

جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۱۶، پاییز ۱۳۹۴
صص. ۷۳-۸۸

بررسی شواهد ژئومورفیک سیلاب دره رودخانه سیروان به منظور برآورد حداکثر دبی در دوره‌های بازگشت مختلف

محمد حسین رضایی مقدم* - استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، ایران
محمد رضا نیکجو - دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، ایران
حسام ملکی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، ایران

وصول: ۱۳۹۴/۱/۱۱ پذیرش: ۱۳۹۴/۵/۲۰

چکیده

استفاده از مطالعات ژئومورفولوژی، با توجه به پیشرفت‌های اخیر در هیدرولوژی دیرینه سیلاب، به عنوان مکملی برای نگرش‌های هیدرولوژی متداول مورد نیاز است. رودخانه سیروان به عنوان یکی از شاخص‌ترین رودخانه‌های واقع در غرب کشور، سیلاب‌های زیادی در طول سال دارد و با توجه به شواهد ژئومورفولوژیک موجود در مسیر جریان رودخانه، سیلاب‌های بزرگ‌تری نیز در گذشته داشته است. هدف این پژوهش، برآورد حداکثر دبی در دوره‌های مختلف ۲ تا ۱۰۰۰ ساله، بر اساس شواهد ژئومورفولوژیک موجود در مسیر رودخانه هست. با شناسایی شواهد سیلاب‌های دیرینه در ۱۷ مقطع از دره رودخانه، به صورت سایت‌های مجزا نقشه‌برداری شد و نقشه با مقیاس ۱:۱۰۰۰ تهیه گردید تا بر اساس آن بالاترین سطح تراز آب تعیین شود. از نرم‌افزار HEC-RAS، LAND و GIS جهت بازسازی چیننه‌ها، ترسیم نقشه‌ها و تحلیل‌های هیدرولیکی بهره گرفته شد. نتایج نشان داد که حداکثر دبی سیلابی برای دوره ۲ ساله، ۱۰۳/۶۶ و برای دوره ۱۰۰۰ ساله ۴۷۸۵/۷۸ مترمکعب بر ثانیه و تراز آب در دوره ۲ ساله، ۸۶۸/۴۲ متر و برای دوره ۱۰۰۰ ساله ۸۸۵/۹۱ متر و تراز آب در حالت بحرانی برای دوره بازگشت ۲ ساله، ۸۶۶/۲۸ متر و برای دوره ۱۰۰۰ ساله ۸۷۴/۳۵ به دست آمد. حداکثر دبی لحظه‌ای رودخانه در سال‌های ۱۳۴۷ و ۱۳۵۲ با دبی ۱۳۷/۸۹ مترمکعب در ثانیه نشان داد که وقوع سیلاب‌های بزرگ دور از انتظار نیست. با استفاده از شاخص دیرینه تراز PSI، می‌توان سیلاب‌های بزرگ (حداکثر دبی) را در کانال رودخانه از طریق نرم‌افزار HEC-RAS و HEC-GEORAS برآورد و تشریح نمود. بهره‌گیری از شواهد ژئومورفولوژیک سیل، داده‌های بیشتری را برای داده‌های سیستماتیک در حوضه رودخانه‌های بدون ایستگاه‌های هیدرومتری فراهم کرده است و در نتیجه منجر به برنامه‌ریزی دقیق‌تر در طراحی سازه‌ها و پهنه‌های خطر سیلاب در حاشیه رودخانه می‌شود.

واژگان کلیدی: شواهد ژئومورفیک، رودخانه سیروان، مدل HEC-RAS، برآورد دبی، رسوبات آب راکد.

مقدمه

سیل، یکی از پدیده‌های طبیعی است که همواره برای انسان و دارایی‌های او می‌تواند خطرناک باشد و به عنوان یک مخاطره مورد توجه قرار گیرد. تعیین ویژگی‌های سیل مانند عمق و حجم جریان آب، دبی پیک سیل و توزیع فراوانی و تخمین و برآورد آن برای برنامه‌ریزی و طراحی سازه‌های مربوط به کنترل و مهار سیل مانند پل‌ها، سرریز و دریچه سد و... بسیار مهم هستند.

امروزه برآورد سیلاب، در رودخانه‌های کوهستانی به دلیل نبود یا کمبود ایستگاه‌های باران‌نگاری و فقدان آمار دبی لحظه‌ای یکی از معضلات اساسی مدیریت و کنترل سیلاب است؛ بنابراین ضرورت دارد که از روش‌های مناسبی برای برآورد سیل اقدام شود. تحلیل‌های ژئومورفولوژیکی طی چند دهه اخیر به طور گسترده‌ای در تبیین عملکرد فرایندها و مخاطرات ژئومورفیکی مورد استفاده قرار گرفته است (استوفل^۱، ۲۰۰۸). برتر^۲ در ۱۹۲۳ و ۱۹۲۹ نخستین پژوهشگری بود که برای کسب اطلاعات و رفع ابهامات در مورد مسیر سیلاب‌های کاتاستروفیک دریاچه میسولای پلیوستوسن در شمالغرب آمریکا، به طور گسترده‌ای از شواهد زمین‌شناسی استفاده کرد و رسوبات آب راکد را در کانال‌های معروف به اسکابلند در واشنگتن غربی تشریح کرد. مفهوم هیدرولوژی سیلاب‌های دیرینه و استفاده از شواهد ژئومورفولوژیکی در سال ۱۹۸۲ به طور رسمی توسط بیکر و کوچل مطرح شد. نخستین پژوهش در این زمینه در آمریکا (به ویژه در جنوب و جنوب غربی) آغاز شد در سال ۱۹۸۵ کنفرانسی به نام «تحلیل سیلاب‌های بزرگ» در چین برگزار شد. باکر روش‌های مطالعه سیلاب‌های قدیمی را آموزش داد. پس از آن چینی‌ها این‌گونه پژوهش‌ها را آغاز نمودند. سپس در هند و آفریقای جنوبی و اسپانیا، ژاپن و انگلستان، روسیه، برزیل و سایر کشورها دنبال شد.

مطالعات کارهای انجام‌شده در زمینه استفاده از شواهد ژئومورفیک برای برآورد سیلاب‌ها نشان می‌دهد که این فعالیت‌ها در سه زمینه شامل: بازسازی حداکثر سطح و حجم سیلاب محتمل، تطویل دوره‌های آماری و محاسبه دوره برگشت سیلاب‌های بزرگ و همچنین تحلیل تغییرات اقلیمی انجام گرفته است. پژوهشگرانی از قبیل کوچل^۳ (۱۹۸۲)، هوسکینگ و والیس^۴ (۱۹۸۶)، باردسلی^۵ (۱۹۸۸)، باکر^۶ (۱۹۸۷)، روبرت^۷ (۱۹۹۰)، انزل^۸ و همکاران (۱۹۹۴)، گوتیسفلد^۹ (۱۹۹۶)، روبرت و همکاران (۲۰۰۲)، وب^{۱۰} و همکاران (۲۰۰۲)، باکرو همکاران (۲۰۰۲)، گریگوری^{۱۱} (۲۰۰۲)، فنیسک^{۱۲} (۲۰۰۳)، بنیتو^{۱۳} و همکاران (۲۰۰۵)، فرناندز-لاوادو^{۱۴} و همکاران (۲۰۰۷)، کنوواس^{۱۵} و همکاران (۲۰۱۰)، بالستروس^{۱۶} و همکاران (۲۰۱۱)، سامجی و کیس^{۱۷}

1- Stofel

2- Bretz

3- Kochel

4- Hosking & Wallis

5- Bardesley

6- Baker

7- Robert

8- Enzel

9- Gottesfeld

10- Webb

11- Gregory

12- Fenske

13- Benito

14- Fernandez-Lavado

15- Canovas

16- Ballesteros

17- Kiss, Sumeghy

(۲۰۱۲)، سچرمل^۱ و همکاران (۲۰۱۳)، لیو^۲ و همکاران (۲۰۱۴) در این زمینه، تحقیقات ارزشمندی انجام داده‌اند. یکی از دلایل عمده افزایش توجه پژوهشگران به تحقیقات پالئوهیدرولوژی و به ویژه هیدرولوژی پالئوسیلاب در دنیا، توجه معطوف شده روی تغییرات اقلیمی و اثراتش بر اکوسیستم‌های مختلف زمینی و آبی کره زمین و دینامیک سیستم‌های رودخانه‌ای است.

در ایران پس از رخداد سیلاب‌های کاتاستروفیک رودخانه‌ای و ناتوانی روش‌های مرسوم هیدرولوژیکی در برآورد شدت و دوره برگشت سیلاب‌ها، ضرورت به‌کارگیری شواهد ژئومورفولوژیک در ارزیابی سیلاب‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است (رضایی‌مقدم و اسماعیلی، ۱۳۸۴: ۱؛ حسین‌زاده و جهادی‌طرقی، ۱۳۸۵؛ جهادی‌طرقی و حسین‌زاده، ۱۳۹۰؛ جهادی‌طرقی و حسین‌زاده، ۱۳۹۲).

یکی از رویکردهای جدید در ژئومورفولوژی، برآورد حجم دبی و سیلاب‌ها در رودخانه‌های فاقد ایستگاه است. این شیوه در ایران کمتر مورد توجه بوده و به‌طور مختصر به آن پرداخته شده است. بررسی پالئوژئومورفولوژیکی می‌تواند برای بازسازی و عملکرد فرایندها مورد استفاده قرار گیرد و استفاده از داده‌های ژئومورفولوژیکی و سایت‌هایی از رسوبات سیلابی در بازه‌های مختلف رودخانه می‌تواند به تکمیل و تأیید سایر داده‌ها کمک کند. با توجه به وقوع سیلاب‌های مکرر در طول رودخانه‌ها، بررسی سیلاب‌های گذشته و پتانسیل وقوع سیلاب‌ها بر مبنای شواهد موجود دور از منطق نیست. با عنایت به اینکه با وقوع هر سیلاب، تغییرات عمده‌ای در کانال فعال رودخانه، دشت سیلابی و کرانه‌ها صورت می‌گیرد، می‌توان با استناد به این تغییرات و بقایای موجود برآوردهای لازم را انجام داد.

یکی از شاخه‌های پر جاذبه پژوهشی در ژئومورفولوژی رودخانه‌ای، هیدرولوژی دیرینه سیلاب‌ها^۳ است، این شاخه از ژئومورفولوژی با استفاده از شواهد سیلاب‌های قدیمی، به ویژه رسوبات، به بازسازی شدت و فراوانی وقوع آنها پرداخته و رفتار سیستم‌های رودخانه‌ای را روشن می‌کند. سیل، به عنوان یک پدیده طبیعی از دیرباز توجه علوم مختلف از جمله هیدرولوژی، هیدرولیک، ژئومورفولوژی را به خود جلب کرده است. در علم ژئومورفولوژی دو برداشت متفاوت از آن شده است یکی مشتمل بر اندازه‌گیری مقدار بار معلق، دیگری بررسی آثار ژئومورفیک در قالب تغییر در لندفورم‌ها (کوچل، ۱۹۸۲). این تحقیق بر آن است که با مطالعه بازه‌ای از رودخانه سیروان، سیلاب‌های آن را بر مبنای شواهد ژئومورفولوژیکی و با توجه به ماهیت علم ژئومورفولوژی شبیه‌سازی، برآورد و تحلیل کند. برآوردهای طولانی‌مدت سیلاب در رودخانه سیروان موجب می‌گردد تا ضمن آگاهی از رفتار رودخانه و سیلاب‌ها، بتوان نسبت به بررسی طرح‌های رودخانه به صورت کاملاً هوشیارانه و بر اساس قواعد حاکم بر رودخانه عمل نمود.

معرفی منطقه مورد بررسی

منطقه مورد مطالعه منطبق بر بخشی از بستر اصلی رودخانه سیروان حد فاصل بین روستای دیوزناو تا روستای زوم به طول ۱۴ کیلومتر، بین "۴۶°۲۶'۵۰" تا "۴۶°۳۱'۱۳" طول شرقی و "۳۵°۸'۳۴" تا "۳۵°۸'۴۷" عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). رودخانه سیروان یکی از شاخص‌ترین رودخانه‌های مئاندری پرآب غرب ایران با جهت شرقی غربی عمود بر رشته کوه‌های زاگرس مرتفع است که از به هم پیوستن ژاوه (حاصل از تلاقی

1- Schraml

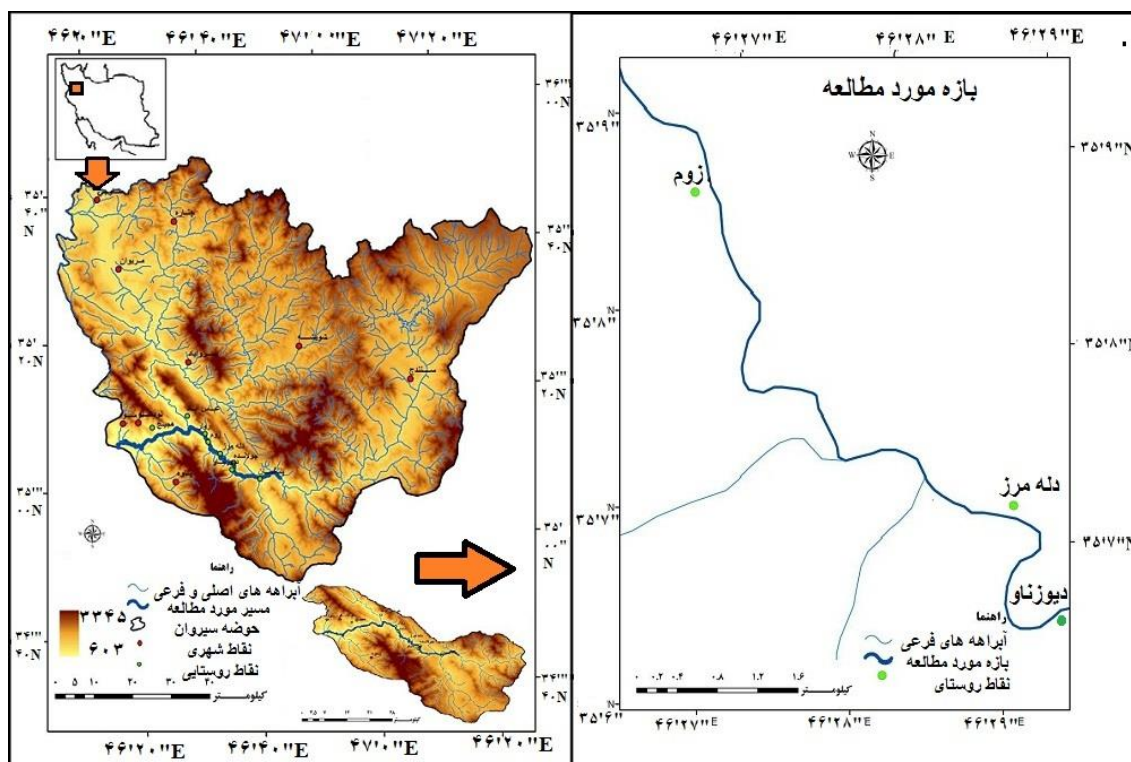
2- Luo

3- Paleo flood hydrology

قشلاق و گاوهرود) و گردلان در محدوده جنوب شرقی مریوان به وجود می‌آید. این رودخانه بر اساس دبی‌های متغیر سالانه، شاهد سیلاب‌هایی در گذشته بوده است. مساحت کل حوضه این رودخانه، ۱۳۹۰۰ کیلومترمربع است که ۱۶۱۰ کیلومترمربع آن را دشت و ۱۲۲۹۰ کیلومترمربع آن را نواحی کوهستانی دربر می‌گیرد و تقریباً یک‌پنجم آن در یک منطقه کاملاً کوهستانی قرار دارد. رودخانه سیروان دارای شبکه آبراهه‌ای درختی است. در بازه مورد مطالعه، عرض مقطع عبوری افزایش یافته و حالت ممانداری شدن از بخش‌های دیگر رودخانه بیشتر است. با وجود عرض کم دشت سیلابی و کاهش نسبی شیب، میزان مواد رسوبی به صورت قابل توجهی افزایش یافته است. رودخانه از حالت تک مجرای، به حالت دو مجرای درآمده که بخشی از آن مربوط به رفتار رودخانه و بخشی دیگر متأثر از عملکرد عوامل انسانی است. از دیدگاه زمین‌شناسی بازه مورد مطالعه در زون زاگرس مرتفع قرار دارد. این رودخانه دارای جریان آب دائمی بوده و بخش اعظمی از حوضه آبریز آن را کوهستان تشکیل می‌دهد. از نظر توپوگرافی این بازه، جزء بازه‌های کوهستانی محسوب می‌شود. از نظر اقلیمی منطقه عموماً دارای اقلیم کوهستانی سرد تا مدیترانه‌ای و میانگین بارش سالیانه آن ۶۳۰ میلی‌متر است. دارای آب‌وهوای نیمه‌خشک، زمستان سرد با برف و یخبندان و تابستان معتدل است که قسمت اعظم بارندگی در فصل سرد سال اتفاق می‌افتد.

مواد و روش‌ها

بر اساس هدف تحقیق مبنی بر بررسی شواهد ژئومورفیک سیلاب رودخانه سیروان به منظور برآورد حداکثر دبی، محاسبات هیدرولیکی جریان با دوره‌های بازگشت مختلف انجام شد. برای مدل‌سازی هیدرولیک رودخانه



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

ابتدا اطلاعات هیدرولوژیکی و هندسی رودخانه و نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۱۰۰۰ تهیه گردید. برای تهیه نقشه با مقیاس بزرگ لازم بود تا از طریق نقشه برداری زمینی اقدام شود برای این کار با استفاده از عملیات نقشه برداری زمینی و دوربین توتال استیشن نقاط دریک بازه مشخص برداشت گردید، سپس نقشه بزرگ مقیاس ۱:۱۰۰۰ و آمار دبی ۴۸ ساله از سازمان آب منطقه‌ای کردستان تهیه و بازه مورد مطالعه رودخانه سیروان، روی نقشه‌ها و تصاویر ماهواره‌ای تعیین گردید. پساز بازدیدهای میدانی به عمل آمده، بر اساس شرایط موجود در بازه مطالعاتی، شواهد سیلابی از قبیل رسوبات آب راکد، داغ‌های سیلاب بر روی تراس‌های سنگی و همچنین شواهد زخمه‌ها ایجاد شده بر روی درختان به عنوان شواهد سیلاب‌های اخیرشناسایی و در قالب سایت‌هایی تعیین گردید. در ادامه، مقاومت آبراهه و سیلاب‌دشت‌ها در مقابل جریان برآورد گردید. تخمین مقاومت آبراهه در مقابل جریان از طریق ضریب زبری مانینگ که از جداول ارائه شده توسط پژوهشگرانی مانند (چاو^۱، ۱۹۸۱) و (کاون^۲، ۱۹۵۶) به نقل از (مهندسین مشاور یکم، ۱۳۹۱) برای بستر رودخانه و سواحل چپ و راست با عملیات میدانی و پیمایش مسیر رودخانه مورد مطالعه مشخص گردید (جدول ۲). شرایط شبیه‌سازی بستر رودخانه از محیط GIS به محیط نرم‌افزار الحاقی HEC-GEORAS که شامل: اطلاعات هندسی (توپوگرافی رودخانه و کناره‌های سمت چپ و راست رودخانه) بود وارد گردید و در گام بعد خروجی‌های این نرم‌افزار برای ارائه مدل و شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی رودخانه به محیط HEC-RAS وارد شد و تحلیل‌های هیدرولیکی لازم بر روی آن صورت گرفت. در نهایت خروجی نرم‌افزار HEC-RAS مقاطع عرضی و طولی رودخانه است که تراز سطح آب را برای دوره‌های بازگشت مختلف ۲ تا هزار ساله نشان می‌دهد که نتایج آن به صورت نمودارهایی ارائه گردید.

رسوبات حاشیه کانال رودخانه و بسترهای سنگی در سایت‌های نمونه، مورد بررسی میدانی قرار گرفت. مرز بین وقایع سیلابی از طریق شاخص‌های رسوب‌شناسی از قبیل اختلاف رنگ، اندازه دانه‌های رسوبی و همچنین بررسی چینه‌ها با عملیات میدانی صورت پذیرفت (جدول ۱). سپس با تهیه عکس از چینه‌ها و اندازه‌گیری‌های متریک، زمینه برای ترسیم چینه‌ها در محیط نرم‌افزار LAND فراهم گردید.

نتایج

پراکندگی سایت‌ها در بازه مورد مطالعه

جهت مطالعه و تحلیل سیلاب‌های دیرینه ابتدا بایستی سایت‌ها دارای شرایط مناسبی بوده، به ویژه سایت‌های رسوب‌گذاری از شرایط مناسب ژئومورفیک جهت انباشته شدن رسوبات آب راکد برخوردار باشند (بنیتو و همکاران، ۲۰۰۳: ۱۰۷). هرچند که رسوبات آب راکد در بیشتر سیستم‌های رودخانه‌ای رخ می‌دهند اما کانیون‌های با بستر سنگی به علت مقاومت ابعاد کانال، مناسب‌ترین موقعیت برای بازسازی دبی دیرینه سیلاب‌هستند (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۷۶)؛ و داده‌های مربوط به کانیون‌های بستر سنگی ترجیح داده می‌شود (جهادی طرقي و حسین‌زاده، ۱۳۹۰). کانال‌های آبرفتی در اثنای وقوع سیلاب‌ها نسبت به کانیون‌ها و کانال‌های حفر شده در سنگ سخت بستر از مقاومت کافی برخوردار نبوده و سیلاب به آسانی قادر به حفر بستر آنها است. در محدوده مورد مطالعه، با توجه به شرایط مناسب رودخانه سیروان هم از نظر وجود کانیون‌های سنگی در بازه انتخابی و هم از نظر موجود بودن رسوبات آب راکد، حفره‌های کم‌عمق در امتداد

1- Chow

2- Cowan

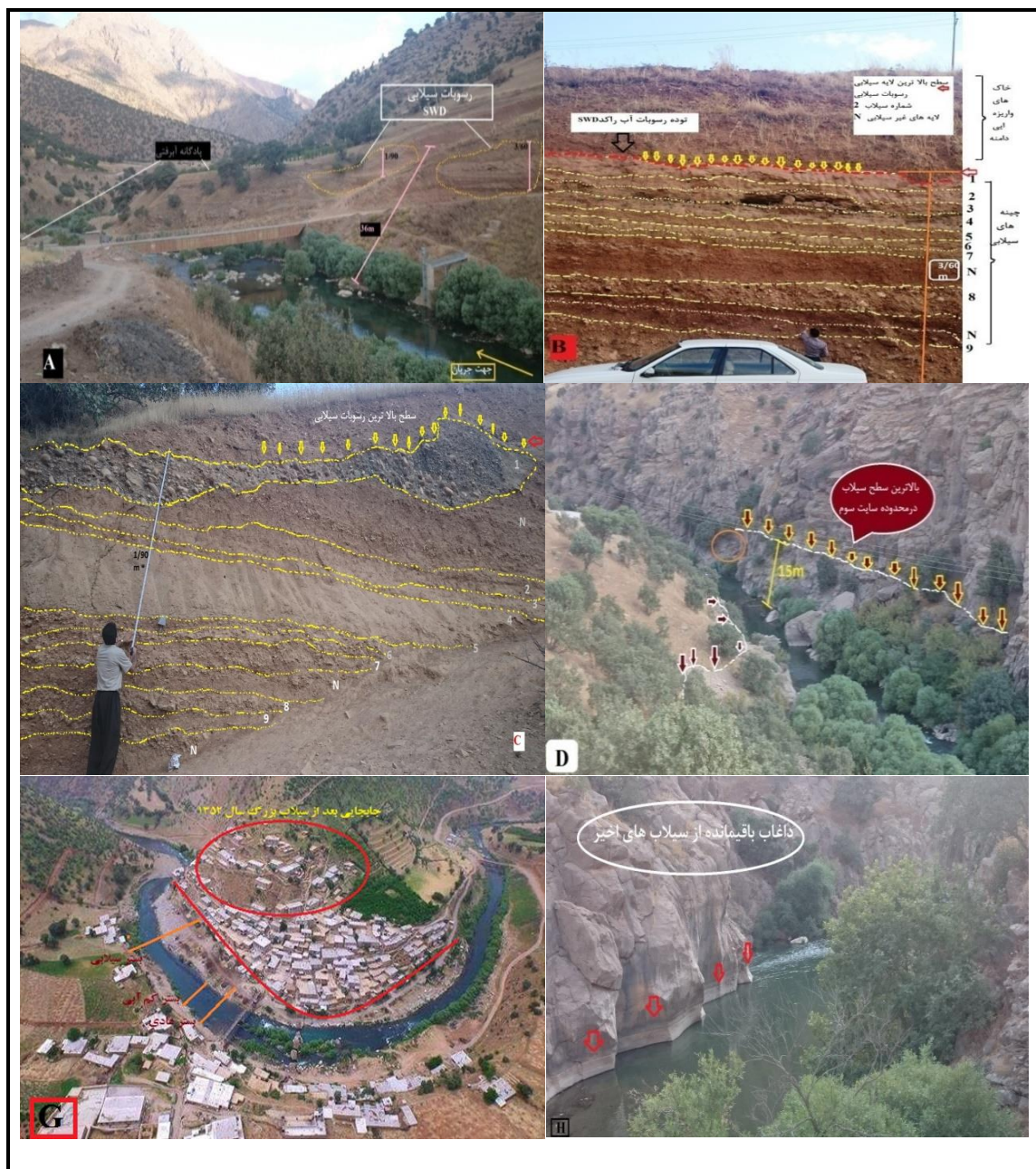
جدول ۱. معیارهای تشخیص مرز بین وقایع سیلابی (باکر، ۱۹۸۷: ۸۴)

معیار	شرح و توصیف معیار
سیلت، رس و مواد ارگانیکی	برجای گذاشته شده از آخرین سیلاب
خاک‌های قدیمی و مدفون	توسعه یافته بر سطوح قدیمی رسوبات سیلابی، بین وقایع سیلابی
لایه‌هایی از بقایای گیاهی رشد یافته در حد فاصل وقوع سیلاب‌ها	تجمع یافته در بخش بالایی چینه‌های قدیمی بین وقایع سیلابی
رسوبات شاخه‌های فرعی یا واریزه‌ها پدانه‌ای	میان لایه‌ها یا میان انگشتی‌هایی از رسوبات درشت تر بین رسوبات آب راکد آبراهه اصلی
تغییرپذیری ناگهانی بافت در مقطع قائم رسوبات	منعکس کننده جایگزینی به وسیله وقایع سیلابی مشخص
ترک‌های گلی	نشانه روباز بودن یک رسوب سیلابی نهشته شده
تغییرات رنگ	ناشی از هوازدگی شیمیایی تفریقی در چینه‌های سیلابی

دیواره‌های کانال با بستر سنگی و همچنین در محلّ پهن شدن کانال و سایر نواحی گرداب‌شدگی جریان، بهترین محل جهت برآورد دبی است.

سایت دله مرز

این سایت در محلّ پل روستای دله مرز، در تراز ۸۹۰ متری قرار دارد. این سایت در ساحل راست رودخانه قرار گرفته است. به دلیل کاهش سرعت جریان سیلاب، رسوبات آب راکد بر بدنه دره رودخانه برجا گذاشته شده است. موقعیت ژئومورفیک این سایت از نظر تجمع و حفظ رسوبات ریزدانه سیلاب، در حدّ مطلوبی قرار دارد. پهن شدن بستر، کاهش سرعت جریان و گرداب‌شدگی، باعث بر جای گذاشتن رسوبات معلّق همراه سیلاب شده است. کرانه مقابل این سایت هم شرایط مناسبی برای مطالعه رسوبات آب راکد را داشته اما عملکرد عوامل انسانی از جمله: ایجاد ایستگاه پمپاژ آب برای باغداری و برداشت بی‌رویه شن و ماسه در بستر، نظم لایه‌ها و نهشته‌های سیلابی به هم خورده است. نهشته‌های این مقطع بیشتر متأثر از شاخه اصلی رود بوده و شاخه‌های فرعی در ایجاد آن هیچ نقشی ندارند. بر اساس اندازه‌گیری‌های میدانی بالاترین سطح رسوبات تا بستر فعال رودخانه ۳۶ متر است و ضخامت مقطع بر اساس اندازه‌گیری متریک ۳/۶۰ متر بوده که پایین‌ترین لایه، روی قطعه‌های درشت‌دانه مواد ریزشی قرار داشته و نشانه رسوب‌گذاری این واحد، چینه‌شناسی پس از وقوع ریزش و ایجاد یک مکان مناسب برای رسوب‌گذاری است. ضخامت چینه‌های سیلابی از ۱ تا ۳۸ سانتی‌متر متغیر است. این چینه‌ها، آثار ۹ واقعه سیلابی بزرگ نشأت گرفته از بالادست حوضه را نشان می‌دهند. در مرز بین لایه‌ها، مقادیر چشم‌گیری زغال (جهت زغال پیل الکتریکی و...)، از زغال (زغال چوب استفاده می‌شود). این نشانه‌ای از عدم وقوع سیلاب‌های شدید برای دوره نسبتاً طولانی است (حسین‌زاده و جهادی طرقي، ۱۳۹۱: ۹۳). این لایه‌ها از ماسه ریز تا سیلت ترکیب یافته (شکل ۵-ب) و رنگ چینه‌ها نتیجه برداشت حجم زیادی از آهک‌های بالادست حوضه بوده و همچنین لایه‌های قرمز رنگ رسی با ضخامت ۳۸ سانتی‌متری مربوط به دوره‌های بدون سیلاب است (شکل ۳-ب). در چینه رسوبی با ضخامت ۱/۹۰ یک لایه ماسه درشت‌دانه بر روی یک لایه غیر سیلابی قرار گرفته که نشان از یک سیلاب بزرگ کاتاستروفیک است که پس از آن روی این ماسه درشت را واریزه‌های دامنه‌ای پوشانده است (شکل ۳-د) در این سایت، بالاترین لایه رسوبات سیلابی برای بازسازی سیلاب در نظر گرفته شد.

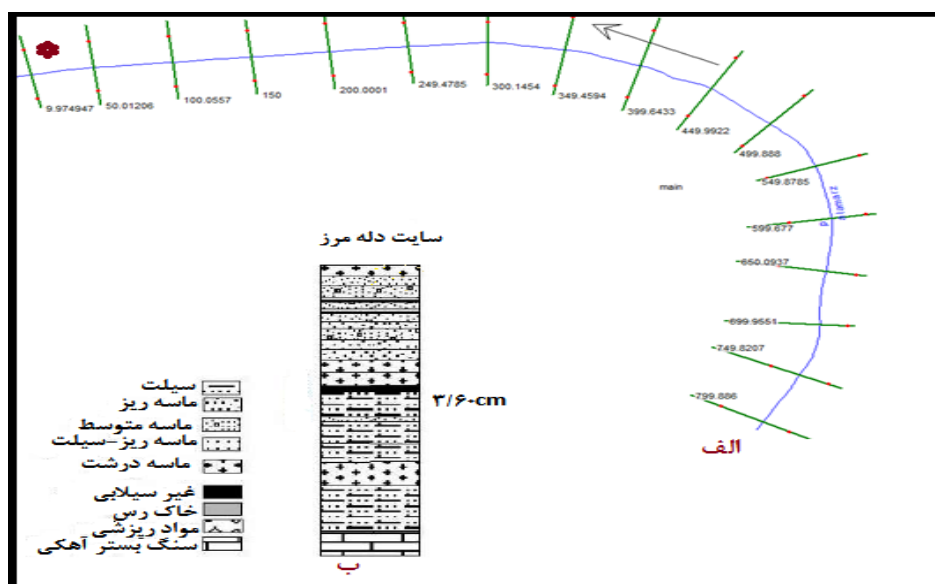


شکل ۳. موقعیت ژئومورفولوژی سایت دله مرز (A)، چینه‌های رسوبی آب راکد (B)، سکانس‌های بالای رسوبات سیلابی (C)، شواهد بالاترین سطح سیلاب بر اساس داغاب (D)، ورود سیلاب به داخل منازل مسکونی و تخریب کامل بخشی از روستا بر اثر سیلاب بزرگ سال ۱۳۵۲ (G)، داغاب باقیمانده از سیلاب‌های اخیر (H)

شواهد سیلابی بر روی درختان در محل چشمه‌های کارستی کلور، در تراز ۸۷۰ متری و ساحل کوژ مانند قرار گرفته است. علاوه بر رسوبات آب راکد جهت بررسی‌های چینه‌شناسی، شواهد سیلابی دیگری مانند زخمه‌های ایجاد شده بر روی درختان کهن سال و خزه‌های موجود بر روی بدنه سنگ‌ها و همچنین وجود آثار داغاب سیلاب بر دیواره کانال رودخانه می‌تواند به بازسازی سیلاب‌ها و همچنین برآورد دبی عبوری کمک شایانی بکند (شکل ۴).



شکل ۴. شواهد سیلاب، شاخه‌های فرعی عمودی، بیرون زدگی ریشه‌ها و کج شدگی تنه و شاخه‌ها (B)، سنگ‌های به دام افتاده به وسیله ریشه درختان و بیرون زدگی ریشه‌های روییده شده بر روی تنه درختان پس از یک فاز تراکمی (C)



شکل ۵. الف: پلان مدل هیدرولیکی سایت دله مرز ب: چینة مقاطع سیلابی در سایت دله مرز

جدول ۲. ضریب زبری مانینگ و پارامترهای مؤثر در تعیین آن مطابق روش کاون برای شرایط موجود رودخانه سیروان در بازه مورد مطالعه

مشخصات بازه	مقدار پایه ضریب زبری مانینگ	ضریب حاصل از درجه انحنای مجرای جریان	ضریب ناشی از پوشش گیاهی	ضریب ناشی از موانع موجود در مسیر	ضریب حاصل از تغییرات مقطع جریان	ضریب حاصل از ناهمواری سطح مقطع جریان	مقدار ضریب زبری مانینگ
کناره چپ	۰/۰۲۵	۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۲۵
مقطع اصلی رودخانه	۰/۰۲۵	۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۲۵
کناره راست	۰/۰۲۵	۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۲۵

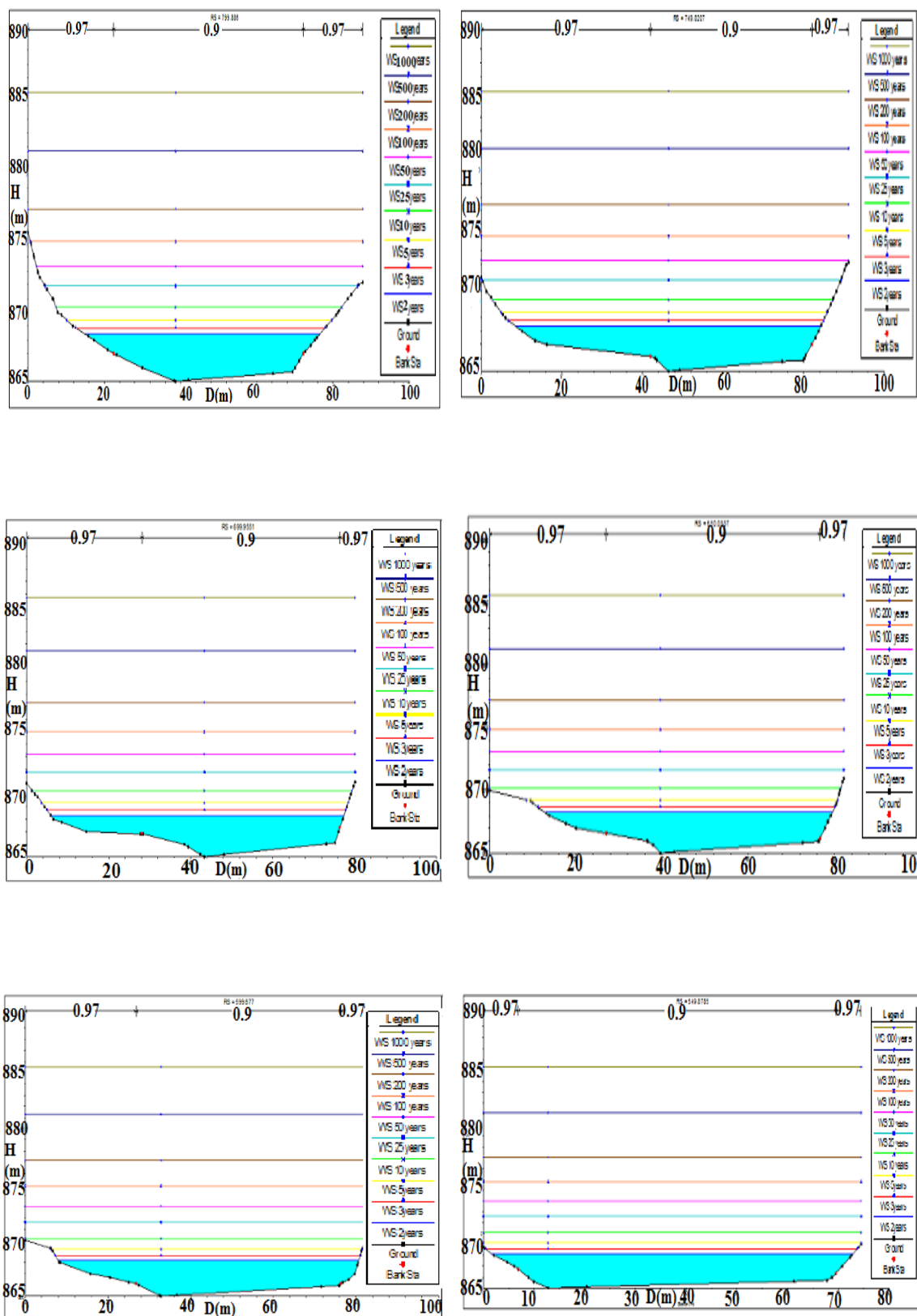
جدول ۳. پارامترهای هیدرولیکی رودخانه سیروان برای دبی‌های دو تا هزار ساله

دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰۰ ساله	دبی کل M3/S	حداقل تراز کانال m	تراز سطح آب m	تراز سطح آب در حالت بحرانی m	تراز خط انرژی m	شیب خط انرژی m/m	سرعت متوسط جریان مقطع m/s	سطح مقطع جریان m2	عرض بالای سطح آب m	عدد دفر و دجر یان
2 YR	۱۰۳/۶۶	۸۶۵/۰۰	۸۶۸/۲۴	۸۶۶/۲۸	۸۶۸/۴۵	۰/۰۰۱۰۸	۰/۷۲	۱۴۸/۳۲	۶۱/۶۳	۰/۱۴
3 YR	۱۳۸/۲۰	۸۶۵/۰۰	۸۶۸/۸۶	۸۶۶/۴۷	۸۶۸/۸۹	۰/۰۰۱۱۶	۰/۸۳	۱۷۵/۹۰	۶۵/۳۶	۰/۱۵
5YR	۱۹۳/۴۷	۸۶۵/۰۰	۸۶۹/۴۵	۸۶۶/۷۳	۸۶۹/۴۹	۰/۰۰۱۲۵	۰/۹۶	۲۱۶/۰۰	۶۹/۵۷	۰/۱۶
10 YR	۲۹۹/۳۱	۸۶۵/۰۰	۸۷۰/۳۸	۸۶۷/۱۶	۸۷۰/۴۵	۰/۰۰۱۳۵	۱/۱۵	۲۸۳/۳۷	۷۴/۹۴	۰/۱۷
25 YR	۵۲۳/۶۸	۸۶۵/۰۰	۸۷۱/۸۹	۸۶۷/۸۸	۸۷۱/۹۹	۰/۰۰۱۴۹	۱/۴۶	۴۰۱/۸۶	۸۱/۹۰	۰/۱۹
50 YR	۷۹۴/۷۸	۸۶۵/۰۰	۸۷۳/۳۳	۸۶۸/۶۱	۸۷۳/۴۶	۰/۰۰۱۵۹	۱/۷۲	۵۲۳/۱۷	۸۵/۵۱	۰/۲۰
100 YR	۱۲۰۳/۷۳	۸۶۵/۰۰	۸۷۵/۱۵	۸۶۹/۵۳	۸۷۵/۳۳	۰/۰۰۱۶۵	۲/۲	۶۸۰/۳۹	۸۷/۱۵	۰/۲۱
200 YR	۱۸۲۲/۱۷	۸۶۵/۰۰	۸۷۷/۴۹	۸۷۰/۶۵	۸۷۷/۷۳	۰/۰۰۱۷۰	۲/۳۷	۸۸۵/۰۴	۸۷/۷۴	۰/۲۲
500 YR	۳۱۵۴/۹۱	۸۶۵/۰۰	۸۸۱/۶۲	۸۷۲/۶۰	۸۸۲/۰۳	۰/۰۰۱۸۷	۲/۹۶	۱۲۵۱/۲۸	۸۷/۷۴	۰/۲۳
1000 YR	۴۷۸۵/۷۸	۸۶۵/۰۰	۸۸۵/۹۱	۸۷۴/۳۵	۸۸۶/۴۷	۰/۰۰۱۹۳	۳/۵۲	۱۶۲۷/۰۵	۸۷/۷۴	۰/۲۴

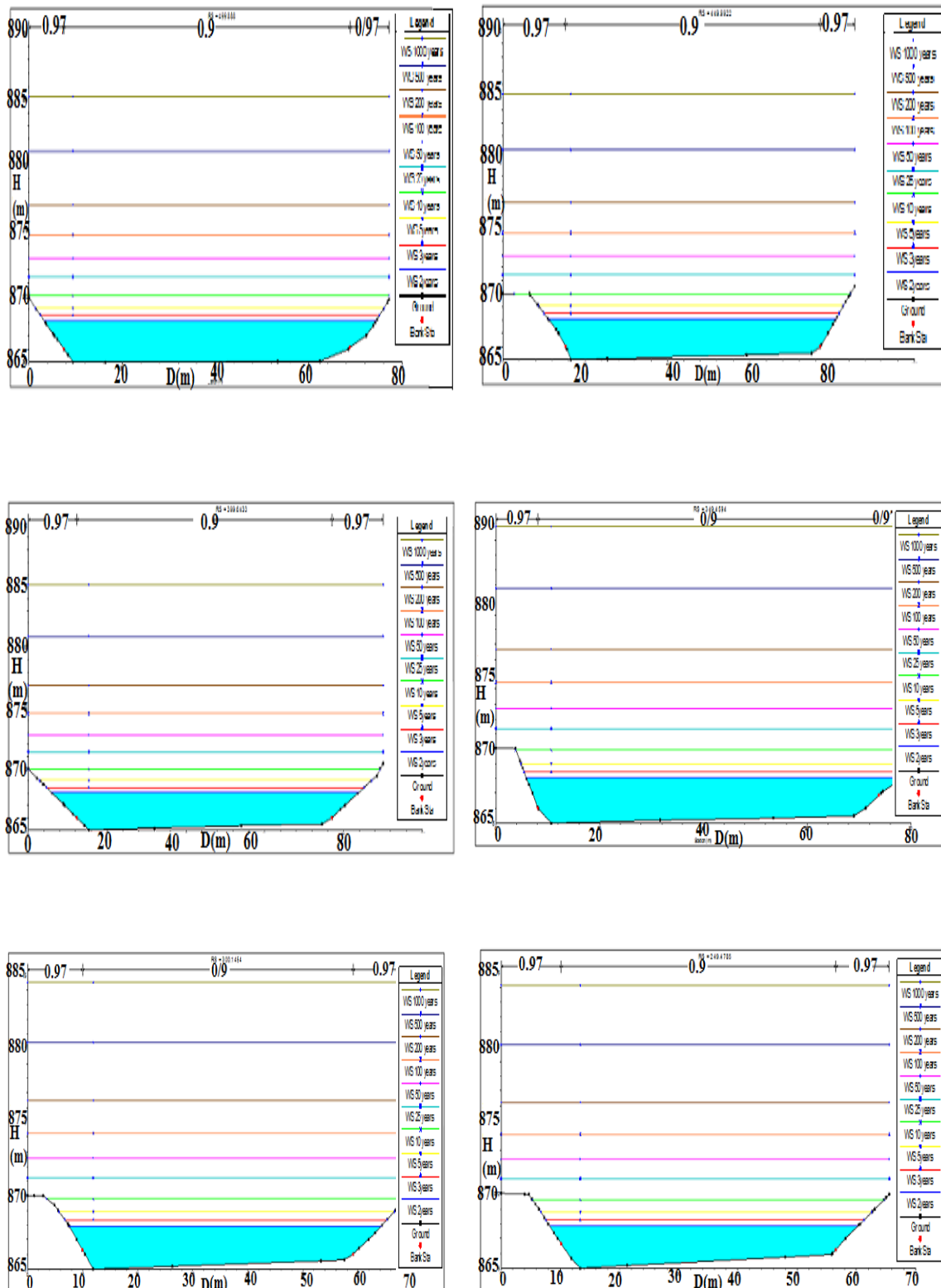
محاسبات هیدرولیکی اجرای مدل

مهم‌ترین اهداف مطالعات هیدرولیک جریان، مشخص کردن تراز سطح آب و عمق آن در هر نقطه از آبراهه است. حل معادلات حاکم بر جریان در نهایت ارتفاع تراز سطح آب در مقاطع مختلف را به عنوان یکی از اصلی‌ترین نتایج مطالعات ارائه می‌دهد که بر اساس آن و نیز هندسه مجرا پهنه‌های آب‌گرفتگی نیز قابل محاسبه است. در شکل‌های پروفیل طولی جریان در رودخانه‌های مورد مطالعه به ازای سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف ارائه شده است. در نهایت نیم‌رخ‌های طولی و عرضی تراز سطح آب که مهم‌ترین خروجی مدل هیدرولیکی HEC-RAS و نشان‌دهنده تغییرات سطح آب برای سیلاب برای دوره‌های بازگشت ۲ تا ۱۰۰۰ ساله برای محدوده‌های مورد مطالعه شبیه‌سازی شد. در شکل‌های ۶ و ۷ پروفیل‌های عرضی و طولی جریان رودخانه سیروان، در سایت دله مرز به ازای سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف ارائه شده است.

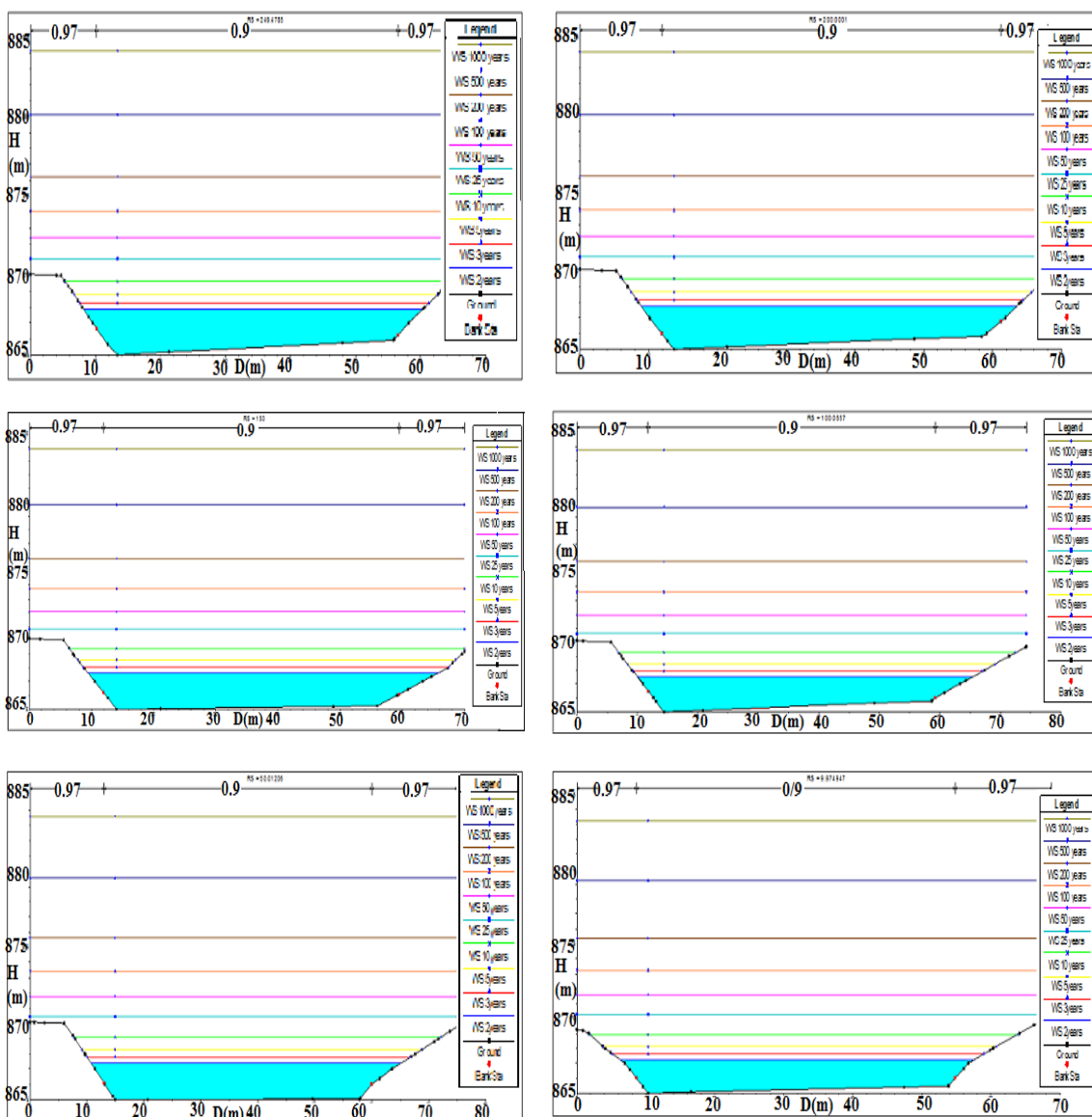
نتایج حاصل از موقعیت‌یابی تراز سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف نشان می‌دهد که به ازای دوره‌های بازگشت طولانی‌تر میزان دبی بیشتر شده و بر سطح سیلاب در هر یک از مقاطع افزوده می‌شود. با توجه به پروفیل هر یک از مقاطع، کاهش یا افزایش سطح سیلاب را نسبت به سایر مقاطع نشان می‌دهد به طوری که با افزایش سطح مقطع، ارتفاع سیل‌گیری کاهش می‌یابد. به موازات همین افزایش یا کاهش سطح سیلابی، عمق جریان کاهش یا افزایش را در خود نشان می‌دهد که در هر مقطع با افزایش دوره‌های بازگشت شاهد افزایش عمق سیلاب هستیم. شبیه‌سازی عرضی مقاطع به ویژه پروفیل‌های طولی سیل‌گیری رودخانه حاکی از افزایش سطح سیلاب بوده و علت کاهش سطح سیلاب در برخی مقاطع یا به دلیل وجود موانع بوده و یا به دلیل تنگ‌شدگی مقاطع است؛ که در این صورت سطح سیلاب کاهش و بر عمق آب‌گرفتگی افزوده می‌شود. پلان‌های مورد بررسی محدوده سیل‌گیری با دوره بازگشت‌های مختلف این امکان را فراهم می‌آورد که با پیش‌بینی سطح و عمق سیلاب، بتوان در بررسی بحث (طرح‌های) حریم رودخانه و سایر اقدامات سازه‌ای و مکانیکی تصمیم بهتری اتخاذ نمود.



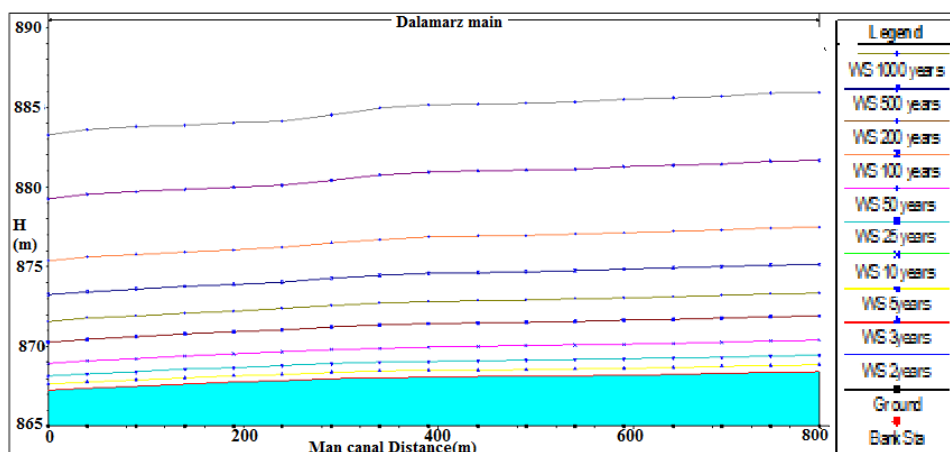
شکل ۶. موقعیت بابی تراز سیلاب با دوره‌های بازگشت دو تا هزار ساله رودخانه سیروان (سایت دله مرز) به همراه سطح تراز آب در ۱۸ مقطع عرضی



ادامه شکل ۶. موقعیت بابی تراز سیلاب با دوره‌های بازگشت دو تا هزار ساله رودخانه سیروان (سایت دله مرز) به همراه سطح تراز آب در ۱۸ مقطع عرضی



ادامه شکل ۶. موقعیت یابی تراز سیلاب با دوره های بازگشت دو تا هزار ساله رودخانه سیروان (سایت دله مرز) به همراه سطح تراز آب در ۱۸ مقطع عرضی



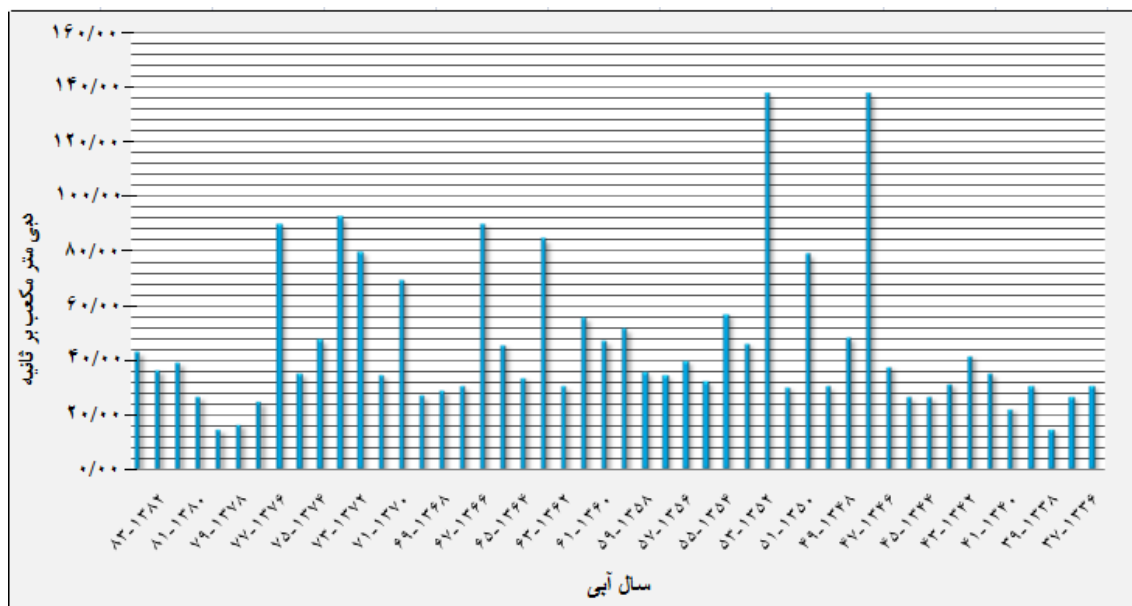
شکل ۷. پروفیل طولی جریان رودخانه سیروان برای سیلاب با دوره بازگشت های مختلف در سایت دله مرز

حداکثر دبی لحظه‌ای رودخانه سیروان در بازه مورد مطالعه، در یک دوره کوتاه ۴۸ ساله نشان داد که وقوع دبی‌های بزرگ دور از انتظار نبوده و لذا در زمره رودخانه‌های سیلابی قرار می‌گیرد. به عنوان نمونه دو سیلاب بزرگ در ۱۳۴۷ و ۱۳۵۲ با دبی ۱۳۷/۸۹ مترمکعب در ثانیه در یک قرن اخیر در رودخانه سیروان بی‌نظیر بوده است (شکل ۸). این سیلاب‌ها موجب ایجاد خسارات جانی و خسارت‌های مالی زیادی به مزارع، باغ‌ها، تلف شدن دام‌ها شده و همچنین تخریب بیش از ۲۵ درصد روستاها و منازل مسکونی حاشیه رودخانه را همراه داشته است.

بحث

در این تحقیق، جهت شبیه‌سازی سیلاب‌های دره رودخانه سیروان از مدل هیدرولیکی HEC-RAS استفاده گردید که برای برآورد حداکثر دبی از شواهد مورفولوژیک سیلاب در بازسازی سیلاب‌های قدیمی بهره گرفته شد. علاوه بر رسوبات آب راکد از داغاب ثبت شده بر روی دیواره سنگی کانیون و همچنین شواهد زخمه ایجاد شده بر روی درختان استفاده شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که مدل HEC-RAS جهت برآورد دبی سیلاب در دوره‌های بازگشت مختلف و بهره‌گیری از شواهد ژئومورفولوژیک نتایج خوبی را ارائه می‌نماید، به طوری که در مرحله واسنجی و ارزیابی مدل به ازای دوره‌های بازگشت طولانی‌تر میزان دبی بیشتر شده و بر سطح سیلاب در هریک از مقاطع افزوده شده است (شکل ۶). این نتایج با نتایج پژوهشگرانی مانند چیو (۱۹۹۹: ۶۵)؛ لیم (۲۰۰۱: ۷۲)؛ درخشان (۱۳۸۹: ۷۷)؛ وروشانو همکاران (۱۳۹۲: ۸۰)؛ مبنی بر کارایی خوب استفاده از مدل HEC-RAS و دقت بالای آن جهت برآورد حداکثر دبی مطابقت دارد. لازم به ذکر است بهره‌گیری از شواهد ژئومورفیک سیلاب دره رودخانه‌ها، دقت برآوردها را در دوره‌های بازگشت مختلف تأیید می‌نماید.

متأسفانه برآورد دبی در حوضه‌ها به روش‌های آماری و تجربی و به کارگیری نتایج نادرست از طرف مهندسين عمران در حوضه این رودخانه و سایر حوضه‌ها تا اکنون خسارت جانی و مالی جبران‌ناپذیری را در پی داشته است (برای نمونه حوضه آبریز جنگل گلستان، حسین‌زاده و جهادی طرقي، ۱۳۸۵: ۹۰) و تهیه هیدروگراف واحد مصنوعی سیروان، بهرامی و همکاران، ۱۳۸۵: ۸). نتایج نشان داد که با استفاده از شاخص



شکل ۸. نمودار حداکثر دبی سالانه رودخانه سیروان در بازه مورد مطالعه

دیرینه تراز PSI، می‌توان سیلاب‌های بزرگ (حداکثر دبی) را در کانال رودخانه با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS و HEC-GEORAS برآورد و تشریح نمود. بر مبنای تجربه‌های پژوهشگران قبلی که به ثبت ارتفاع آب بر روی رسوبات آب راکد سیلاب‌های جدید پرداخته‌اند (کوچل و باکر، ۱۹۸۲: ۳۵۳). افزایش ۱۰ تا ۲۰ درصدی سطح سیلاب بر روی بالاترین سطح رسوبات آب راکد انجام و دبی حاصل از آن در (جدول ۳) ذکر گردید. باتوجه به برآوردهای انجام شده و میزان دبی‌های محاسبه‌شده در سایت‌های مذکور به دلیل عدم پیوستن شاخه‌های فرعی به شاخه اصلی، میزان دبی‌ها به هم نزدیک و این می‌تواند نشان از دقت بالای مدل باشد.

نتیجه‌گیری

شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی رودخانه سیروان با به کارگیری مدل هیدرولیکی HEC-RAS انجام پذیرفت. به طور کلی، در رودخانه مطالعه شده رسوبات آب راکد، داغاب‌های سیلاب بر روی تراس‌های سنگی و همچنین شواهد زخمه‌های ایجاد شده بر روی درختان، در بازه مطالعاتی و سایت‌های نمونه ثابت کرد که در برآورد دبی و سیلاب‌ها در آینده، نمی‌توان به آمارهای کوتاه‌مدت ایستگاه‌های هیدرومتری یا روش‌های تجربی محاسبه دوره بازگشت سیلاب‌ها اطمینان کرد. در این مقاله نتایجی در مورد حداکثر دبی و سطح سیلاب‌های قدیمی‌تر بر اساس شواهد موجود در دوره‌های ۲ تا ۱۰۰۰ ساله به دست آمد (جدول ۲). برای دوره ۲ ساله ۱۰۳/۶۶ و برای دوره ۱۰۰۰ ساله ۴۷۸۵/۷۸ مترمکعب بر ثانیه و تراز آب در دوره ۲ ساله ۸۶۸/۴۲ برای دوره ۱۰۰۰ ساله ۸۸۵/۹۱ متر برآورد گردید. تراز آب در حالت بحرانی برای دوره بازگشت ۲ ساله ۸۶۶/۲۸ متر، برای دوره ۱۰۰۰ ساله ۸۷۴/۳۵ به دست آمد. مقادیر دبی و تراز به دست آمده نشان می‌دهد که در پاره‌ای از مکان‌ها جریان به کناره‌ها رسیده و از بستر طغیان می‌نماید. بر اساس نتایج به دست آمده، حداکثر دبی لحظه‌ای رودخانه، در سال‌های ۱۳۴۷ و ۱۳۵۲، ۱۳۷/۸۹ مترمکعب در ثانیه بوده است که این نتایج حاکی از آن است که وقوع سیلاب‌های بزرگ دور از انتظار نیست.

مطابق نتایج ارائه شده، استفاده از شاخص دیرینه تراز زمانی میسر است که مقاطعی از بازه رودخانه که مطالعه می‌شوند، به صورت پایدار باشند یا اینکه بعد از وقوع سیلاب‌ها اندازه‌گیری‌ها صورت گیرد. استفاده از این روش‌ها و استفاده از شواهد ژئومورفولوژیک سیل داده‌های بیشتری را برای داده‌های سیستماتیک و همچنین برای حوضه رودخانه‌های بدون ایستگاه‌های هیدرومتری فراهم کرده است و در نتیجه باعث دقت بیشتر در رفتار سیلاب و امر برنامه‌ریزی و طراحی سازه‌ها و پهنه‌های خطر در حاشیه رودخانه می‌شود تا مانند آنچه در حوضه آبخیز سیروان برای روستاها، پل‌های احداثی و باغ‌های کناره‌های رودخانه اتفاق افتاده است به وجود نیاید.

منابع

اسماعیلی، رضا؛ حسین‌زاده، محمد مهدی؛ متولی، صدرالدین (۱۳۹۰) تکنیک‌های میدانی در ژئومورفولوژی رودخانه‌ای، چاپ اول، انتشارات لاهوتی، تهران.

بهرامی، جمیل؛ وریا تباکف، محمد؛ کاویانپور، محمدرضا؛ حسام شریعتی، وریا (۱۳۸۵) تهیه هیدروگراف واحد مصنوعی حوضه آبریز سیروان، هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران،

- جهادی طرقي، مهناز؛ حسين زاده، سيدرضا (۱۳۹۰) واكنش سيستم‌هاي رودخانه‌اي به وقايع سيلابي بزرگ (نمونه موردی رودخانه مازندران)، پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۱ (۴)، صص. ۸۶-۶۹.
- جهادی طرقي، مهناز؛ حسين زاده، سيدرضا (۱۳۹۲) هیدرولوژی پالئوسیلاب، رویکرد ژئومورفولوژی مدرن در ارزیابی مخاطره سیلاب، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۲ (۸)، صص. ۱۶۵-۱۳۳.
- حسین زاده، رضا؛ جهادی طرقي، مهناز (۱۳۸۵) تجزیه و تحلیل مورفولوژیک سیلاب‌های کاتاستروفیک رودخانه مازندران (جنگل گلستان)، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ۴ (۷)، صص. ۹۰-۱۱۵.
- حسین زاده، رضا؛ جهادی طرقي، مهناز (۱۳۹۱) هیدرولوژی سیلاب‌های قدیمی با استفاده از رسوبات آب راکد (مطالعه موردی: رودخانه درونگر خراسان)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱ (۱)، صص. ۸۳-۱۰۴.
- درخشان، شهرام؛ غلامی، وحید؛ تقوی سلیمی، ادریس (۱۳۸۹) شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی رودخانه‌های گوهر رود و سیاه‌رود با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل هیدرولیکی HEC-RAS. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۶ (۱۹)، صص. ۶۶-۷۸.
- رضایی مقدم، محمد حسین؛ اسماعیلی، رضا (۱۳۸۴) بررسی اثرات ژئومورفیکی حوضه رئیس کلا: البرز شمالی، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، ۹ (۴)، صص. ۱-۱۷.
- روشان، حسین؛ وهاب‌زاده، قربان؛ سلیمانی، فرهاد (۱۳۹۲) شبیه‌سازی رفتار رودخانه‌ها با استفاده از مدل HEC-RAS (مطالعه موردی: رودخانه بشار استان کهگیلویه و بویراحمد)، پژوهش‌نامه مدیریت حوضه آبخیز، ۴ (۷)، صص. ۷۱-۸۲.
- مهندسین مشاور یکم (۱۳۹۱) مطالعات تعیین حد بستر، حریم و ساماندهی رودخانه‌های استان کردستان، گزارش مطالعات تخصصی هیدرولیک، رسوب و ریخت‌شناسی رودخانه‌ها، بخش اول.
- Baker, V. R. (1987) Paleo Flood Hydrology and Extraordinary Flood Events, **Journal of Hydrology**, 96, pp. 79-99.
- Baker, V. R., Robert H. Vebb, P. Kyle House. (2002) **the scientific and societal value of Paleo flood Hydrology**, 5, pp. 1-19.
- Bardsly, W.E. (1988) Using Historical Data in Nonparametric Flood Estimation, **Journal of Hydrology**, 108, pp 249-255.
- Benito, V.R., Thorndycraft, G.M., Rico, A., Sopena, Y., Sanchez-Moya, A., Casas. (2005) Along-Term Flood Discharge Record Derived from Slack Water Flood Deposits of the Liobregat River, NE Spain, **Journal of geology**, 313, pp. 16-31.
- Benito, G., Sanchez-Moya, Y., Soena, A. (2003) Sedimentology of High-Stage Flood Deposits of the Tagus River, central Spain, **Sedimentology**, 157, pp. 107-132.
- Bretz, j.H. (1923) The Channeled Scabland of the Columbia Plateau, **Journal of geology**, 31, pp. 617-649.
- Bretz, j.H. (1929) Valleyed Posits Immediately East of Channeled Scabland of Washington, **Journal of geology**, 36, pp 393-427.
- Chivew, Y. M. (1999) Time Scale for Local Scour at Bridge Piers, **Journal of hydraulic Engineering, ASCE**, 125 (1), pp. 59-65.
- Fernandez-Lavado, C., Frdada, G., Marques, M.A. (2007) Geomorphological Method in the Elaboration of Hazard Maps for Flash-Flood Sin the Municipality of Jucuarán (El Salvador), **Natural Hazards Earth Syst. Sci.**, 7, pp. 445-465.
- Enzel, Y., Lisa, L., E, Jane Maetinez-Goyttre, R., Gwinn V. (1994) Paleoflood and DAM-Failure Flood on the Virgin River, Ata and Arizona, **Journal of Hydrology**, 153, pp. 291-315.
- Fenske J. (2003) **Application of Paleo Hydrology to Corps Flood Frequency Analysis** 28pp.
- Gottesfeld, A.S. (1996) British Columbia Flood scars: maximum flood –stage indicators, **Geomorphology**, 14, pp. 319-325.
- Gregory S. (2002) Caves and potential Use in Paleo flood studies, **Wiley Pub.** 5, pp. 329-343.

- Hosking, J. R. M., Wallis, J. R. (1986) Paleo Flood Hydrology and Flood Frequency Analysis, **Water Resources Research**, 22, pp. 543-550.
- Kochel, R.C. Baker, V.R. (1982) **Paleo Flood Hydrology Science New Series**, 215, pp. 353-361.
- Lim, S. Y. (2001) Parametric Study of Riprap Failure Around Bridge, **Journal of Hydraulic Research**, 39(1), pp. 61-72.
- Luo, P., Takara, K., He, B., Duan, W., Nover, D., Tsugihira, W., Nakagami, K. (2014) Assessment of Paleo-Hydrology and Paleo-Inundation Conditions: the Process, **Procedia Environmental Sciences**, 20, pp. 747-752.
- Robert D.J. (1990) Paleo-hydrologic Techniques Used to Define the Spatial Occurrence of Floods, **Geomorphology**, 3, pp. 181-195.
- Robert, H., Robert, D., J. (2002) One-Dimensional Stemation Techniques for Discharges of Paleofloods and Historical Floods, **Geomorphology**, 5, pp. 111-125.
- Schraml, K., Kogeling, B., Scheidel, Ch. (2013) Estimation of Debris Flood Magnitudes Based on Dendrogeomorphic Data and Semi Empirical Relationships, **Geomorphology**, 10(6), pp. 1-7.
- Stofel, M., Bollschweiler, M. (2008) Tree-Ring Analysis in Natural Hazards Research- an Overview, **hazards earth system**, 8, pp. 187-202.
- Sumeghy, B., Kiss, T. (2012) Morphological and Hydrological Characteristics of Paleo Channels on the Alluvial Fan of the Maros River Hungary, **Journal of environmental Geography**, 5, pp. 11-19.
- Webb, R. H., Bliney, J. B., Hyndam, D.W. (2002) Paleo Flood Hydrology on the Paryia River Southern Utah and Northern Arizona, Usa, **Ancient floods modern hazards**, 5, pp. 295-310.