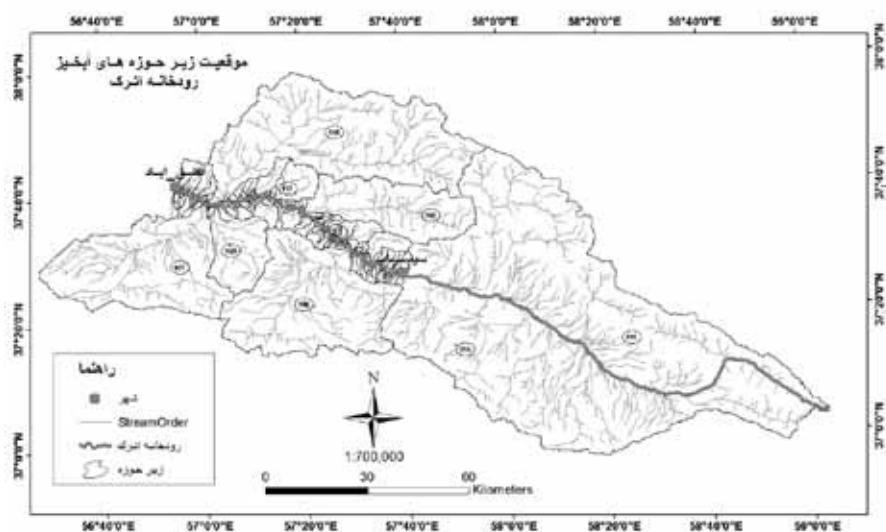
به منظور مشاهده بریدگی‌های رودخانه از حریم رودخانه تا فاصله‌ی تقریبی دو کیلومتر نیاز به عکس‌های هوایی یا ماهواره‌ای منطقه در هنگام سیلاب می‌باشد. مقیاس این عکس‌ها با توجه به مورد ۱:۲۰۰۰۰ و ۱:۴۰۰۰۰ می‌باشد. همچنین تصاویر ماهواره‌ای هنگام سیلاب جهت مشاهده‌ی محدوده‌ی گستره سیلاب و کالیبره کردن این محدوده توسط مدل ریاضی مورد نیاز می‌باشد. مقیاس این عکس‌ها نیز با توجه به مورد می‌تواند ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰۰ باشد. در این مطالعات از عکس‌های هوایی با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ و تصاویر گوگل ارث با قدرت تفکیک بالا جهت بررسی وضعیت رودخانه و بریدگی‌ها استفاده شد.

ج- اطلاعات حاصل از بازدیدهای میدانی

با توجه به مقیاس بالای عکس‌ها و تصاویر ماهواره‌ای، به منظور بررسی محلی و تدقیق مشاهدات حاصل از عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای، نیاز به بازدید محلی از رودخانه و علی‌الخصوص طرح پرسش‌های لازم در این مورد از اهالی بومی منطقه می‌باشد.

د- آمار و اطلاعات هیدرولوژی

مطالعات هیدرولوژی با هدف بررسی و برآورد سیلاب‌ها و دبی‌های لحظه‌ای انجام می‌گیرد. البته برای تعیین نقشه‌های پهنه‌بندی سیل در دوره بازگشت‌های مختلف، دبی‌های با دوره بازگشت



شکل ۱- نقشه موقعیت مکانی حوزه و زیرحوزه‌های رودخانه اترک در منطقه مورد مطالعه

مختلف نیز مورد محاسبه قرار گرفت. به طوری که به منظور انجام مطالعات هیدرولوژی ابتدا با استفاده از نقشه‌های راداری ۱:۱۰۰۰۰۰، مطالعات فیزیوگرافی و هواشناسی در محدوده‌ی مورد مطالعه انجام و سپس با تحلیل داده‌های ایستگاه‌های آب‌سنجی بر روی رودخانه اترک و شاخه‌های ورودی به آن، داده‌های هیدرولوژی مورد نیاز استخراج گردید. جدول (۱) خلاصه‌ای از مقادیر دبی اوج سیلاب با دوره بازگشت مختلف برای رودخانه‌ی اترک در ایستگاه‌های رضاآباد، قلعه بربر، قزلقان، بدرانلو، سملقان و سایر شاخه‌های مهم ورودی به رودخانه را نشان می‌دهد.

۲- استخراج مقادیر ضریب زبری مانینگ (n)

برای تعیین مقدار ضریب زبری (n)، روش‌های متعددی وجود

دارد، از جمله جداول نوع مصالح بستر و کانال، روش‌های تجربی، روش‌های تحلیلی، تهیه اسلاید و عکس و مقایسه آنها با n‌های محاسبه شده از تصاویر و جداول استاندارد. مقدار n در رودخانه‌های طبیعی با بستر ثابت بستگی به اندازه مصالح بستر دارد، در مجاری آبرفتی معمولاً در اثر حرکت مصالح کف، فرم بستر شکل می‌گیرد که خود بر روی زبری تأثیر می‌گذارد. در چنین مجاری معمولاً زبری یا مقاومت جریان ناشی از اندازه ذرات است. بجز عامل قطر ذره عوامل بسیاری نظیر پوشش گیاهی، بیرون‌زدگی سنگی و... در مقاومت جریان دخالت دارند.

به منظور محاسبه ویژگی‌های هیدرولیکی جریان توسط مدل HEC-RAS نیاز به معرفی عامل زبری (n) مانینگ برای کانال اصلی و سواحل رودخانه می‌باشد. بدین منظور طی بازدیدهای صحرائی

جدول ۱- مقادیر دبی اوج سیلاب زیرحوزه‌های رودخانه اترک در دوره بازگشت‌های مختلف با استفاده از روش SCS (m³/s)

زیرحوزه	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰
۲۰	۱/۳۴	۲/۲۹۵	۳/۰۶	۳/۵۶	۴/۰۳	۴/۴۹
۱۱۵	۱/۸۵	۲/۳۷	۳/۳۴	۴/۰۵	۴/۶۷	۵/۲۹
۱۲۶	۳/۴۷	۵/۴۰	۸/۳۷	۹/۹۰	۱۱/۳۱	۱۲/۶۸
۱۳۳	۸/۵۸	۱۴/۰۸	۲۰/۲۶	۲۴/۳۴	۲۸/۰۱	۳۱/۵۷
۱۳۵	۰/۷۵	۱/۸۸	۳/۱۵	۴/۳۷	۵/۳۸	۶/۳۴
۱۳۷	۲۴/۱۳	۴۵/۸۸	۶۴/۵۰	۷۸/۰۰	۹۱/۸۵	۱۰۵/۰۸
۱۴۱	۰/۹۹	۱/۷۸	۲/۶۳	۳/۳۰	۳/۸۸	۴/۴۵
۱۴۶	۰/۹۶۲	۱/۷۲	۲/۵۵	۳/۱۹	۳/۷۷	۴/۳۲
۱۴۸ (قلعه بربر)	۷۸/۶۷	۱۳۴/۳۲	۱۷۱/۴۵	۲۲۳/۲۲	۲۶۶/۳۰	۳۲۸/۷۱
۱۶۳	۰/۷۰	۱/۱۷	۱/۶۸	۲/۰۵	۲/۳۷	۲/۷۰
۱۶۵ (قزلقان)	۲۲/۹۸	۴۶/۰۳	۷۲/۷۶	۹۷/۸۵	۱۲۰/۲۱	۱۴۱/۸۶
۱۷۴	۱/۱۰	۱/۹۸	۲/۸۷	۳/۵۷	۴/۱۸۸	۴/۷۷
۱۸۴	۵/۱۲	۹/۲۱	۱۳/۵۳	۱۷/۲۵	۲۰/۶۲۰	۲۳/۸۱
۱۸۸	۰/۷۹	۱/۳۹	۲/۰۱	۲/۵۰	۲/۹۳	۳/۶۹
۱۹۰	۷/۴۵	۱۳/۰۱	۱۹/۱۰	۲۴/۰۷	۲۸/۵۹	۳۳/۱۶
۱۹۱	۰/۶۷	۱/۱۳	۱/۶۴	۲/۰۳	۲/۳۷	۲/۶۷
۱۹۵	۱/۰۸	۱/۸۸	۲/۷۱	۳/۳۶	۳/۹۳	۴/۴۸
۱۹۹	۱/۴۲	۲/۴۹	۳/۶۰	۴/۴۵	۵/۲۰	۵/۹۲
۲۰۲	۱/۵۸	۲/۸۱	۴/۰۸	۵/۰۶	۵/۹۳	۶/۷۵
۲۰۷	۶/۰۵	۸/۳۶	۱۱/۳۳	۱۳/۳۳	۱۵/۱۷	۱۶/۹۷
۲۱۰	۰/۵۸	۱/۱۴	۱/۷۷	۲/۳۰	۲/۷۶	۳/۱۹
۲۱۳	۱/۵۳	۲/۵۷	۳/۶۶	۴/۴۸	۵/۲۱	۵/۹۰
۲۱۵ (رضا آباد)	۹۰/۶۵	۱۵۴/۴۲	۲۱۵/۴۸	۳۱۳/۱۲	۳۹۰/۷۹	۵۰۷/۳۷
۲۱۷	۰/۸۶	۱/۵۷	۲/۲۹	۲/۸۴	۳/۳۴	۳/۸۲
۲۲۴	۶/۵۵	۹/۵۲	۱۳/۱۲	۱۵/۶۳	۱۷/۹۴	۲۰/۲۰

و بررسی‌های انجام شده و تهیه عکس از مقاطع مختلف رودخانه و هم‌چنین بررسی تصاویر دریافتی از سایت Google Earth از مسیر رودخانه در بازه‌ی مورد نظر و تجربه کارشناسی، ضریب زبری رودخانه در بازه‌های مختلف رودخانه با استفاده از روش کاون تعیین و در محاسبات منظور گردید نتیجه نهایی مقادیر ضریب مانینگ برای بازه‌های مختلف رودخانه اترک در محدوده مورد مطالعه در جدول شماره ۲ نشان داده شده است.

۳- تهیه و به‌کارگیری بسته الحاقی saRoeG-ceH در محیط CRA SIG

استفاده از بسته الحاقی Hec-GeoRas جهت تهیه و استخراج Feature Class های مختلف از رودخانه، در قالب یک فرمت Geo Data Base و در محیط ARC GIS از دیگر موادهای لازم در این‌گونه مطالعات می‌باشد.

به‌طوری‌که پس از استخراج لایه‌های مذکور و انجام پردازش‌های لازم نتایج به مدل HEC-RAS انتقال داده شده، و در نهایت در جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیل، نتایج از محیط HEC-RAS مجدداً به محیط ARC GIS بازخواهندگشت.

۴- تهیه و به‌کارگیری نرم‌افزار SAR-CEH

نرم‌افزار HEC-RAS که یک سیستم جامع نرم‌افزاری می‌باشد،

توسط انجمن مهندسين ارتش امريكا طراحی و تولید شده است. سیستم HEC-RAS شامل سه مؤلفه تحلیل هیدرولیکی یک بعدی برای محاسبات پروفیل سطح آب در حالت جریان ماندگار، شبیه‌سازی جریان غیرماندگار و محاسبات انتقال رسوب در مرز متحرک می‌باشد. این سه مؤلفه از یک نمایش داده‌های هندسی مشترک و از روندهای محاسبات هندسی و هیدرولیکی یکسان استفاده می‌نمایند.

به‌طور کلی جریان سیلاب دارای ماهیتی دو بعدی است و مدل فوق‌الذکر توانایی حل و مدل نمودن این نوع جریان را دارا است. مؤلفه شبیه‌سازی جریان ناپایدار مدل HEC-RAS، قابلیت شبیه‌سازی جریان غیر ماندگار یک بعدی را در یک شبکه کامل از کانال‌های روباز دارا می‌باشد.

۴-۱- روش حل معادلات

به‌طور کلی در حل معادلات درون مدل مورد استفاده، سیستم جریان به صورت گره گره شبکه‌بندی می‌شود، که هر گره در شبکه نمایانگر یک مقطع جریان است. معادلات دیفرانسیل حاکم بر جریان با استفاده از تفاضل‌های محدود غیرصریح در مدل ۶ نقطه‌ای آبوت مقطع گشته و روابطی برای دبی‌ها و عمق جریان بین گره‌های مختلف حوزه‌های مطالعاتی به‌دست می‌آید. برای هر گره داخلی دو معادله منقطع شده بر اساس معادلات پیوستگی و ممتن می‌توان

جدول ۲- مقادیر ضریب مانینگ محاسبه شده برای بازه‌های مختلف رودخانه اترک در محدوده مطالعاتی

بازه	نوع دانه بندی	کانال اصلی (n۰)	پهنه سیلگیر (n۰)	درجه نامنظمی (n۱)	تغییرات مقطع (n۲)	عوارض (n۳)	پوشش گیاه (n۴)		ضریب مانداری (m)	n = (n _۰ , n _۱ , n _۲ , n _۳ , n _۴) m	
							کانال اصلی	پهنه سیلگیر		کانال اصلی	پهنه سیلگیر
بازه سیساب تا قوچ قلعه	ریزدانه	۰/۰۲۲	۰/۰۲۲	۰	۰/۰۰۲	۰	۰/۰۱۵	۰/۰۲	۱/۱۵	۰/۰۴۴۵	۰/۰۵۰۶
بازه قوچ قلعه تا قاضی	ریزدانه	۰/۰۲۲	۰/۰۲۲	۰	۰/۰۰۲	۰	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	۱/۲	۰/۰۵۸۸	۰/۰۷۰۸
بازه قاضی تا بند یغمور	ریزدانه	۰/۰۲۲	۰/۰۲۲	۰	۰/۰۰۵	۰	۰/۰۱۵	۰/۰۲۵	۱/۲	۰/۰۵۰۴	۰/۰۶۲۴
بازه بند یغمور تا قره خانبندی	ریزدانه	۰/۰۲۲	۰/۰۲۲	۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	۱/۲۵	۰/۰۶۳۷	۰/۰۷۶۲
بازه قره خانبندی تا ازون بیجه	ریزدانه	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳	۰	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲	۰/۱۵۰	۰/۰۱۵	۱/۲۵	۰/۰۵۶۲	۰/۰۵۶۲
بازه ازون بیجه تا عبدالله آباد	ریزدانه	۰/۰۲۲	۰/۰۲۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱۵	۱/۲۵	۰/۰۴۵	۰/۰۵۱۲
بازه عبدالله آباد تا نجف آباد	ریزدانه	۰/۰۲۴	۰/۰۲۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۱/۳	۰/۰۴۹۴	۰/۰۶۲۴
بازه نجف آباد تا تنگه	ریزدانه	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	۰/۰۱	۱/۳	۰/۰۴۱۶	۰/۰۴۸۱
بازه انتهای تنگه تا چوبلی تپه	ریزدانه	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳	۰	۰	۰	۰/۰۰۵	۰/۰۱	۱/۲	۰/۰۳۳۶	۰/۰۳۹۶
بازه چوبلی تپه تا کشک آباد	ریزدانه	۰/۰۲۳	۰/۰۲۳	۰/۰۰۲	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۱/۲	۰/۰۴۲۰	۰/۰۵۴۰
بازه کشک آباد تا پیش قلعه	درشت‌دانه	۰/۰۲۵	۰/۰۲۳	۰	۰	۰	۰/۰۱۵	۰/۰۲۵	۱/۲	۰/۰۴۸۰	۰/۰۵۷۶
بازه پیش قلعه تا آغمزار	درشت‌دانه	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵	۰	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۱۵	۱/۲	۰/۰۴۲۰	۰/۰۴۸۰

نظر می‌گیرد. این نوع از شرایط مرزی، عمدتاً برای مدل‌های پیش‌بینی بکار می‌رود که در آنها مقادیر اشل به‌عنوان داده‌های مشاهده شده تا انتهای زمان پیش‌بینی، و از داده‌های جریان به‌عنوان هیدروگراف پیش‌بینی شده استفاده می‌شود.

د- منحنی سنجه آب

گزینه منحنی سنجه آب را می‌توان به‌عنوان شرط مرزی پایین‌دست مورد استفاده قرار داد. در این حالت رابطه دبی-اشل به‌دست آمده از محاسبات ایستگاه‌های آب‌سنجی را می‌توان به‌عنوان شرایط مرزی به مدل معرفی نمود.

ه- عمق نرمال

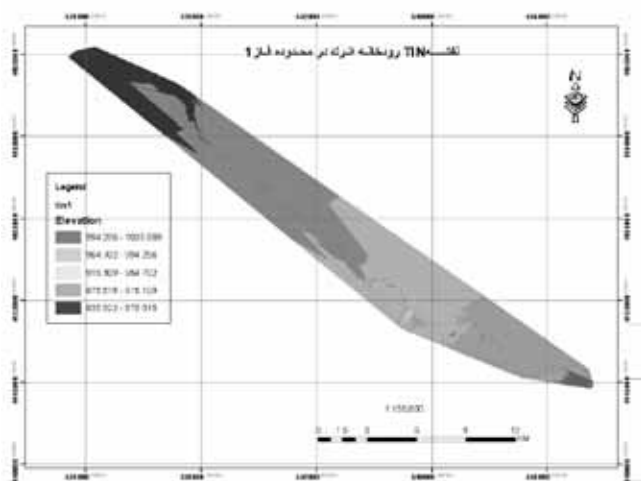
گزینه عمق نرمال را می‌توان فقط به‌عنوان شرط مرزی پایین‌دست برای یک بازه با انتهای باز به کار برد. این گزینه از معادله مانینگ برای محاسبه عمق برای هر دبی محاسباتی استفاده می‌شود. برای استفاده از این روش، باید شیب اصطکاک را برای بازه مجاور به‌عنوان شرایط مرزی در نظر گرفت. غالباً برآورد شیب سطح آب برآورد نسبتاً مناسبی از شیب اصطکاک می‌باشد.

و- هیدروگراف جریان ورودی جانبی

از هیدروگراف جریان ورودی جانبی به‌عنوان شرط مرزی داخلی استفاده می‌شود. این گزینه امکان ورود یک دبی جریان را در یک نقطه خاص در امتداد آبراهه فراهم می‌کند. این شرایط مرزی را می‌توان به ایستگاه رودخانه مقطع عرضی واقع در بالادست جایی که جریان ورودی جانبی رخ می‌دهد الصاق نمود.

۴-۱-۲- روند کلی انجام مطالعات پهنه‌بندی سیلاب

به‌طور کلی انجام این قبیل مطالعات، را می‌توان به‌ترتیب در مراحل ذیل خلاصه نمود:



شکل ۳- نقشه TIN رودخانه اترک در محدوده فاز ۱

نوشت، برای گره‌های مرزی از شرایط مرزی استفاده می‌گردد. با داشتن شرایط اولیه دستگاه معادلاتی به‌دست می‌آید که با روش جاروی مضاعف رفت و برگشتی حل می‌گردند. نتایج دبی‌ها و عمق‌های جریان به‌دست آمده در هر مرحله زمانی به‌عنوان شرایط اولیه برای مرحله‌ی زمان بعدی به‌کار برده می‌شود.

۴-۱-۱- شرایط مرزی مدل

در مدل HEC-RAS چندین نوع مختلف از شرایط مرزی وجود دارد که کاربر می‌تواند از آن‌ها استفاده نماید. در زیر توضیح مختصری درباره هر کدام بیان می‌گردد.

الف- هیدروگراف جریان

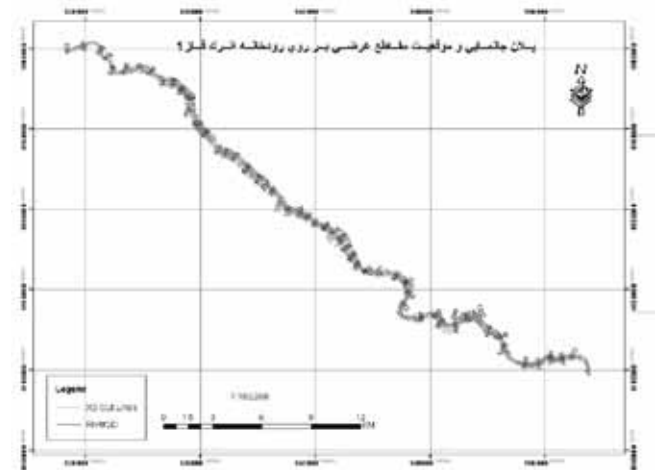
یک هیدروگراف جریان را می‌توان به‌عنوان شرایط مرزی در بالادست یا پایین‌دست رودخانه مورد استفاده قرار داد، اما غالباً از آن به‌عنوان شرایط مرزی در بالادست استفاده می‌شود. در این حالت می‌توان هیدروگراف محاسبه شده در مطالعات هیدرولوژی را به‌عنوان شرایط مرزی به مدل معرفی نمود.

ب- هیدروگراف اشل

از یک هیدروگراف اشل می‌توان به‌عنوان شرایط مرزی در بالادست یا پایین‌دست استفاده نمود.

ج- هیدروگراف جریان و اشل

هیدروگراف جریان و اشل می‌تواند به‌عنوان شرایط مرزی بالادست یا پایین‌دست مورد استفاده قرار گیرد. هیدروگراف جریان و اشل در بالادست به‌عنوان یک شرط مرزی مختلط در نظر گرفته می‌شود. به‌طوریکه هیدروگراف جریان و اشل تا زمانی که داده‌های آن به انتها برسد به‌عنوان مرز بالادست منظور می‌شود، در این لحظه برنامه به‌طور خودکار هیدروگراف جریان را به‌عنوان شرط مرزی جدید در



شکل ۲- پلان جانمایی و موقعیت مقاطع عرضی در محدوده فاز ۱ رودخانه اترک (بازه سیساب- نجف‌آباد)

۱- تهیه نقشه‌های توپوگرافی منطقه

در این قبیل مطالعات نقشه‌های توپوگرافی مسیر، گستره سیل و شبکه آبراهه‌ای منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰ مورد نیاز می‌باشد. از آنجائیکه نقشه‌های با مقیاس فوق از محدوده طرح در اختیار نبود، با انجام عملیات نقشه‌برداری زمینی در بازه مورد مطالعه نقشه‌هایی با مقیاس ۱:۲۰۰۰ استخراج گردید. لازم به توضیح است با توجه به عدم امکان نقشه‌برداری تنگه‌ای که در اواسط محدوده مورد مطالعه قرار داشت، عملیات نقشه‌برداری در دو بخش انجام گرفت و قسمت بالا دست تنگه به نام فاز ۱ و قسمت پایین دست آن به فاز ۲ نام گذاری گردید. شایان ذکر است طول مسیر رودخانه در محدوده فاز ۱ حدود ۶۰ و در فاز ۲ حدود ۴۰ کیلومتر می‌باشد.

۲- استخراج فایل niT منطقه

با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، و با بکارگیری از نرم‌افزار ARC GIS، فایل Tin منطقه استخراج گردید. شکل (۲) مسیر رودخانه اترک در بازه‌ی مورد مطالعه و شکل (۳) نقشه TIN تهیه شده از رودخانه اترک در محدوده فاز ۱ را نمایش می‌دهد.

۳- اجرای بسته الحاقی saRoeG-ceH در محیط SIG

در هر یک از فاز ۲ مورد مطالعه، با توجه به نقشه Tin منطقه و با استفاده از بسته الحاقی Hec-GeoRas نسبت به تهیه و استخراج Feature Class های ذیل در فرمت Geo Data Base اقدام گردید:

۳-۱- مسیر خط مرکزی و اصلی رودخانه

۳-۲- محدوده جناحین و دیواره‌های چپ و راست مسیر اصلی رودخانه

۳-۳- محدوده جناحین چپ و راست سیلابی رودخانه

۳-۴- مقاطع عرضی رودخانه

۴- انتقال اطلاعات حاصله به نرم‌افزار SAR-CEH

در ادامه پس از پردازش‌های لازم در محیط GIS نسبت به انتقال اطلاعات مذکور به محیط HEC-RAS اقدام گردید.

۵- اجرای برنامه SAR-CEH

در محیط HEC-RAS نسبت به اصلاح مقاطع هندسی، وارد نمودن مقادیر ضریب زبری مانینگ در هر یک از مقاطع عرضی و تعریف آبراهه‌ها یا سرشاخه‌های ورودی به رودخانه اصلی (Junction) اقدام گردید، و در ادامه با استفاده از مقادیر هیدروگراف‌های ورودی در شاخه اصلی رودخانه و هریک از سر شاخه‌های مربوطه شرایط مرزی مدل نیز تعریف گردید.

۵-۱- تعریف شرایط مرزی

در این مطالعات شرایط مرزی رودخانه و ورودی‌های جانبی به شکل زیر به مدل معرفی گردید:
الف- شرایط مرزی بالادست:

هیدروگراف جریان ایستگاه رضاآباد واقع بر روی رودخانه اترک با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵ و ۱۰۰ ساله که در مطالعات هیدرولوژی تحلیل و محاسبه شده بود به‌عنوان شرط مرزی بالادست به مدل معرفی گردید.

ب- شرایط مرزی داخلی:

هیدروگراف جریان در خروجی زیرحوزه‌ها و شاخه‌های ورودی به رودخانه به‌عنوان شرایط مرزی داخلی به مدل معرفی شد.

ج- شرط مرزی پایین دست:

هیدروگراف جریان ایستگاه آغمزار در انتهای بازه مورد مطالعه واقع بر روی رودخانه اترک با دوره بازگشت ۲، ۵، ۱۰، ۲۵ و ۱۰۰ ساله که در مطالعات هیدرولوژی محاسبه شده بود به‌عنوان شرط مرزی پایین دست به مدل معرفی گردید.

پس از تعریف شرایط مرزی و سایر پارامترهای هیدرولیکی، مدل HEC-RAS برای شرایط غیر ماندگار اجرا گردید، با اجرای مدل HEC-RAS نتایج شبیه‌سازی مورد بررسی قرار گرفت.

۶- انتقال اطلاعات حاصله به محیط GIS و استفاده از

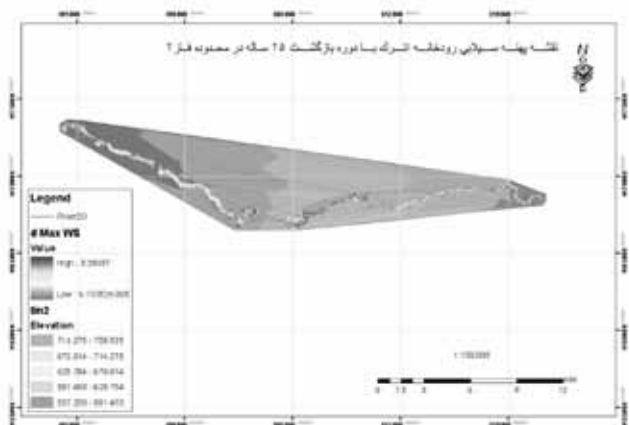
بسته الحاقی Hec-GeoRas

با اجرای مدل HEC-RAS نتایج نهایی به تفکیک در هر دوره بازگشت سیل، جهت تعیین پهنه‌بندی سیلاب، مجدداً وارد محیط ARC GIS گردید. در نهایت با پردازش‌های لازم، و استفاده از بسته الحاقی Hec-GeoRas نقشه‌های خروجی در هر یک از دو فاز مورد مطالعه تهیه گردید.

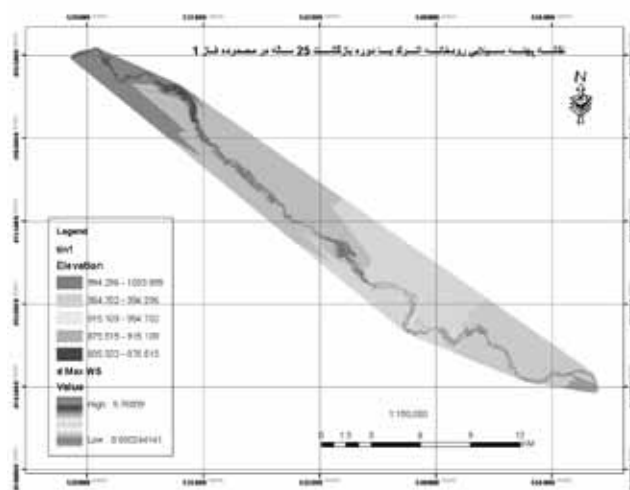
نتایج

۱- تهیه نقشه پهنه سیلابی رودخانه

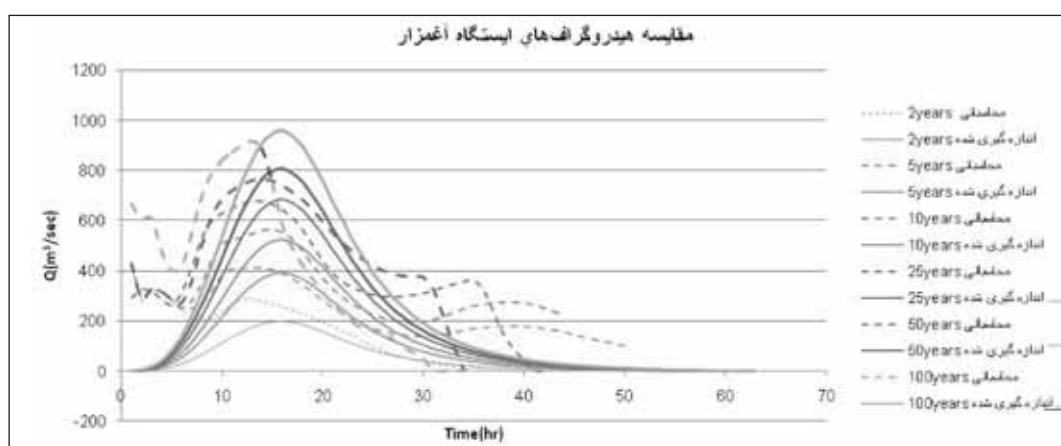
پروفیل سطح آب یا به عبارت دیگر منحنی سطح آب، نمایشی از وضعیت جریان در هر مقطع است که به عوامل مختلفی از جمله شیب بستر و ضریب زبری بستگی دارد. هرگونه تجزیه و تحلیل پروفیل سطح آب که منجر به پیش‌بینی شکل عمومی جریان یا پهنه‌سیلابی رودخانه شود به طراحان کمک می‌کند تا بتوانند پروفیل جریانی را که ممکن است در اثر طراحی اتفاق بیافتد را حدس بزنند. بنابراین پس از تعیین پروفیل سطح آب در کلیه مقاطع در دوره بازگشت‌های مختلف و در طول بازه مطالعاتی با استفاده از بسته الحاقی Hec-GeoRas می‌توان پهنه‌ی سیل‌گیر را برای هر دوره بازگشت به‌دست آورد. نتایج پهنه سیلابی رودخانه اترک در محدوده مطالعاتی فازهای ۱ و ۲ با دوره بازگشت ۲۵ ساله در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. به‌منظور کنترل صحت نتایج پهنه‌بندی سیلاب صورت گرفته، با توجه به مطالعات میدانی انجام شده و گفتگو با روستائیان منطقه و همچنین بررسی آثار سیلاب‌های قبلی اتفاق افتاده، صحت نتایج پهنه‌بندی سیلاب مورد تأیید قرار گرفت.



شکل ۵- پهنه سیلابی رودخانه اترک در فاز ۲ محدوده مطالعاتی برای دوره بازگشت ۲۵ ساله



شکل ۴- پهنه سیلابی رودخانه اترک در محدوده مطالعاتی فاز ۱ با دوره بازگشت ۲۵ ساله



شکل ۶- مقایسه هیدروگراف خروجی از مدل در ایستگاه آغمزار با هیدروگراف تحلیلی از روی داده‌های مشاهده‌ای

(۳) بسنده می‌گردد.

با هیدروگراف به دست آمده در ایستگاه اندازه‌گیری آغمزار مقایسه گردیدند. شکل (۶) مقایسه مقادیر هیدروگراف خروجی از مدل در ایستگاه آغمزار با نتایج هیدروگراف تحلیلی از روی داده‌های مشاهده‌ای را در همان ایستگاه نشان می‌دهد.

همان‌گونه که از این شکل برمی‌آید مقادیر هیدروگراف‌های حاصل از اندازه‌گیری ایستگاه و محاسباتی توسط مدل، تقریباً به یکدیگر نزدیک می‌باشند، که این خود گویای شبیه‌سازی نسبتاً مناسب و صحت داده‌های هندسی وارده به مدل و همچنین گویای برآورد اولیه نسبتاً صحیح از مقادیر ضریب زبری مانینگ در رودخانه و سرشاخه‌های آن می‌باشد.

در نهایت به منظور تدقیق نهایی نتایج مدل، با اعمال تغییرات جزئی در مقادیر ضریب زبری مانینگ، تنها در برخی از قسمت‌های بازه مورد مطالعه، نسبت به کالیبراسیون مدل اقدام گردید. شایان ذکر است با توجه به اهداف پروژه، اقدامات مذکور برای سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ ساله انجام پذیرفت، به طوری که پس از

۲- انجام روندیابی سیلاب

از دیگر نتایج مهم خروجی اجرای مدل، روندیابی سیلاب در رودخانه و استخراج مقادیر دبی، سرعت، سطح مقطع جریان، شعاع هیدرولیکی، عدد فرود و سایر پارامترهای هیدرولیکی در کلیه مقاطع در طول بازه مطالعاتی می‌باشد. در طول فرایند روندیابی سیلاب هیدروگراف‌های سیلاب ایستگاه رضاآباد با دوره بازگشت‌های مختلف به عنوان شرط مرزی بالادست در فاز ۱، هیدروگراف‌های سیلاب استخراجی از روندیابی در انتهای بازه فاز ۱ به عنوان شرط مرزی بالادست در فاز ۲ و کلیه هیدروگراف‌های حوزه‌های میانی به عنوان ورودی‌های جانبی در مدل وارد شده است. از هیدروگراف‌های مشاهده‌ای ایستگاه آغمزار به عنوان شاهد برای کالیبراسیون مدل استفاده شده است.

نتایج روندیابی سیلاب در فازهای ۱ و ۲ برای دوره بازگشت‌های ۲ تا ۱۰۰ ساله به دست آمد لذا به دلیل حجم بودن اطلاعات خروجی تنها به ارائه بخش کوچکی از نتایج روندیابی سیلاب با دوره بازگشت ۲ ساله در فاز ۱ رودخانه اترک (بازه سیساب -نجف‌آباد) در جدول

کالیبراسیون مدل توسط مقادیر ضریب زبری، هیدروگراف خروجی حاصل از اجرای مدل، با هیدروگراف حاصل از ایستگاه اندازه‌گیری آغ‌زار واقع در خروجی حوزه، با یکدیگر متناسب گردیدند.

بحث و نتیجه‌گیری

- به‌کارگیری نرم‌افزارهای GIS، HEC-RAS و بسته الحاقی Hec-GeoRas، توانایی و دقت بالایی در انجام طرح‌های پهنه‌بندی سیلاب رودخانه‌ها خواهند داشت.

- در انجام این قبیل مطالعات برآوردهای صحیح اولیه از مشخصات رودخانه و مقادیر ضریب زبری مانینگ، در کاهش تعداد RUN‌های مدل تأثیر بسزایی دارد و اعمال دقت کافی در این خصوص در کاهش زمان مطالعات و هزینه‌های مربوطه نقش بسزایی دارد.

- با اعمال تغییرات لازم در مقادیر ضریب زبری مانینگ، می‌توان نسبت به کالیبراسیون مدل اقدام نمود، به‌طوری‌که پس از کالیبراسیون مدل، هیدروگراف خروجی حاصل از اجرای مدل، با هیدروگراف

حاصل از ایستگاه اندازه‌گیری آغ‌زار واقع در خروجی حوزه، با یکدیگر متناسب می‌گردند.

- از آنجائی‌که ضریب زبری پارامتر اصلی در افزایش و یا کاهش افت انرژی در کانال‌ها و رودخانه‌ها می‌باشد، براین اساس در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیل، تعیین در ادامه مقادیر هیدروگراف حاصله از خروجی مدل در مقطع خروجی بازه‌ی مورد مطالعه، استخراج گردید و ضریب زبری مناسب اولیه که معرف شرایط واقعی رودخانه باشد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد.

- تهیه منحنی‌های مربوط به روندیابی سیلاب در کلیه مقاطع از رودخانه و استخراج مقادیر مربوط به تغییرات دبی با زمان در هر مقطع، با استفاده از مدل HEC-RAS عملی می‌باشد.

- پیشنهاد می‌شود رابطه بین افزایش و یا کاهش پهنه‌های سیلابی به‌واسطه بروز تغییرات در ضریب زبری نیز مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد.

جدول ۳- نمونه‌ای از نتایج روندیابی سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ ساله در فاز ۱ رودخانه اترک (بازه سیسب -نجف‌آباد)

شماره مقطع	دبی کل (s/m ³)	حداقل ارتفاع رودخانه (m)	ارتفاع سطح آب (m)	رقوم خط انرژی جریان (m)	شیب سطح آب (m/m)	سرعت جریان (m/s)	سطح مقطع جریان (m ²)	عرض بالای سطح آب (m)	عدد فرود
۱۱۹۸	۴۳۷/۸۹	۹۸۰/۶۹	۹۸۵/۱۹	۹۸۶/۴۳	۰/۰۱۰۱۰۶	۵/۸	۱۱۳/۹۹	۶۲/۳	۰/۹۱
۱۱۸۷	۴۳۷/۸۸	۹۸۰/۳۷	۹۸۴/۹۲	۹۸۵/۷۶	۰/۰۰۸۲۰۷	۴/۳	۱۲۱/۲۳	۵۹/۳۴	۰/۷۸
۱۱۹۶	۴۳۷/۸۷	۹۸۰/۲	۹۸۴/۹۹	۹۸۵/۳۸	۰/۰۰۳۰۶۶	۲/۸۴	۱۶۱/۸	۵۸/۷۱	۰/۴۸
۱۱۹۵	۴۳۷/۸۵	۹۷۱/۴۱	۹۸۴/۸۳	۹۸۵/۲	۰/۰۰۲۸	۳/۰۱	۱۸۴/۴۸	۷۳/۲۹	۰/۴۷
۱۱۹۴	۴۳۷/۸۳	۹۷۹/۵۶	۹۸۴/۸۳	۹۸۵/۰۹	۰/۰۰۱۸۹۲	۲/۶۳	۲۲۶/۲	۸۸/۱۹	۰/۳۹
۱۱۹۳	۴۳۷/۸۱	۹۷۹/۱۷	۹۸۴/۷۷	۹۸۵/۰۱	۰/۰۰۱۷۲۷	۲/۶۴	۲۳۲/۴۳	۸۰/۸۲	۰/۳۸
۱۱۹۲	۴۳۷/۸۰	۹۷۹/۶۲	۹۸۴/۳۷	۹۸۴/۹	۰/۰۰۵۷۵۳	۳/۷۲	۱۴۷/۲	۶۰/۸۹	۰/۶۳
۱۱۹۱	۴۳۷/۷۹	۹۷۹/۷۱	۹۸۴/۲۸	۹۸۴/۷۱	۰/۰۰۴۱۳۹	۳/۴۴	۱۶۸/۲۷	۶۷/۹۱	۰/۵۷
۱۱۹۰	۴۳۷/۷۸	۹۸۰/۱۸	۹۸۴/۳۲	۹۸۴/۵۹	۰/۰۰۲۸۰۳	۲/۶۹	۱۹۸/۹۹	۶۹/۷۰	۰/۴۵
۱۱۸۹	۴۳۷/۷۷	۹۷۹/۸۴	۹۸۴/۰۳	۹۸۴/۴۹	۰/۰۰۴۰۱	۳/۴۷	۱۶۶/۷۴	۶۸/۳۸	۰/۵۶
۱۱۸۸	۴۳۷/۷۵	۹۸۰/۰۲	۹۸۴/۰۷	۹۸۴/۳۲	۰/۰۰۲۵۱۳	۲/۵۹	۲۰۵/۸۴	۶۸/۵۱	۰/۴۴
۱۱۸۷	۴۳۷/۷۴	۹۷۹/۵۱	۹۸۴/۰۰	۹۸۴/۲۲	۰/۰۰۲۰۳۷	۲/۵۸	۲۲۶/۲۰	۷۴/۷۶	۰/۴۰
۱۱۸۶	۴۳۷/۷۳	۹۷۸/۵۵	۹۸۳/۸۲	۹۸۴/۱۰	۰/۰۰۳۳۵۶	۲/۷۶	۱۹۱/۳۷	۷۰/۹۱	۰/۴۸
۱۱۸۵	۴۳۷/۷۱	۹۷۸/۴۳	۹۸۳/۶۸	۹۸۳/۹۷	۰/۰۰۲۳۶۶	۲/۹۳	۲۱۲/۸۵	۸۸/۱۴	۰/۴۴
۱۱۸۴	۴۳۷/۶۸	۹۷۸/۹۹	۹۸۳/۴۳	۹۸۳/۸	۰/۰۰۳۶۷۸	۳/۳۱	۱۹۳/۲۱	۱۱۴/۳۷	۰/۵۴
۱۱۸۳	۴۳۷/۶۵	۹۷۸/۴۴	۹۸۳/۳۹	۹۸۳/۵۹	۰/۰۰۱۵۲۸	۲/۲۹	۲۵۳/۴	۹۷/۰۴	۰/۳۵
۱۱۸۲	۴۳۷/۶۳	۹۷۸/۶۳	۹۸۳/۱۴	۹۸۳/۴۸	۰/۰۰۳۸۰۸	۳/۱۵	۱۹۶/۷۲	۹۸/۸۶	۰/۵۴
۱۱۱۸۱	۴۳۷/۶۱	۹۷۹/۸۷	۹۸۳/۰۰	۹۸۳/۲۸	۰/۰۰۳۴۹۲	۲/۶۶	۲۰۴/۹۱	۹۸/۹۰	۰/۵۰
۱۱۸۰	۴۳۷/۵۸	۹۷۹/۴	۹۸۲/۸۸	۹۸۳/۰۸	۰/۰۰۲۶۴۷	۲/۰۲	۲۳۸/۳۶	۱۴۱/۱۸	۰/۴۲
۱۱۷۹	۴۳۷/۵۵	۹۷۸/۳۶	۹۸۲/۷۶	۹۸۲/۹۸	۰/۰۰۱۹۲۲	۲/۳۷	۲۵۶/۴۳	۱۳۲/۳۲	۰/۳۹
۱۱۷۸	۴۳۷/۵۲	۹۷۸/۷	۹۸۲/۶۰	۹۸۲/۸۳	۰/۰۰۳۰۱	۲/۷۱	۲۴۴/۸۸	۱۴۵/۳۹	۰/۴۸

- 8-Horritt, M.S. and Bates. P.D. 2002. Evaluation of 1D and 2D Numerical Models for Predicting River Flood Inundation. *Journal of Hydrology*, 268: 87-99
- 9-James, M.D., Larson, M.D. and Golver, T.F. 1980. Water Resources Bulletin. Floodplain Management Needs Peculiar to Arid Climates. 16: 1020-1029
- 10-Knebl, Hutchinson, M.R.,K., Yang, Z.L. and Maidment, D.R. 2004. Regional Scale Flood Modeling Using NEXRAD rainfall,GIS,and HEC-HMS,RAS: A Case Study for the SanAntonio River Basin. *Journal of Environmental Management*. 75: 325-336
- 11-Pappenberger, F., Beven, K., Horritt, M. and Blazkova, S. 2005. "ncertainty in the Calibration of Effective Roughness Parameters in HEC-RAS Using Inundation and Downstream Level Observations, *Journal of Hydrology*. 302: 46-69
- ۱- آرمان، ن. ۱۳۸۵. کالیبره کردن ضریب زبری مانینگ در بازه‌ای از رودخانه کرج و تجزیه و تحلیل آن با نرم‌افزار HEC-RAS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- ۲- باقری، ع.ع.، کشی، ع.، موسوی جهرمی، س.ح. و صدقی، ح. ۱۳۸۵. پهنه‌بندی سیلاب رودخانه گرم‌رود با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS. هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۳- حسینی، س.ا. و حبیبی، م. ۱۳۸۵. کارگاه آموزشی کاربرد مدل ریاضی HEC-RAS در عملیات مهندسی رودخانه. دانشگاه آزاد اسلامی کرج.
- ۴- شکوری، ع. ۱۳۸۵. بررسی تأثیر روش‌های مختلف ضریب زبری در میزان دقت پهنه‌بندی سیل توسط نرم‌افزارهای HEC-RAS و ARCVIEW با تأکید بر صحت‌سنجی داده‌های هیدرومتری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات.
- ۵- صفری، ع.ر. ۱۳۸۰. تعیین الگوی مدیریت بهینه در دشت‌های سیلابی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- ۶- گزارش مطالعات هیدرولیک و پهنه‌بندی سیل رودخانه اترک. شرکت مهندسی مشاور سازآب پردازان. ۱۳۸۶.
- 7-Adam, K.S. 2003. Comparing Physical Habit Condition in Forested and Non Forested Stream. M.Sc Thesis in Civil and Environment. university of Vermont.136p