

## پهنه بندی سیلاب رودخانه کلکان چای با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS و هیدروگراف واحد مصنوعی SCS

سعید جهانبخش<sup>۱</sup>، مجید رضایی بنفشه<sup>۲</sup>، سحر صدر افشاری<sup>۳</sup>

### چکیده

در این تحقیق با استفاده از داده‌های اقلیمی و اطلاعات مربوط به بارش-رواناب و با بهره‌گیری از نرم افزار HEC-RAS و هیدروگراف واحد مصنوعی SCS، تراز آب برای سیلاب‌های با دوره بازگشت ۵، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله رودخانه کلکان محاسبه و سپس اقدام به پهنه‌بندی و آنالیز جریان سیل شده است. برای استفاده از مدل HEC-RAS از ضریب زبری مانینگ، فاکتور تنگ و بازشدگی بستر و دوره‌های برگشت سیلاب استفاده شده است. در نهایت به منظور تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب از سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS استفاده گردید. نتایج به دست آمده بیانگر تغییرات پهنه سیل‌گیر از ۳۶/۲ تا ۱۱۵/۵ متر می‌باشد. برای مثال در روستاهای کلکان و جغیر محدوده پخش سیلاب در دوره‌های بازگشت مختلف از ۱۹ تا ۴۱ متر متغیر است. در روستای بیگ بلاغی محدوده پخش سیلاب به ۸۰ متر، در روستای چراغچی به ۷۲ متر و در روستای سلوک به ۸۰ متر نیز رسیده است. با توجه به دستکاری بستر رودخانه در اکثر نقاط و قرارگیری روستاها و زمین‌های زیرکشت در اطراف این رودخانه در صورت انجام اقدامات لازم در روستاهایی که در اطراف این رودخانه واقع شده‌اند وقوع سیلاب خطر آفرین خواهد بود.

**واژگان کلیدی:** هیدروگراف واحد مصنوعی SCS، مدل هیدرولوژیکی HEC-RAS، مدل‌سازی بارش

رواناب، پهنه بندی سیلاب، حوضه رودخانه کلکان چای

۱. استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز

۲. دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز

۳. کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه تبریز SaharSadrafshary@yahoo.com

رواناب، بخشی از نزولات جوی و یا آب حاصل از ذوب برف ها می باشد که در روی زمین به جریان در آمده و به منابع آب های سطحی مانند رودخانه ها، دریاچه، دریا و نقاط گود روی زمین می پیوندد. رواناب زمانی رخ می دهد که شدت بارندگی، بیش از ظرفیت نفوذ آب در خاک و نگهداشت آب در گودالها و پستی و بلندی های زمین باشد (علیزاده، ۱۳۸۴). موقعیت جغرافیایی ایران طوری است که تمرکز زمانی و مکانی بارش در اکثر حوضه های آبریز، باعث وقوع سیل می گردد. بررسی آمار خسارات سیل در سال های گذشته نیز نمایانگر این واقعیت است. در سطح کشور، حدود ۳۵۰۰ رشته رودخانه همراه با سرشاخه مهم با ویژگی های متنوع و متفاوت از نظر هواشناسی و کاربری اراضی وجود دارد که مجموع سیل های رخ داده در آنها در عرض ۳۹ سال آمار موجود از سال ۱۳۳۷ لغایت ۱۳۷۵، ۲۶۸۱ مورد بوده است. از نظر توزیع مکانی وقوع سیل در کشور، استان خراسان با متوسط ۲۹۱ سیل در سال شاهد بیشترین سیل و قزوین با ۲۵ سیل در سال شاهد کمترین سیلاب بوده است. شهر های آسیب دیده از سیل در دوره آماربرداری فوق ۱۰۸۴ شهر بوده که به طور متوسط ۱۷ شهر در سال یا به عبارت دیگر هر بیست روز یک شهر می باشد. آمار روستاها نیز به ۲۳۱ روستا در سال می رسد. این بررسی ها نشان می دهد که حتی اگر کل کشور در معرض سیلاب های بزرگ نیز نباشد، سیلاب های کوچک باعث وقوع خسارات فراوان می شود (حیدری و همکاران، ۱۳۸۴). تحلیل های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی سیلاب در برنامه ریزی، طراحی و مدیریت سیستم های هیدرولیکی مورد استفاده قرار می گیرند. این تحلیل ها برای تعیین ارتفاع بالقوه سیل، عمق و سطح متاثر از سیل، اندازه کانالها، ارتفاع لوه (پشتی ها)، طراحی بزرگراه ها و نهرها و سایر موارد به کار برده می شوند (مطلوبی، ۱۳۸۷). در این راستا، جیمز و همکاران (۱۹۸۰)، ضمن برشمردن نیازهای مدیریتی ویژه در اقلیم های خشک، اقدام به پهنه بندی سیل در ایالت یوتا کرده و نتیجه گرفته اند که به علت تغییرات مناطق سیل گیر از رخدادی به رخداد بعدی، باید توجه داشت که در مناطق پهنه بندی شده، خطرها، خیلی زیاد یا خیلی کم نشان داده نشوند. مطالعات انجام

شده در خصوص شبیه سازی سیلاب و کاربرد مدل‌های هیدرولوژیکی بیشتر به بررسی دبی رواناب در محل خروجی حوضه پرداخته اند بطوری که رادوان (۱۹۹۹)، با استفاده از مدل آنالیز سیلاب برای منطقه پترا در اردن نقش اقدامات مختلف کنترل سیلاب بر دبی خروجی سیل را بررسی نمود.

تیل و همکاران (۱۹۹۹)، روشی را برای افزایش دقت خروجی HEC-RAS در ARC View با مطابقت دادن داده‌های زمینی، هندسی رودخانه و سازه‌های کنترل آن با مدل زمینی موجود در GIS ارائه دادند. دی هو (۲۰۰۱)، با بهره‌گیری از مدل LISFLOOD به بررسی نقش تغییرات کاربری اراضی بر دبی اوج سیلاب در دو حوضه اودر و میوس پرداخت. کرش و همکاران (۲۰۰۲)، بعد از حادثه سیل ۱۹۹۸ با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل ریاضی HEC-RAS پهنه‌بندی خطر سیلاب را انجام دادند. بیناویدس (۲۰۰۳)، با تلفیق مدل HEC-RAS و HEC-HMS در GIS اقدام به تجزیه و تحلیل گزینه‌های مختلف کنترل سیلاب و انتخاب گزینه برتر نمود. ویتیکر و همکاران (۲۰۰۴)، با مدلسازی (Map – to – Map) و استفاده از نرم افزارهای ARC GIS 9 و HEC-RAS اقدام به ایجاد نقشه پهنه‌بندی سیلاب از روی اطلاعات بارش درحوضه Rosillon Greek در تگزاس نمودند. لازم به ذکر است که مدل نقشه به نقشه روشی است که لایه پلی گونی پهنه سیلاب از روی اطلاعات بارش محاسبه می‌شود. این روش به کاربر توانایی ایجاد نقشه پهنه‌بندی سیلاب و امکان پیش‌بینی زمان واقعی رخ دادن سیل را فراهم می‌کند. کینبل (۲۰۰۵)، با تلفیق مدل HEC-RAS با تصاویر رادار NEXRAD در حوضه سان آنتونیو، مدل منطقه‌ای برای سیلاب ارائه نمود و کارایی مدل را در پیش‌بینی وقوع سیلاب متذکر شد. در ایران نیز سبزی‌پرور (۱۳۷۰)، به بررسی سینوپتیکی سیستم‌های سیل‌زا در جنوب-غربی ایران پرداخت. در این مطالعه عامل اصلی وقوع بارش‌های سیل‌زا در جنوب‌غربی ایران، حضور ناوه عمیق در تراز بالا ذکر گردید که محور ناوه به سمت جنوب تا جنوب دریای سرخ گسترش می‌یابد. ترابی و همکاران (۱۳۸۰)، وضعیت رودخانه

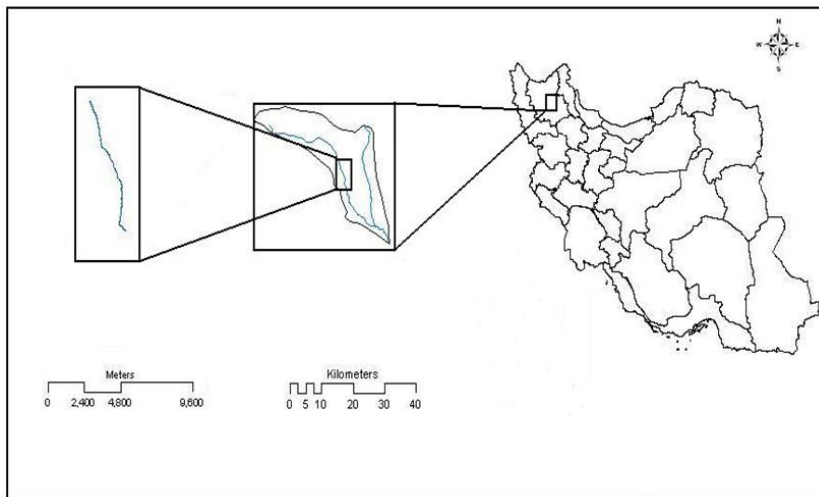
سیستان (واقع در استان سیستان و بلوچستان) و سیستم هیدرولیکی آن را بررسی نموده- اند. آنها مدل هیدرولیکی رودخانه سیستان را در دو حالت دائمی و غیر دائمی مورد بررسی قرار داده و برای تحلیل های هیدرولیکی از نرم افزار های HEC-RAS وUNET استفاده کرده اند. جلالی راد (۱۳۸۱)، به پهنه بندی سیلاب در بخشی از حوضه- آبخیز شهری تهران پرداخته است. وی در تحقیق خود از نرم افزارهای ARC View و HEC-RAS استفاده کرده و به این نتیجه دست یافته که نرم افزار ARC View از قابلیت خوبی برای پهنه بندی سیل برخوردار است.

مدل های استفاده شده در تحلیل های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی به وسیله داده- های در دسترس تهیه می شوند. تحلیل های هیدرولیکی برای مدلسازی بارش- رواناب و یا بررسی توالی و فراوانی وقوع سیل مورد استفاده قرار می گیرند. در این تحقیق نیز از اطلاعات مربوط به دوره های بازگشت حداکثر دبی، ضرایب زبری، انقباض و انبساط بستر، شرایط مرزی و مقاطع عرضی به عنوان ورودی مدل HEC-RAS استفاده و پهنه سیلاب رودخانه کلکان از روستای کلکان تا روستای بیگ بلاغی در GIS ترسیم شد. همچنین در کنار آن با استفاده از مدل HEC-HMS هیدروگراف های واحد سیلاب در دوره برگشت های مختلف ترسیم گردید.

## مواد و روش ها

حوضه آبخیز کلکان جزو سرشاخه های قزل اوزن بوده که رودخانه قرنقو زهکش اصلی آن می باشد. رودخانه کلکان از دامنه کوه سهند با ارتفاع ۳۷۰۷ متر در آذربایجان شرقی سرچشمه گرفته و پس از جمع آوری جریانات سطحی دیگر از قبیل شاخه اصلی هشترود، شهرچای و بالاخره کلکان چای، رودخانه اصلی قرنقو را تشکیل می دهد. این رودخانه دارای دو شاخه نسبتاً پر آب و دائمی به نام های بهادرچای و چینی بلاغ بوده که بر روی شاخه اصلی آن و در محل روستای کلکان با موقعیت جغرافیایی ۴۶°۴۷' و ۳۹°۳۷' در ارتفاع ۱۸۳۵ متر از سطح دریا، سدی در حال احداث می باشد (وزارت نیرو، ۱۳۸۸). این سد در پایین دست محل اتصال شاخه های بهادرچای و چینی بلاغ و قازان-

قوزان در فاصله ۲۳ کیلومتری جنوب غربی بستان آباد در استان آذربایجان شرقی قرار گرفته است (وزارت نیرو، ۱۳۸۷). سطح حوضه آبخیز این رودخانه در محل سد، ۲۰۲/۸ کیلومتر مربع و با طول رودخانه ۳۰/۴ کیلومتر بوده که در محل اتصال به رودخانه قرنقو، سطح آن به ۶۱۰/۵ کیلومتر مربع و طول شاخه اصلی رودخانه به ۶۹/۹ کیلومتر افزایش یافته است. علاوه بر این، ارتفاع محل تلاقی این رودخانه با قرنقو ۱۵۴۵ متر از سطح دریا می باشد (وزارت نیرو، ۱۳۸۸). شرایط اقلیمی حوضه کاملاً کوهستانی و سردسیر بوده و با بارندگی ۳۱۰ میلی متر دارای اقلیم نیمه خشک است. به منظور بررسی سیلاب کلکان چای، قسمتی از این رودخانه انتخاب گردیده که بعد از سد کلکان، از روستای بیک بلاغی تا روستای سلوک را شامل می شود.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

در این تحقیق به منظور شبیه سازی بارش و رواناب و تعیین هیدروگراف سیلاب خروجی از حوضه، از هیدروگراف واحد مصنوعی SCS و مدل HEC-RAS استفاده گردید. با توجه به روش های انتخابی در این مدل ها اقدام به شناسایی ورودی های مدل گردید. سپس واسنجی و اعتبار سنجی مدل های فوق با استفاده از وقایع بارش و رواناب ایستگاه های منطقه و انتخاب رویداد های بارش فراگیر منفرد و سیلاب متناظر انجام پذیرفت. بدین منظور، در ترسیم توزیع مکانی بارندگی از روش IDW در محیط

GIS بهره گرفته شد و برای تعیین الگوی زمانی بارش برای هر فصل از الگوی بارش نزدیک ترین ایستگاه ثبات استفاده گردید. پس از واسنجی و اعتبار سنجی مدل و استخراج پارامترهای بهینه، بارش مربوط به دوره بازگشت‌های ۵، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ سال از منحنی‌های شدت، مدت، فراوانی ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری استخراج و وارد مدل گردید، آنگاه هیدروگراف سیلاب برای دوره بازگشت‌های مختلف محاسبه شد. با توجه به هدف مطالعه که بررسی رفتار سیلاب و نحوه گسترش آن در بازه‌ای از مناطق مسکونی حوضه بوده، نقشه برداری از مقاطع انتخابی در محل‌هایی که فاقد تغییر قابل ملاحظه در سطح مقطع، ضریب زبری و یا شیب رودخانه بود انجام گرفت. برای تعیین ضریب زبری بازه‌ها نیز از روش مانینگ استفاده شده و سپس از الحاقیه HEC-Geo RAS در محیط GIS برای آماده‌سازی و ورود اطلاعات هندسی مربوط به بازه استفاده گردید. اطلاعات ورودی شامل مسیر جریان، ساحل چپ و راست و کانال اصلی و مقاطع عرضی بوده که در قالب لایه‌های اطلاعاتی جدید در ARC GIS به مدل HEC-RAS وارد گردید. آنگاه با ورود داده‌های هیدروگراف واحد لحظه‌ای و معرفی ضرایب زبری، همگرایی و واگرایی کانال، مدل HEC-RAS اجرا شد و نتایج تحلیل هیدرولیکی جریان در قالب نقشه‌های پهنه بندی سیلاب با دوره برگشت ۵، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ سال نمایش داده شد. در زیر به تشریح مدل‌های هیدروگراف واحد لحظه‌ای SCS و HEC-RAS می‌پردازیم.

### مدل هیدرولیکی HEC-RAS

از این مدل برای محاسبه نیمرخ سطح آب، شبیه‌سازی جریان‌های پایدار و ناپایدار، محاسبه رسوبات انتقال یافته در سواحل و تحلیل کیفی آب استفاده می‌شود. در تحلیل جریان‌ها، این مدل از توانایی تهیه نیمرخ سطح آب در شرایط فوق بحرانی و زیر سطح بحرانی برخوردار بوده و از طریق آن می‌توان ساختارهای هیدرولیکی از قبیل پل‌ها و بنادر را مدلسازی نمود. به علت قابلیت‌های بالای این مدل، از آن به‌طور گسترده برای مدیریت رودها و دشت‌های سیلابی بهره گرفته شده است. در این تحقیق برای بررسی

سیلاب رودخانه کلکان چای از مدل HEC-RAS استفاده شده است. مدل‌های هیدرولیکی برای تعیین بهترین خروجی نیازمند پارامترهای ورودی هستند. این پارامترها شامل مقاطع عرضی هر زیر حوضه در محل سواحل راست و چپ، ضریب زبری مانینگ و ضرایب انقباض و انبساط می‌باشند. ضریب زبری، مقاومت سطوح را نسبت به جریان نشان می‌دهد و از این پارامتر برای محاسبه عمق آب استفاده می‌شود. در مطالعات مهندسی، جزئیات بیشتری از داده‌های مقطع عرضی در مدل ادغام می‌گردند (کوئینوئز، ۲۰۰۵). منظور از جریان پایدار در تحلیل‌های HEC-RAS، شرایطی است که در آن عمق و شدت در قسمت معینی از رودخانه تغییر نمی‌یابد. مشخصه این نوع جریان تغییرات ناچیز در عمق و شدت جریان از یک مقطع عرضی تا مقطع بعد می‌باشد. برای محاسبه نیمرخ سطح آب رودهای دائمی نیز از مدل HEC-RAS استفاده شده است. در این نوع رودها، جریان مقاطع عرضی در طول زمان ثابت فرض می‌شود. محاسبات مربوط به این نوع از رودها مبتنی بر بیلان انرژی از یک مقطع عرضی به مقطع دیگری است. معادلات انرژی مبتنی بر قوانین فیزیک بوده و در آن چنین عنوان می‌شود که انرژی از بین نمی‌رود بلکه از شکلی به شکل دیگر تغییر حالت می‌دهد. معادله انرژی به صورت زیر است:

$$Z_2 + Y_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_0 \quad (1)$$

قسمت راست و چپ معادله به ترتیب مقاطع عرضی بالادست و پایین دست را نشان می‌دهد و در آن  $Z_1$  و  $Z_2$  انحراف اصلی مجرا،  $Y_1$  و  $Y_2$  عمق آب در مقاطع عرضی،  $V_1$  و  $V_2$  میانگین سرعت در مقاطع عرضی،  $a_1$  و  $a_2$  ضرایب وزنی سرعت،  $g$  نیروی گرانشی (۹/۸۱ m/s) و  $h_0$  اتلاف انرژی می‌باشد. اتلاف انرژی (he) در بین گذر جریان آب از مقاطع عرضی بالادست به پایین دست رخ می‌دهد. علت اتلاف انرژی نیز اصطکاک و یا انقباض و انبساط در مجرای رود می‌باشد. در اثر این پدیده، انرژی مکانیکی از شکل پتانسیل و یا جنبشی به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود. مقادیر اتلاف انرژی نیز از طریق معادله زیر محاسبه می‌گردد:

$$h_0 = LS_f + C \left[ \frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right] \quad (2)$$

در این معادله  $S_f$  شیب اصطکاک بین دو مقطع،  $C$  ضریب انبساط و انقباض و  $L$  دبی بر اساس طول رودخانه می‌باشد. برای بررسی ضریب زبری از روابط بین ضریب مانینگ، دارسی و شزی استفاده می‌شود. روابط بین ضریب مانینگ و دبی به صورت زیر می‌باشد:

$$Q = KS_f^{1/2} \quad (3)$$

$$K = \frac{1.486}{n} AR_n^{2/3} \quad (4)$$

در این معادله  $n$  ضریب زبری مانینگ،  $A$  مساحت مجرا در بین مقاطع عرضی،  $R$  شعاع هیدرولیکی و  $K$  نسبت انتقال در بین مقاطع عرضی می‌باشد.

برای محاسبه ضرایب سرعت و انتقال، مدل HEC-RAS، رودخانه را به مقاطع عرضی تقسیم نموده و به محاسبه می‌پردازد. مدل HEC-RAS میانگین انرژی را برای هر مقطع عرضی محاسبه کرده و ارتفاع سطح آب را به دست می‌آورد. بنابراین ضروری است تا ضریب وزنی سرعت ( $a$ ) از طریق میانگین انرژی جنبشی محاسبه گردد. در این بین شیب اصطکاک نیز از طریق معادله میانگین نسبت انتقال برآورد می‌گردد. برای محاسبه شیب اصطکاک ( $S_f$ ) و ضریب وزنی سرعت ( $a$ ) از معادلات زیر استفاده می‌شود:

$$a = \frac{(A_t)^2 \left[ \frac{K_{LOB}^2}{A_{LOB}^2} + \frac{K_{ch}^3}{A_{ch}^2} + \frac{K_{rob}^3}{A_{rob}^2} \right]}{K_t^3} \quad (5)$$

$$\bar{S}_f = \left( \frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2 \quad (6)$$

مقادیر ضریب مانینگ استفاده شده در مدل HEC-RAS در حوضه رودخانه کلکان چای مبتنی بر وضعیت مقاطع عرضی بوده و از پوشش زمین و کاربری اراضی



تبعیت می‌کند (وارنر، ۲۰۰۸). در جدول زیر مشخصات فیزیوگرافی حوضه ذکر شده است.

جدول ۱ - مشخصات فیزیوگرافی حوضه آبریز کلکان چای

پارامتر	داده	پارامتر	داده
ارتفاع (متر)	۱۵۴۰	طول (km)	۶۹/۹
طول	۴۷ ۰۰	طول مستطیل (km)	۷۷/۵۳
عرض	۳۷ ۲۵	عرض مستطیل (km)	۷/۸۷
سطح حوضه آبریز (کیلومتر مربع)	۶۱۰/۵	$K_c$	۱/۹۴
طول شاخه اصلی (کیلومتر)	۶۹/۹	$H_{max}(m)$	۳۷۰۰
مساحت (km <sup>2</sup> )	۶۱۰/۵	$H_{ave}(m)$	۱۹۷۲/۵
محیط (km)	۱۷۰/۸	$H_{min}(m)$	۱۵۴۰
$L_b(\%)$	۲۱/۳۰	زمان تمرکز	۱۱/۰
طول بازه انتخابی (km)	۴	شیب بازه انتخابی (درجه)	۱
ضریب مانینگ	۰,۰۳ - ۰,۰۵	تنگ و گشاد شدگی رودخانه	۰,۱ - ۰,۳

### مدل هیدروگراف واحد مصنوعی SCS

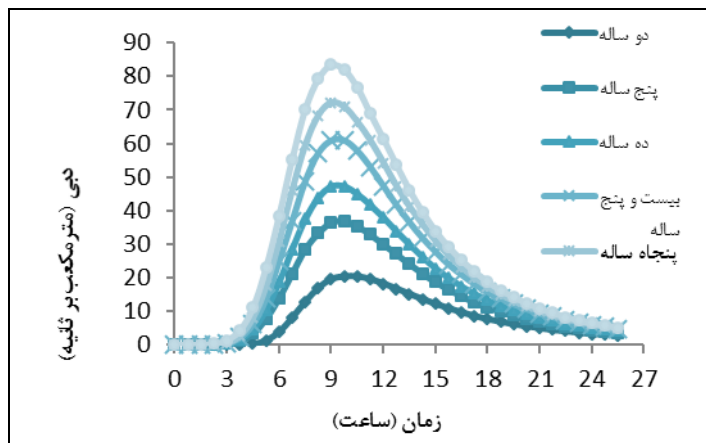
سرویس حفاظت خاک آمریکا در سال ۱۹۷۱ با توجه به ویژگیهای حوضه و موقعیت های جغرافیایی آن، اقدام به ارائه هیدروگراف های واحد بی بعد نمود. بر این اساس برای محاسبه دبی اوج و زمان اوج، معادلاتی توسط رامیراز (۲۰۰۰)، آگونلیلا و کاسالی (۲۰۰۲) و راگوناس (۲۰۰۶) ارائه گردید. نحوه محاسبه پارامتر دبی اوج به صورت زیر خواهد بود:

$$Q_p = \frac{0.208 \times A \times Q_d}{t_p} \quad (7)$$

در این معادله  $Q_p$  دبی اوج،  $t_p$  زمان اوج،  $A$  مساحت حوضه و  $Q_d$  مقادیر دبی در هیدروگراف بی بعد می باشد.

## بحث و نتایج

از آنجا که در پهنه بندی سیلاب، حجم و نحوه تغییرات سیل در طول زمان مورد نیاز می باشد، لذا شکل هیدروگراف سیلاب بر اساس هیدروگراف واحد مصنوعی SCS، با دوره برگشت های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله برآورد گردیده است. در تهیه این هیدروگراف ها، بارندگی قبل و بعد از رگبار اصلی که در حجم و دبی اوج هیدروگراف موثر می باشند بر اساس بارندگی ۲۴ ساعته منظور شده اند. بر این اساس، هیدروگراف واحد مصنوعی برای دوره برگشت های مختلف ترسیم شده که مقادیر آن در جدول (۲) و شکل (۲) ارائه گردیده است.



شکل ۲- هیدروگراف واحد مصنوعی SCS در حوضه رودخانه کلکان

جدول ۲- هیدروگراف سیلاب های با دوره برگشت های مختلف در محور کلکان باروش SCS

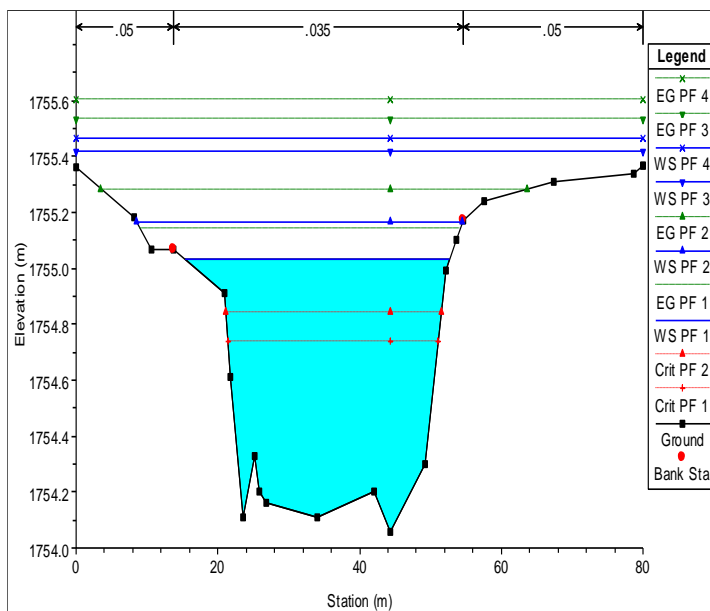
زمان (ساعت)	دوره بازگشت (سال)					
	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
	$3 \text{ m}20/3$	$3 \text{ m}37/0$	$3 \text{ m}47/3$	$3 \text{ m}60/99$	$3 \text{ m}72/1$	$3 \text{ m}83/4$

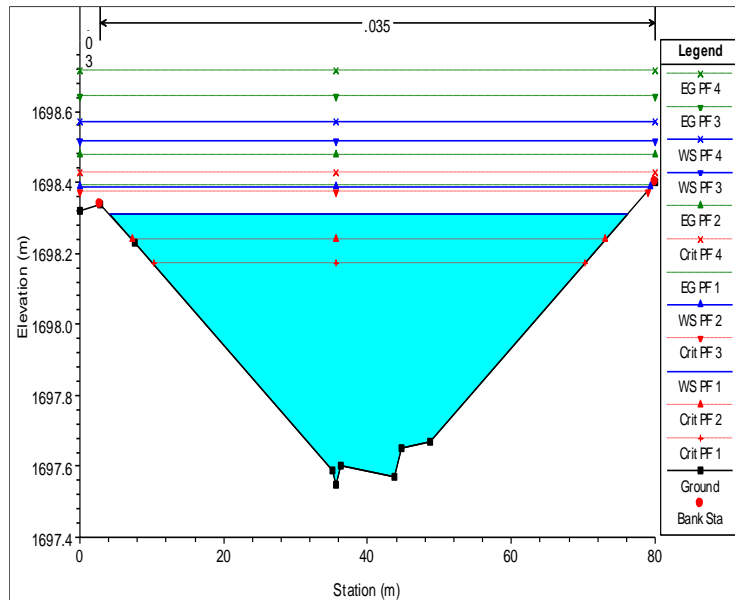
در مرحله بعدی اقدام به استفاده از مدل HEC-RAS در پهنه بندی سیلاب شد. به این منظور از الحاقیه HEC-GeoRAS بهره گرفته شده است. نتیجه کاربرد الحاقیه HEC-GeoRAS تهیه TIN بازه می باشد که به عنوان پایه استخراج خصوصیات

هندسی بازه در HEC-RAS می‌باشد. نتایج و خروجی‌های مدل HEC-RAS در شرایط جریان ماندگار به صورت‌های گرافیکی و جداول ارائه می‌شود. این نتایج شامل نمودارهای مقاطع عرضی، پروفیل‌ها، منحنی‌های سنجه آب، هیدروگراف‌ها و نمودارهای سه بعدی برای هر مقطع و خروجی‌های دیگر در مورد شرایط هیدرولیکی برای بازه‌ها می‌باشد. نتایج مربوط به مدل HEC-RAS دلالت بر توانایی مدل در تعیین وضعیت هیدرولیک جریان در بازه مورد مطالعه داشته است.

### مقاطع عرضی:

به طور کلی در مدل HEC-RAS، هندسه رودخانه به وسیله مقاطع عرضی و فاصله آن‌ها از هم معرفی می‌شود. نتایج پخش سیلاب در پهنه سیل گیر را می‌توان به صورت گرافیکی و هم به صورت جدول گونه مشاهده نمود. مقاطع عرضی رودخانه کلفان برای سیلاب‌های با دوره بازگشت ۵، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله در شکل ۲ دیده می‌شود.





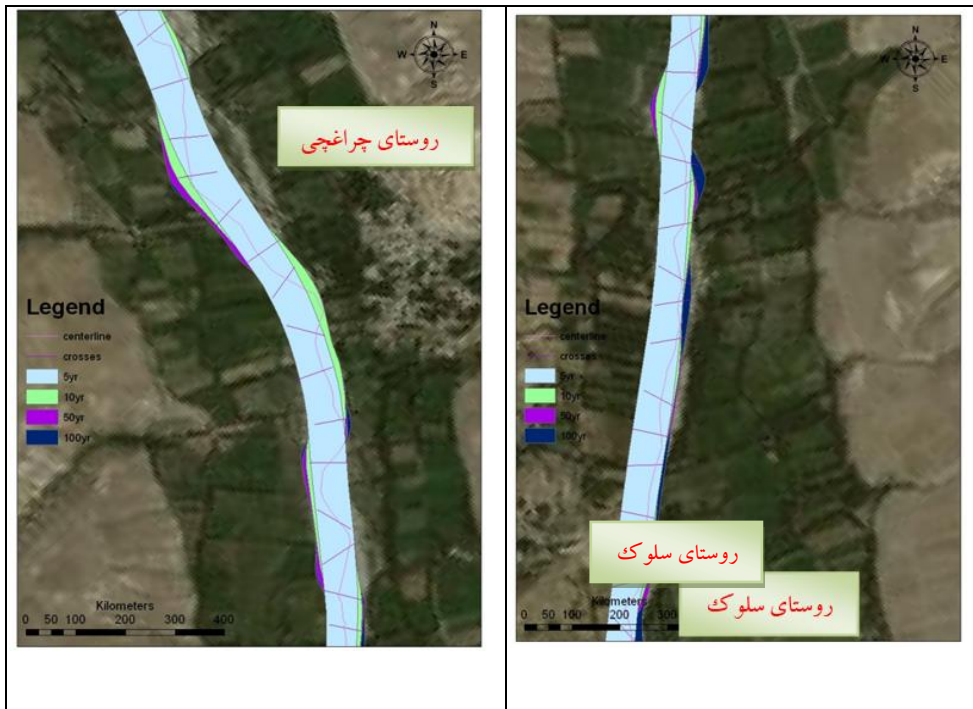
شکل ۳- نمونه‌ای از مقاطع عرضی کلفان چای- بستر با پهنا کم ( شماره ایستگاه ۴۷۷۶/۸۱ و ۱۲۸۵/۰۱)

پس از انجام مطالعات هواشناسی و هیدرولوژی و تعیین دبی سیلابی رودخانه در بازه‌های مختلف که توسط روش‌های مختلف و روندیابی هیدرولوژیکی جریان انجام می‌گیرد، محاسبات هیدرولیکی سطح آب به کمک مدل‌های ریاضی در مقاطع مختلف رودخانه انجام می‌شود. در حقیقت، اطلاعات هواشناسی و بارندگی در مطالعات هیدرولوژی به تعیین مقدار دبی رودخانه منجر می‌شود. به کمک پهله بندی، مشخص می‌شود که پس از یک بارندگی و مشخص شدن شدت و مدت آن در یک حوضه آبریز، چه رقومی از سطح آب یا به عبارتی چه میزان غرقابی در مقاطع مختلف رودخانه در پایین دست را می‌توان انتظار داشت. با وجود اینکه با استفاده از روش‌های سازه‌ای، می‌توان قبل از وقوع سیل شدت جریان و تراز آب را تخمین زد و با هدایت و انحراف، میزان خسارات وارده را کاهش داد، اما در دهه‌های گذشته عملکرد آن رضایت بخش نبوده و کارشناسان بر این عقیده‌اند که اگر روش‌های سازه‌ای با روش‌های غیرسازه‌ای ترکیب شوند، راه حل بهینه‌ای برای حداقل نمودن خسارات سیلاب به

دنبال خواهند داشت. به کمک منوی GIS Tool در نرم افزار HEC-RAS 4.1 امکان پهنه بندی سیلاب در خود این نرم افزار فراهم گردیده است.

### پهنه بندی سیلاب در GIS:

برای قسمتی از رودخانه کلکان که از سد کلکان تا حوالی روستای چراغچی ادامه پیدا می کند، پهنه بندی سیلاب انجام گرفت که در شکل های ۴ و ۵ می شود. این پهنه بندی براساس حداکثر دبی ها با دوره های بازگشت ۵، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ انجام گرفته و محدوده پخش سیلاب در بازه انتخابی با رنگ های مختلف نمایش داده شده است.

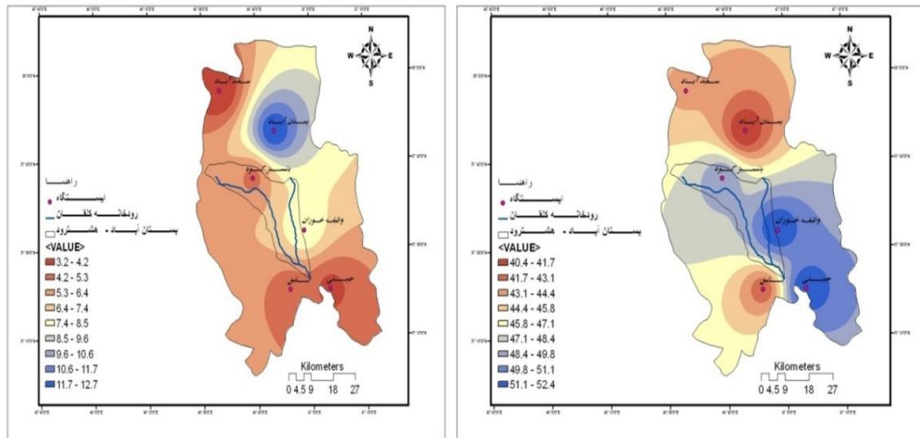


شکل ۵- نمای پهنه بندی سیلاب رودخانه کلکان چای چراغچی (محدوده روستای چراغچی)

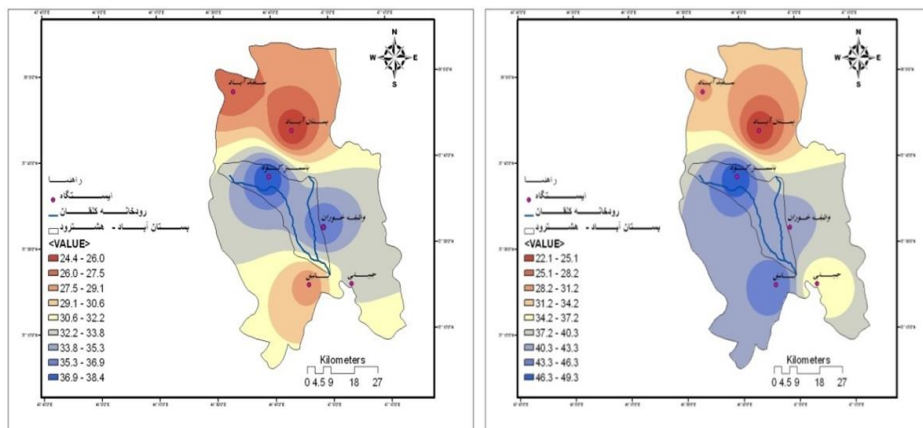
شکل ۴- نمای پهنه بندی سیلاب رودخانه کلکان چای روستای سلوک (محدوده روستای سلوک)

### پهنه بندی بارندگی به روش IDW:

یکی از متداولترین روش‌های درونیابی برای نقاط پراکنده، استفاده از روش درونیابی IDW (عکس مجذور فاصله وزنی) می‌باشد. بر اساس این روش سطحی که پهنه بندی در آن انجام می‌گیرد می‌بایست از نقاط نزدیک بیشتر از نقاط دورتر متاثر گردد. به دلیل کم بودن تعداد ایستگاه‌ها و نیز نمایش بهتر توزیع فضایی برای پهنه بندی بارندگی منطقه از این روش درونیابی و پهنه بندی استفاده شد. بدین منظور بعد از بررسی داده‌ها و تکمیل و تطویل آن‌ها، سال پایه ۱۰ ساله انتخاب و به کمک نرم‌افزار ARC GIS نقشه پهنه‌بندی منطقه با روش IDW ترسیم گردید. با توجه به نقشه‌های پهنه بندی که با توجه به فصول چهار گانه ترسیم گردید، می‌توان گفت در نقشه پهنه بندی بارندگی ترسیم شده برای فصل بهار، بیشترین میزان بارندگی مربوط به ایستگاه چینی و وظیفه خوران با ۵۲/۵ میلی‌متر و کمترین آن مربوط به ایستگاه بستان آباد با ۴۰/۴۶ میلی‌متر می‌باشد. در کل در فصل بهار در تمام محدوده انتخابی، بارندگی از توزیع فضایی بالایی برخوردار بوده است. در نقشه پهنه بندی فصل تابستان، بیشترین بارندگی در ایستگاه بستان آباد با متوسط ماهانه ۱۲/۸ میلی‌متر رخ داده است. در فصل تابستان، توزیع بارندگی در منطقه نسبت به فصول دیگر پایین‌تر بوده است. در نقشه ترسیم شده برای فصل پاییز، مقادیر بارندگی در ایستگاه باشسیز کوه با میزان ۳۸/۵ و سپس در ایستگاه وظیفه خوران با میزان ۳۷ میلی‌متر نسبت به سایر ایستگاه‌ها از مقادیر بالاتری برخوردار است. در ایستگاه‌های بستان آباد و سعید آباد، کاهش بارندگی قابل رویت است. در نقشه پهنه بندی فصل زمستان، بیشترین بارندگی به ترتیب در ایستگاه‌های باشسیز کوه، یانیق و وظیفه خوران رخ داده و ایستگاه بستان آباد از بارندگی زمستانه کمتری نسبت به سایر ایستگاه‌ها برخوردار است. با توجه به نقشه‌های ترسیم شده می‌توان نتیجه گرفت که با بالا بودن میزان بارندگی در فصول بهار و زمستان، احتمال وقوع سیل در این دو فصل بیشتر از فصول دیگر می‌باشد. به خصوص در اواخر فصل زمستان که رگبار بهاری با ذوب برف همراه است.



شکل ۶- متوسط بارندگی فصل بهار و تابستان (۱۳۷۸-۱۳۸۸)



شکل ۷- متوسط بارندگی فصل پاییز و زمستان (۱۳۷۸-۱۳۸۸)

### نتیجه گیری:

توسعه سیستم‌های پیش‌بینی سیل در کشورهای مختلف عمدتاً با توجه به نیازهای موجود در این زمینه صورت گرفته است. در اکثر کشورها، روش‌های سازه‌ای کنترل سیل، به تنهایی جوابگوی مسائل و مشکلات نبوده و به عبارتی دور کردن سیلاب از مردم به علت وقوع سیلاب‌های بزرگ راه گشا نشده است. بنابراین سیستم‌های پیش‌بینی

در راستای دور کردن مردم از سیلاب گسترش یافته‌اند که در این روش عمدتاً هدف سازگاری با بلایای طبیعی دنبال می‌شود.

نتایج کاربرد مدل را در ارزیابی جریان رودخانه می‌توان چنین بیان کرد:

- محاسبات هیدرولیک جریان و سیل در وضع موجود نشان می‌دهد که در بیشتر مقاطع، سیلاب‌های با دوره بازگشت ۵، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله از مقطع اصلی رودخانه بالاتر رفته و در اطراف رودخانه پخش می‌شود. بنابراین علاوه بر وجود زمین‌های کشاورزی و روستاها، ایجاد سازه‌هایی برای جلوگیری از پخش سیلاب ضروری می‌باشد.

- در محل روستای چراغچی در مقطع شماره ۵۷۱۲/۰۸۲، سیلاب پخش شده در دوره‌های بازگشت ۵، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله به ترتیب ۵۵/۳۱، ۵۵/۹۶، ۵۷/۹۳ و ۷۳/۰۹ می‌باشد.

- در محل روستای چراغچی، احتمال جریان سیلاب با دوره بازگشت ۱۰ ساله به طرف روستا وجود دارد. محدوده پخش سیلاب به ترتیب مساحتی به میزان ۳۰/۵۶، ۳۵/۳۶، ۴۵/۴۷ و ۴۹/۲۶ متر مربع برای سیلاب‌های با دوره بازگشت ۵، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله می‌باشد.

بررسی روش‌های مهار سیلاب و کاهش خسارات و تلفات آن به صورت محدود و پراکنده در سطح کشور مورد استفاده قرار گرفته و نشان می‌دهد یک راه حل مشخص و مطمئن برای کلیه مناطق سیل‌گیر وجود ندارد. اما بدیهی است، پدیده سیل علیرغم همه پیچیدگی‌هایش قابل بررسی و مطالعه بوده و می‌توان در جهت مهار و کاهش خسارات آن و حتی بهره‌وری از سیل، روش‌های مناسبی جستجو کرد. بر این اساس مدیریت شرایط اضطراری جهت پیش‌گیری و کاهش خسارات سیل در قالب دستورالعمل‌ها و برنامه عملیاتی سیل از اهمیت بسزایی برخوردار است.

بنابراین مدیریت مناطق سیل‌گیر بدین معنی نیست که هیچ سازه‌ای در مسیر رودخانه احداث نشود و یا هیچ اقدامی در مسیر رودخانه صورت نگیرد، بلکه اصلاح و ساماندهی



مسیر رودخانه می تواند باعث کاهش خسارات سیل شده و به استفاده مناسب از منابع آبی رودخانه کمک نماید. بنابراین پیشنهاد می شود که با رعایت صحیح اصول مهندسی رودخانه و با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی، زیستی، توپوگرافی و هیدرولوژی یک حوضه و آبراهه های آن، اقدام به احداث سازه مورد نیاز در آن شود.

## منابع

۱. ترابی . س.ا، تجریشی . م ، سارنگ . س.ا، برقی . س.م ، ۱۳۸۰. تحلیل هیدرولیک جریان یک بعدی رودخانه سیستان ، سومین کنفرانس هیدرولیک ایران.
۲. حیدری، علی. امامی، کامران. سادات میرئی، محمد حسین. تقی خان، شهین دخت. مرادی فلاح، شادی. برخوردار، مهرداد. پیش بینی و هشدار سیل. کمیته ملی آبیاری و زهکشی. تهران ۱۳۸۴.
۳. جلالی راد، ر.، ۱۳۸۱. پهنه بندی سیل در بخشی از حوضه آبخیز شهری تهران با استفاده از GIS، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری ، دانشکده منابع طبیعی ، دانشگاه تربیت مدرس ، صفحه ۱۱۵.
۴. سبزی پرور، علی اکبر، ۱۳۷۰. بررسی سینوپتیک سیستم های سیل زا در جنوب غرب ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران
۵. مطلوبی، مصیب. ۱۳۸۷. پهنه بندی سیلاب دشت با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تبریز.
۶. وزارت نیرو، ۱۳۸۷. طرح زرینه رود ، مطالعات مرحله دوم کنترل سیلاب رودخانه های زرینه رود و سیمینه رود.
۷. وزارت نیرو، ۱۳۸۸. شرکت آب منطقه ای آذربایجان شرقی، مطالعات مرحله اول طرح آب رسانی به بستان آباد و صنایع حومه آن از سد کلکان.

8. Benavides, J.A., Pietruszewski, B. Kirsch, Band Bedient, Ph., 2003. Analyzing Flood Control Alternatives For The Clear Creek Watershed In A Geographic Information System Framework.

9. Dehoo, A., Odijk, M., Koster. E. and Lucieer, A., 2001. Assessing The Effects Of Landuse Changes On Floods In The Meuse And Other Catchments, Phys. Chem. Earth (B) 26 (7-8): 593-599.

10. James . M.D., Larson & T.F. Glover , 1980. Floodplain management needs precuiler to arid climates. Water resources bulletin. Vol . 16. No .6. PP. 1020-1029.
11. Knebl, M. R., Yang, Z.L., Hutchison, K., Maidment, D.R., 2005. Regional scale Flood modeling Using NEXRAD Rainfall, GIS and HEC-RAS: A Case Study For The San Antonio River Basin summer 2002 storm event, Journal Of Environmental Management. 75(2005), 325- 336.
12. Kraus, P. E. Richard A., 2002. Flood plain Determination using ARC VIEW, GIS & HEC-RAS, Hydrological & Hydraulic Modeling support with geographic information system, ESRI press.
13. Quinoez, Carlo G.2005. Development of HEC-HMS and HEC-RAS models for urban floodplain mapping and flood damage reduction in Brownsville, Rice University, Texas.
14. Radwan, A., 1999. Flood Analysis and Mitigation for Area in Jordan. Journal of Water Resources and Management, 125(3): 170-177.
15. Tale ,E . C , Olivera ,F and Maidment ,D., 1999. Flood Plain Mapping using HEC-RAS and ARC VIEW GIS , The University of Texas at Austin 223 P.
16. Warner, John C. Brunner, Gray W. Wolfe, Brent C. Piper, Steven S. HEC-RAS river analysis system application guide. US army corps for engineers, Hydrologic engineering center (HEC). March 2008.
17. Whiteaker, T L. O Robayo, D R. Maidment and D. Obenour(2004). From a NEXRAD rainfall map to flood inundation map. Journal of Hydrologiyc Engineering. 11(1), pp. 37-45.
18. Ogunlela A.O and Kasali. M.Y. Evaluation of four methods of storm hydrograph development for an ungaged watershed. Published in Nigerian Journal of Technological development. Faculty of engineering and Technology, University of Ilorin, Ilorin, Nigeria. 2002 (2); 25 – 34
19. Raghunath H.M. Hydrology: Principles, Analysis and Design. New Age International (P) Limited, Publishers, New Delhi. 2nd edition. 2006.
20. Ramirez J.A. Prediction and Modeling of Flood Hydrology and Hydraulics. Chapter 11 of Inland Flood Hazards: Human, Riparian and Aquatic Communities. Edited by Ellen Wohl; Cambridge University Press. 2000.