

برآورد دبی و تراز سیلاب‌های گذشته‌ی رودخانه سیروان، با استفاده از شواهد ژئومورفولوژیکی و سیلابی

محمد حسین رضایی مقدم*

استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

محمد رضا نیگجو

دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

داود مختاری

استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

سید رضا حسین زاده

دانشیار گروه ژئومورفولوژی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

حسام ملکی

دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۹/۳۰

چکیده

وقوع سیلاب‌های شدید یکی از مهم‌ترین مخاطرات هیدرو-ژئومورفیک حوضه آبریز رودخانه سیروان است. رودخانه سیروان به عنوان یکی از شاخص‌ترین رودخانه‌های واقع در غرب ایران می‌باشد. طی نیم قرن اخیر خصوصاً در بهار به شدت سیلابی شده و بسیاری از کارشناسان محلی علت وقوع سیلاب‌های آن را تشدید ذوب برف‌ها و بارش‌ها نسبت می‌دهند. برای بررسی بهتر موضوع داده‌های طولانی‌تر سیلاب مورد نیاز است که در این مقاله با استفاده از داده‌های ژئومورفولوژیکی و سیلابی به بازسازی سیلاب‌ها پرداخته شده است. برای نیل به اهداف این مقاله با استفاده تصاویر ماهواره ایی سایت‌های احتمالی رسوب‌های آب راکد و شواهد ژئومورفولوژیک سیلاب شناسایی گردید. رودخانه به سه بازه تقسیم شد و با بازدیدهای میدانی دقیق سایت‌های رسوب‌های آب راکد به تحلیل‌های چینه شناسی بر روی رسوب‌ها پرداخته شد. با عملیات نقشه برداری، نقشه ۱:۱۰۰۰ مسیرومورد مطالعه تهیه گردید و جمعاً ۴۸ مقطع در سه بازه، ترسیم شد و دبی سیلاب‌ها در دوره‌های مختلف بازسازی گردید. از نرم‌افزار GIS، HEC-RAS جهت ترسیم نقشه‌ها و تحلیل‌های هیدرولیکی بهره گرفته شد. نتایج نشان داد حداکثر دبی سیلابی برای دوره ۲ ساله، ۱۰۳/۶۶ و برای دوره ۱۰۰۰ ساله ۴۷۸۵/۷۸ مترمکعب بر ثانیه برآورد گردید. در بازه اول پالنگان، تراز آب در دوره ۲ ساله، ۹۸۹،۵۷ متر و برای دوره ۱۰۰۰ ساله ۱۰۰۵،۳۶ متر و در بازه دوم دله مرز، برای دوره ۲ ساله، ۸۶۸،۴۲ متر و برای دوره ۱۰۰۰ ساله ۸۸۵،۹۱ متر، در بازه سوم رودبار، تراز آب در دوره ۲ ساله، ۷۹۰،۱۷

متر و برای دوره ۱۰۰۰ ساله ۸۳۰٫۴۲ متر به دست آمد. برآورد حداکثر دبی لحظه‌ای سیلاب‌های دیرین رودخانه نشان داد که وقوع سیلاب‌های بزرگ دور از انتظار نیست. نتایج نشان داد که با استفاده از شاخص دیرینه تراز PSI، می‌توان سیلاب‌های بزرگ (حداکثر دبی) را در کانال رودخانه با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS و نرم افزار الحاقی HEC-GEORAS برآورد و تشریح کرد.

واژگان کلیدی: رودخانه سیروان، شاخص دیرینه تراز PSI، شواهد ژئومورفیک، برآورد دبی، رسوب‌های آب راکد.

مقدمه

دره رودخانه سیروان و روستاهای حاشیه این رودخانه تحت تأثیر طغیان این رودخانه بوده است. سیلاب فروردین ماه سال ۱۳۴۷ با دبی ۱۳۷/۸۹ مترمکعب در ثانیه نمونه‌ای از سیلاب‌های مخربی بود که آسیب‌های قابل توجهی به مزارع و باغات و صدها منزل مسکونی روستاهای اطراف رودخانه وارد کرد. سیلاب فروردین ماه سال ۱۳۵۲ با دبی ۱۴۲ متر مکعب نمونه‌ای دیگر از سیلاب‌های بزرگ این رودخانه بود که سبب تخریب بخش عمده‌ای از منازل مسکونی حاشیه رودخانه شد. این سیلاب‌ها سبب جابجایی اجباری اکثریت روستاهای حاشیه رودخانه شده به طوری که تمامی پل‌های احداث شده بر روی رودخانه تخریب گردید.

در برنامه‌ریزی مربوط به سیلاب‌ها برآورد سطح حداکثر سیلاب و دوره بازگشت آن از جایگاه مهمی برخوردار بوده و مهم‌ترین مرحله در برنامه ریزی و مدیریت سیلاب به شمار می‌رود. روش‌های معمول تعیین فراوانی سیلاب بر اساس داده‌های ثبت شده ایستگاه‌های هیدرومتری انجام می‌شود که معمولاً در بیشتر رودخانه‌ها از قدمت زیادی برخوردار نیست. به عبارتی بیشتر برآوردها به روش آماری، با استفاده از داده‌های کوتاه مدت برای برآوردهای بازه زمانی طولانی مدت صورت می‌گیرد. از این رو در سه دهه اخیر داده‌های دیگری نیز در تخمین دبی سیلاب و ارزیابی آن مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این داده‌ها که داده‌های دیرینه سیلاب نام دارند داده‌هایی هستند که اطلاعات مربوط به سیل را قبل از ثبت داده‌ها توسط ایستگاه‌های هیدرومتری فراهم می‌آورند (اسماعیلی و حسین زاده، ۱۳۸۸: ۷۷). ثبت طبیعی سیلاب‌های دیرین، یک معیار هدفمند از سیلاب‌های گذشته ارائه می‌دهد، یک پژوهشگر با تجربه‌ی سیلاب‌های دیرین می‌تواند ویژگی سیلاب‌های گذشته را کشف، تحلیل و معرفی نماید (بیکر^۱، ۲۰۱۳: ۵۱۴). تحلیل‌های ژئومورفولوژیکی طی چند دهه اخیر به طور گسترده‌ای در تبیین عملکرد فرایندها و مخاطرات ژئومورفیکی مورد استفاده قرار گرفته است (استوفل^۱، ۲۰۰۸: ۱۸۷). برتز^۱ در ۱۹۲۳ و ۱۹۲۹ نخستین پژوهشگری بود که برای کسب اطلاعات و رفع ابهام‌ها در مورد مسیر

^۱. Beiker

^۱. Estofel

2. Bretz

سیلاب‌های کاتاستروفیک دریاچه میسولای پلیوستوسن در شمال غرب آمریکا، به طور گسترده‌ای از شواهد زمین‌شناسی استفاده کرد و رسوب‌های آب راکد را در کانال‌های معروف به اسکابلنددر واشنگتن غربی تشریح کرد. پژوهش‌های 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^۱ (۱۹۸۲)، هوسکینگ و والیس^۲ (۱۹۸۶)، باردسلی^۳ (۱۹۸۸)، باکر^۴ (۱۹۸۷)، روبرت^۵ (۱۹۹۰)، انزل^۶ و همکاران (۱۹۹۴)، گوتیسفلد^۷ (۱۹۹۶)، روبرت و همکاران (۲۰۰۲)، وب^۸ و همکاران (۲۰۰۲)، باکر و همکاران (۲۰۰۲)، گریگوری^۹ (۲۰۰۲)، فنیسک^{۱۰} (۲۰۰۳)، بنیتو^{۱۱} و همکاران (۲۰۰۵)، فرناندز-لاوادیو^{۱۲} و همکاران (۲۰۰۷)، کنوواس^{۱۳} و همکاران (۲۰۱۰)، بالستروس^{۱۴} و همکاران (۲۰۱۱)، سامجی و کیس^{۱۵} (۲۰۱۲)، سچرمل^{۱۶} و همکاران (۲۰۱۳)، لئو^{۱۷} و همکاران (۲۰۱۴) در این زمینه، پژوهش‌های ارزشمندی انجام داده‌اند. یکی از دلایل عمده افزایش توجه پژوهشگران به پژوهش‌های پالئوهیدرولوژی و به ویژه هیدرولوژی سیلاب‌های دیرین 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 به کارگیری شواهد ژئومورفولوژیکی در ارزیابی سیلاب‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است (رضایی مقدم و اسماعیلی، ۱۳۸۴: ۱)؛ (حسین زاده و جهادی طرقي، ۱۳۸۵: ۹۰)؛ اسماعیلی و حسین زاده، ۱۳۸۸: ۷۷) (جهادی طرقي و حسین زاده، ۱۳۹۰: ۶۹)؛ (حسین زاده و جهادی طرقي، ۱۳۹۱: ۲۹)؛ (جهادی طرقي و حسین زاده، ۱۳۹۲: ۱۳۳)؛ (حسین زاده و همکاران ۱۳۹۳: ۲۰).

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

-
- 1- Kochel
 - 2- Hosking & Wallis
 - 5- Bardsley
 - 6- Baker
 - 5- Robert
 - 6- Enzel
 - 7- Gottesfeld
 - 8- Webb
 - 9- Gregory
 - 10- Fenske
 - 11- Benito
 - 12- Fernandez-Lavado
 - 13- Canovas
 - 14- Ballesteros
 - 15- Kiss, Sumeghy
 - 16- Schraml
 - 17- Luo

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.

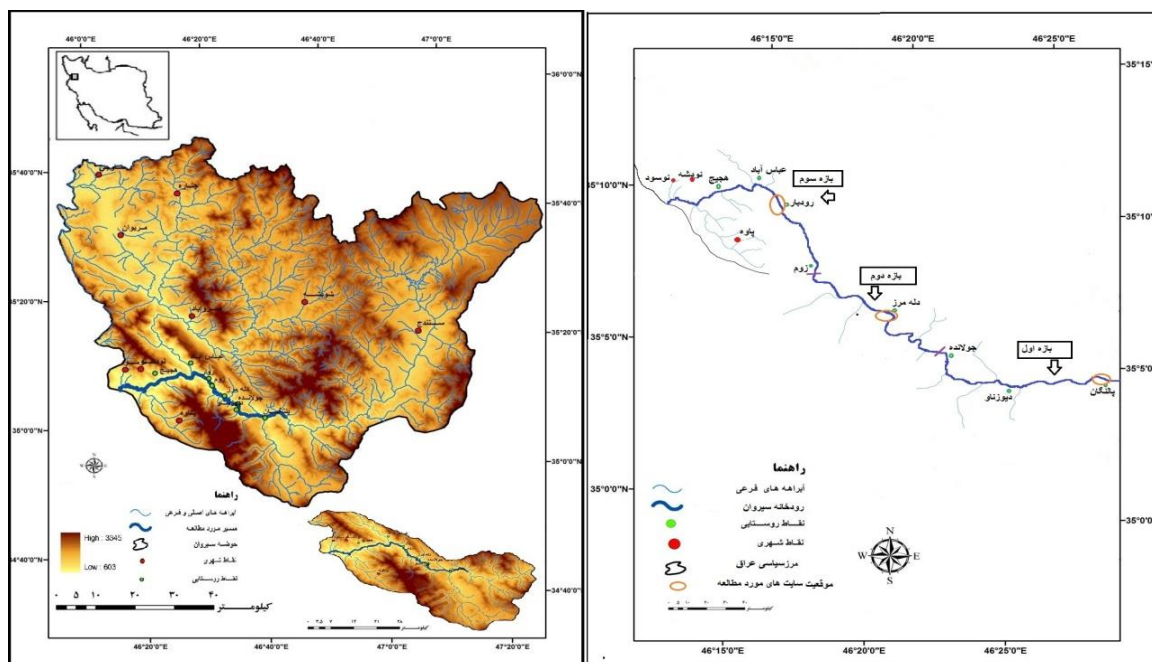
هیدرولوژی دیرینه سیلاب‌ها^۱ به بازسازی شدت و فراوانی وقوع آن‌ها پرداخته و رفتار سیستم‌های رودخانه‌ای را روشن می‌کند. این پژوهش بر آن است که سه بازه یک کیلومتری از ۵۰ کیلومتری پایانی رودخانه سیروان را مطالعه کند. سیلاب‌های آن را بر مبنای شواهد ژئومورفولوژیکی و باتوجه به ماهیت علم ژئومورفولوژی شبیه‌سازی، برآورد و تحلیل کند. برآوردهای طولانی‌مدت سیلاب در رودخانه سیروان موجب می‌شود تا ضمن آگاهی از رفتار رودخانه و سیلاب‌ها، به توان نسبت به بررسی طرح‌های رودخانه به صورت کاملاً هوشیارانه و بر اساس قواعد حاکم بر رودخانه عمل کرد. همچنان که جررت^۲ (۲۳۸:۲۰۰۲) ذکر کرده است، هیدرولیک و هیدرولوژی رودهای کوهستانی به صورت ضعیفی نسبت به رودهای سایر واحدهای ژئومورفولوژی شناسایی شده‌اند در پژوهش حاضر، مطالعه منطقه پژوهش شده برای درک بهتر روند فعالیت رودهای کوهستانی (که وقوع سیلاب‌ها در آنها ناگهانی است) با استفاده از روش‌های دیرین سیلاب مد نظر قرار گرفته است.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه منطبق بر بخشی از بستر اصلی رودخانه سیروان حد فاصل بین روستای پالنگان تا مرز سیاسی عراق، بین مختصات جغرافیایی ۳۵°۷' تا ۳۵°۱۲' عرض شمالی و ۴۶°۱۵' تا ۴۶°۳۰' طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). رودخانه سیروان یکی از شاخص‌ترین رودخانه‌های مئاندری پرآب غرب ایران با جهت شرقی غربی، عمود بر رشته‌کوه‌های زاگرس مرتفع است. این رودخانه بر اساس دبی‌های متغیر سالانه، شاهد سیلاب‌هایی در گذشته بوده 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.

8- Paleo flood hydrology

9. Jarrett



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

داده‌ها و روش‌ها

روش عمومی این پژوهش تجربی، با تأکید بر مطالعات میدانی بوده و هدف اصلی پژوهش مبنی بر بررسی هیدرولوژی سیلاب‌های دیرین رودخانه سیروان با استفاده از شواهد ژئومورفولوژیکی و سیلابی می‌باشد. برآورد حداکثر دبی، محاسبه‌های هیدرولوژیکی جریان با دوره‌های بازگشت مختلف انجام شد. مراحل انجام این پژوهش را می‌توان به شرح زیر بیان کرد:

۱- با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای IRS-ID و تصاویر Google Earth موقعیت سایت‌ها جستجو و شناسایی شد. موقعیت دقیق سایت‌ها، از طریق پیمایش میدانی کنترل و در نرم افزار GIS ترسیم شد. اطلاعات هیدرولوژیکی و هندسی رودخانه و نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۱۰۰۰ تهیه شد.

۲- در سایت‌های نمونه بر روی رسوب‌های آب راکد و بسترهای سنگی، مرز بین وقایع سیلابی از طریق شاخص‌های رسوب شناسی و داغاب سیلاب انجام شد. با تهیه عکس از چینه‌ها و اندازه گیری‌های متریک، زمینه بررسی چینه شناسی فراهم گردید.

۳- با عملیات نقشه‌برداری زمینی و دوربین توتال استیشن نیمرخ‌های عرضی و طولی در سه بازه مورد مطالعه برداشت شد. مقاومت آبراهه و سیلاب‌دشت‌ها در مقابل جریان، برآورد گردید. تخمین مقاومت آبراهه در مقابل جریان از طریق

ضریب زبری مانینگ که از جداول ارایه 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 شد.

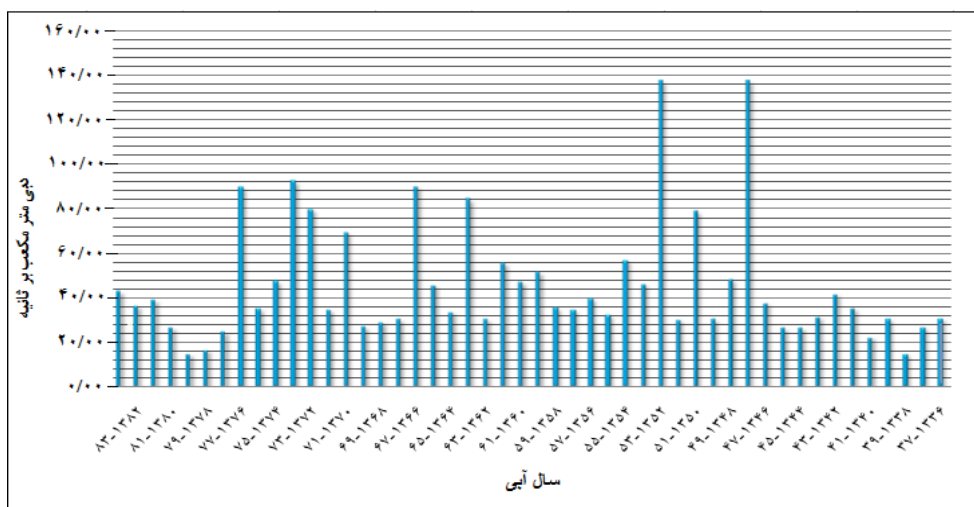
۴- محاسبه‌های هیدرولیکی و تخمین دبی: با استفاده از داده‌های آماری دبی ۴۸ ساله به تخمین دبی بزرگ‌ترین سیلاب‌ها پرداخته شد. در تخمین دبی‌ها علاوه بر توجه به رسوب‌های آب راکدی به عامل اصلاحی سطح بالاترین سیلاب برآورد شده نسبت به بالاترین رسوب‌های آب راکدی نیز توجه شد.

۵- 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 شد 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.

۶- در نهایت خروجی نرم‌افزار HEC-RAS مقاطع عرضی و طولی رودخانه است که حداکثر دبی و تراز سطح آب رودخانه را برای دوره‌های بازگشت مختلف ۲ تا ۱۰۰۰ ساله در هر سه بازه نشان می‌دهد.

نتایج

مطالعه حداکثر دبی لحظه‌ای رودخانه سیروان در یک دوره ۴۸ ساله نشان می‌دهد که وقوع دبی‌های نسبتاً بزرگ در این رودخانه دور از انتظار نبوده و در زمره رودخانه‌های سیلابی قرار می‌گیرد (شکل ۲). به عنوان مثال حداکثر دبی سال آبی ۱۳۴۷-۱۳۴۸ و ۱۳۵۳-۱۳۵۲ سیلاب شدید مخربی با دبی ۱۳۷/۸۹ متر مکعب بر ثانیه داشته که متأسفانه خسارت‌های جانی و مالی زیادی همراه داشته است. این سیلاب صدمات قابل توجهی به مزارع، باغ‌ها، تلف شدن دام‌ها شد و باعث تخریب بیش از ۲۵ درصد روستاها و منازل مسکونی حاشیه رودخانه گردید. تمامی پل‌های احداث شده بر روی رودخانه تخریب شد و ارتباط بین طرفین رودخانه به طور کامل قطع گردید و روستائیان را مجبور به بستن پل‌های سیمی بعد از فروکش کردن سیلاب کرد.



منبع: نگارندگان

شکل ۲. نمودار حداکثر دبی لحظه‌ای سالانه ایستگاه هیدرومتری رودخانه سیروان

سیلاب‌های ثبت شده توسط شواهد ژئومورفولوژیکی و سیلابی در سایت‌ها

رسوبات آب راکد در بیشتر سیستم‌های رودخانه‌ای رخ می‌دهند اما کانیون‌های با بستر سنگینه علت مقاومت ابعاد کانال، مناسب‌ترین موقعیت برای بازسازی دبی دیرینه سیلاب‌هستند (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۷۶)؛ 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.

بازه اول، سایت پالنگان

سایت پالنگان، در تراز ۱۰۱۰ متری، در یک ساحل کوژ قرار دارد. پهن شدگی سبب کاهش سرعت جریان و به جای گذاشتن رسوبات معلق همراه سیلاب شده است. در بخش کوژ مئاندر وقتی سیلاب‌ها پیچ‌ها را دور زده‌اند گرداب‌ها باعث نهشته شدن رسوبات در بخش پایین رود سواحل کوژ مئاندر شده است. پهن شدگی بستر در پایین دست شیلات پالنگان که با کاهش شیب همراه بوده سبب رسوب‌گذاری رسوبات درشت دانه سیلاب شده است (شکل ۳ الف). این سایت در بالا به طبقه‌ای از مواد واریزه‌ای و خاک‌های قدیمی و در پایین به رسوب‌های آبرفتی بستر محدود می‌شود. بافت رسوب‌های سیلابی در این سایت گراول، ماسه ریز تا درشت، رس و سیلت را در بر می‌گیرد. در این سایت برآورد سیلابی بر مبنای شواهد رسوب‌های آب راکد، از روی بالاترین لایه رسوب‌های سیلابی برای بازسازی سیلاب در نظر گرفته شده است. در ادامه سایت مذکور کانیون دیوزناو- پالنگان در سنگ سخت آهک شکل گرفته که گذرگاه رودخانه است. در دیواره کانیون، شواهد داغاب سیلاب قابل تشخیص بوده (شکل ۳ ب) و رسوب‌های در تورفتگی‌های دیواره بستر رود نهشته شده است. این فرو رفتگی دیواره سنگی باعث ایجاد گرداب و کاهش سرعت سیلاب و سپس تشکیل یک نیم‌رخ رسوب‌های سیلابی را داده است.



شکل ۳. الف) شواهد رسوب‌های سیلاب‌های دیرین (ب) آخرین سیلاب ثبت شده بر تراس‌های سنگی کانیون پالنگان - دیوزناو

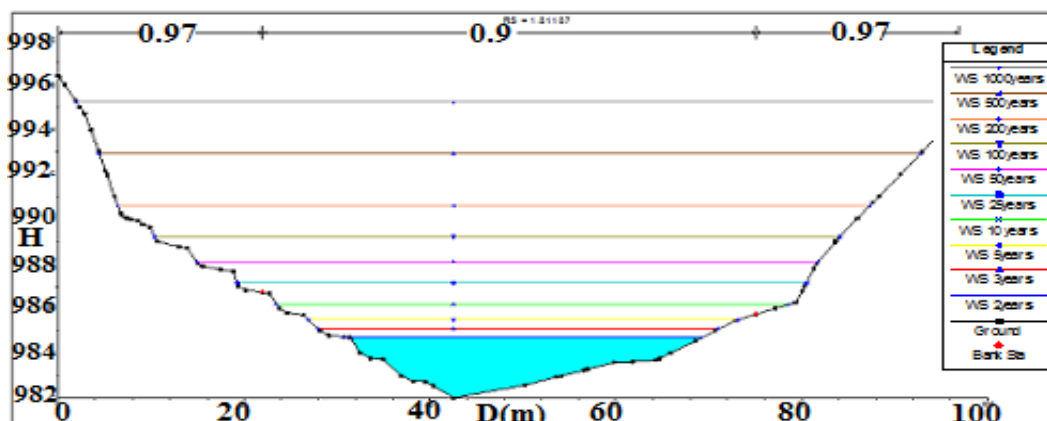
محاسبه‌های هیدرولیکی اجرای مدل سیلابی برای بازه اول

شرایط هیدرولیکی بازه اول رودخانه سیروان، در سایت پالنگان برای سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS شبیه سازی شد. پارامترهای مورد نیاز مدل محاسبه گردید و پروفیل‌های جریان ۱۵ مقطع عرضی و طولی ترسیم شد. جدول ۱ و شکل ۴ و ۵ نتایج آن نشان می‌دهند.

جدول ۱. پارامترهای هیدرولیکی رودخانه سیروان بازه یک (سایت پالنگان) برای دبی دوتا هزار ساله

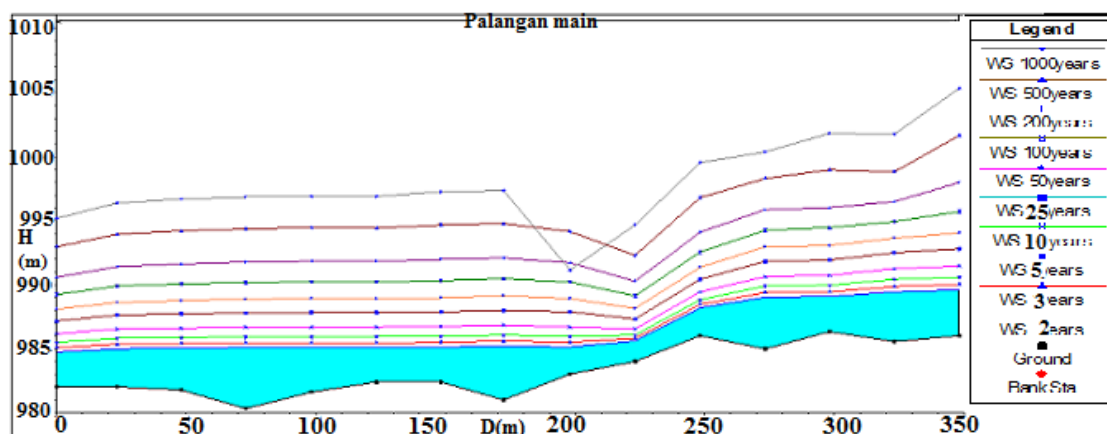
دوره‌های بازگشت ۲ تا ۱۰۰۰ ساله	دبی کل M^3/s	حداقل تراز کانال m	تراز سطح آب m	تراز سطح آب در حالت بحرانی m	تراز خط انرژی m	شیب خط انرژی m/m	سرعت متوسط جریان مقطع m/s	سطح مقطع جریان m^2	عرض بالایی سطح آب m	عدد فرود جریان
۱۰-YR	۱۰۳,۶۶	۹۸۶,۰۰	۹۸۹,۵۷	۹۸۸,۲۲	۹۸۹,۷۸	۰,۰۱۰۷۱۴	۲,۰۲	۵۱,۳۵	۲۰,۴۰	۰,۴۰
۳ YR	۱۳۸,۲۰	۹۸۶,۰۰	۹۹۰,۰۱	۹۸۸,۵۹	۹۹۰,۲۷	۰,۰۱۱۷۹۵	۲,۲۹	۶۰,۶۲	۲۲,۵۵	۰,۴۳
۵YR	۱۹۳,۴۷	۹۸۶,۰۰	۹۹۰,۵۷	۹۸۹,۰۹	۹۹۰,۹۳	۰,۰۱۲۶۷۲	۲,۶۶	۷۴,۲۷	۲۵,۴۹	۰,۴۶
۱۰ YR	۲۹۹,۳۱	۹۸۶,۰۰	۹۹۱,۴۳	۹۸۹,۸۷	۹۹۱,۹۵	۰,۰۱۲۸۳۹	۳,۲۳	۹۷,۹۶	۲۹,۷۳	۰,۵۰
۲۵ YR	۵۲۳,۶۸	۹۸۶,۰۰	۹۹۲,۷۸	۹۹۱,۲۰	۹۹۳,۶۰	۰,۰۱۵۵۱۸	۴,۱۱	۱۴۱,۸۹	۳۴,۴۲	۰,۵۶
۵۰ YR	۷۹۴,۷۸	۹۸۶,۰۰	۹۹۴,۰۴	۹۹۲,۵۱	۹۹۵,۱۶	۰,۰۱۶۷۴۵	۴,۸۹	۱۸۶,۵۹	۳۶,۵۳	۰,۶۰
۱۰۰ YR	۱۲۰۳,۷۳	۹۸۶,۰۰	۹۹۵,۷۱	۹۹۳,۹۵	۹۹۷,۱۸	۰,۰۱۷۰۰۵	۵,۷۰	۲۴۹,۲۵	۳۸,۶۳	۰,۶۲
۲۰۰ YR	۱۸۲۲,۱۷	۹۸۶,۰۰	۹۹۷,۹۶	۹۹۵,۷۱	۹۹۹,۸۲	۰,۰۱۶۲۷۸	۶,۵۲	۳۳۹,۴۶	۴۱,۵۲	۰,۶۳
500 YR	۳۱۵۴,۹۱	۹۸۶,۰۰	۱۰۰۱,۶۵	۹۹۸,۸۵	۱۰۰۴,۳۵	۰,۰۱۶۴۷۹	۷,۹۸	۴۹۴,۶۸	۴۲,۱۰	۰,۶۷
1000 YR	۴۷۸۵,۷۸	۹۸۶,۰۰	۱۰۰۵,۳۶	۱۰۰۱,۷۰	۱۰۰۹,۰۷	۰,۰۱۶۹۷۴	۹,۴۴	۶۵۱,۰۱	۴۲,۱۰	۰,۷۱

منبع: نگارندگان



منبع: نگارندگان

شکل ۴. موقعیت یابی تراز سیلاب با دوره‌های بازگشت دو تا هزار ساله رودخانه سیروان (سایت پالنگان) به همراه سطح تراز آب



منبع: نگارندگان

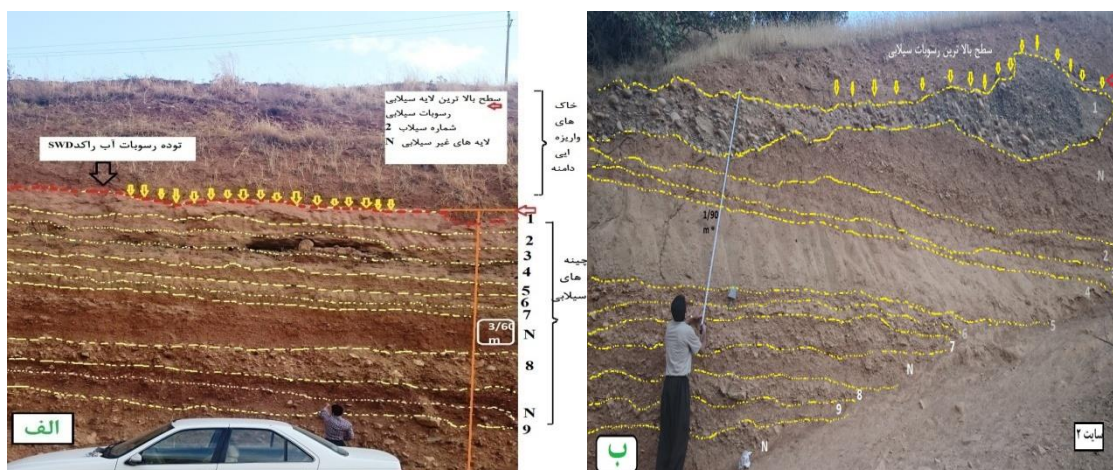
شکل ۵. پروفیل طولی جریان رودخانه سیروان برای سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف در بازه اول، سایت پالنگان

چینه شناسی رسوب‌ها و جداسازی وقایع سیلابی برای برآورد حداکثر دبی

بازه دوم، سایت دله مرز

تعداد وقایع سیلابی، به کمک تغییرات در اندازه و بافت رسوبات در مقاطع قائم، وجود خاک‌های قدیمی، تغییر در میزان سخت شدگی رسوب‌ها، تغییر در رنگ و حضور میان لایه‌های درشت دانه ترشاخه‌های فرعی، تعیین می‌شود (بیکر، ۱۹۸۷، ۹۴). این سایت در محل پل روستای دله مرز، در تراز ۸۹۰ متری قرار دارد. به دلیل کاهش سرعت جریان سیلاب، رسوب‌های آب راکد بر بدنه دره رودخانه برجا گذاشته شده است. موقعیت ژئومورفیک این سایت از نظر تجمع و حفظ رسوب‌های ریزدانه سیلاب، در حد مطلوبی قرار دارد. پهن شدگی بستر، کاهش سرعت جریان و گرداب‌شدگی، باعث بر جای گذاشتن رسوب‌های معلق همراه سیلاب شده است. کرانه مقابل این سایت هم شرایط مناسبی برای مطالعه رسوب‌های آب راکد را

داشته اما عملکرد عوامل انسانی از جمله: ایجاد ایستگاه پمپاژ آب برای باغداری و برداشت بی‌رویه‌ی شن و ماسه در بستر، نظم لایه‌ها و نهشته‌های سیلابی به هم خورده است. نهشته‌های این مقطع بیشتر متأثر از شاخه‌اصلی رود بوده و شاخه‌های فرعی در ایجاد آن هیچ نقشی ندارند. بر اساس اندازه‌گیری‌های میدانی بالاترین سطح رسوب‌ها تا بستر فعال رودخانه ۳۶ متر است و ضخامت مقطع بر اساس اندازه‌گیریمتری ۳/۶۰ متر بوده که پایین‌ترین لایه، روی قطعه‌های درشت دانه 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 (حسین زاده و جهادی طرقي، ۱۳۹۱: ۹۳). این لایه‌ها از ماسه ریز تا سیلت ترکیب یافته 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 ۶- الف). 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 ۶ ب).



شکل ۶. الف) چینه‌های رسوبی آب راکد، ب) سکناس‌های بالای رسوب‌های سیلابی

محاسبات هیدرولیکی اجرای مدل سیلابی برای بازه دوم

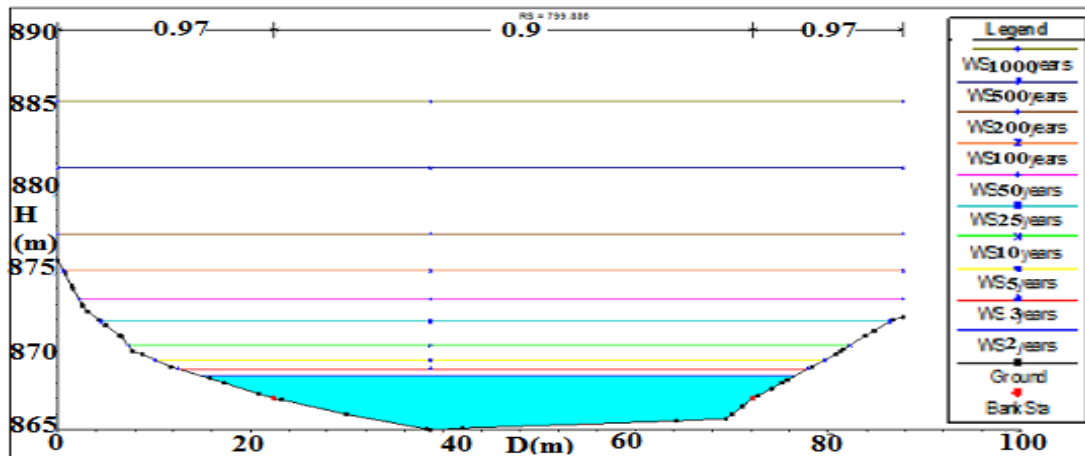
حل معادله‌های حاکم بر جریان در نهایت ارتفاع تراز سطح آب در مقاطع مختلف را به عنوان یکی از اصلی‌ترین نتایج مطالعات ارایه می‌دهد که بر اساس آن هندسه مجرا پهنه‌های آب‌گرفتگی محاسبه شده است. پارامترهای مورد نیاز مدل

برای بازه دوم محاسبه شد (جدول ۲). پروفیل‌های جریان ۱۸ مقاطع عرضی و طولی ترسیم گردید در شکل ۷ و ۸ نتایج آن را نشان می‌دهد.

جدول ۲. پارامترهای هیدرولیکی بازه دوم رودخانه سیروان برای دبی دو تا هزار ساله

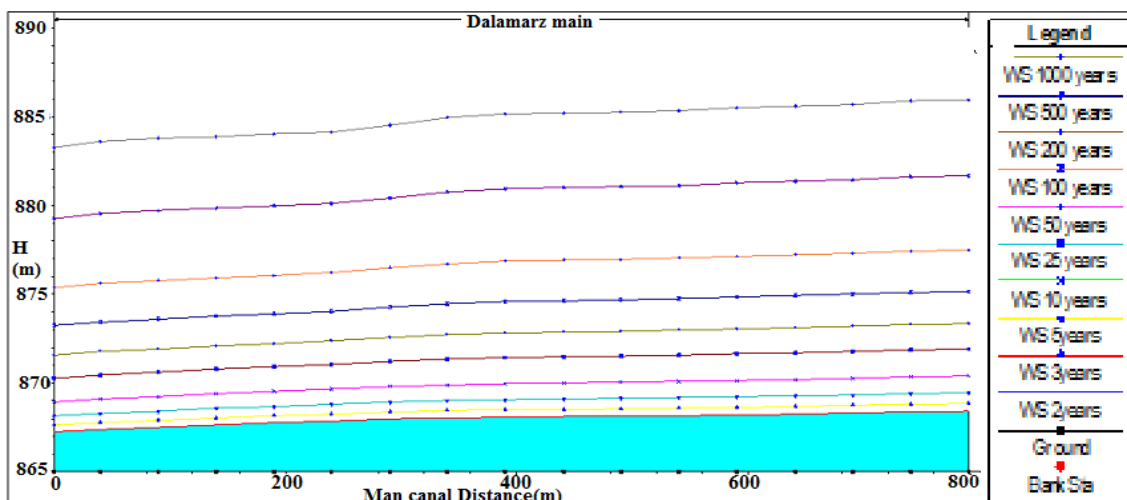
دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰۰ ساله	دبی کل M3/S	حداقل تراز کانال m	تراز سطح آب m	تراز سطح آب در حالت بحرانی m	تراز خط انرژی m	شیب خط انرژی m/m	سرعت متوسط جریان مقطع m/s	سطح مقطع جریان m2	عرض بالای سطح آب m	عدد فرو د جریان
2 YR	۱۰۳/۶۶	۸۶۵/۰۰	۸۶۸/۲۴	۸۶۶/۲۸	۸۶۸/۴۵	-/۰۰۱۰۸	۰/۷۲	۱۴۸/۳۲	۶۱/۶۳	۰/۱۴
3 YR	۱۳۸/۲۰	۸۶۵/۰۰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

منبع: نگارندگان



منبع: نگارندگان

شکل ۷. موقعیت‌یابی تراز سیلاب با دوره‌های بازگشت دو تا هزار ساله رودخانه سیروان، سایت دله مرز به همراه سطح تراز آب



منبع: نگارندگان

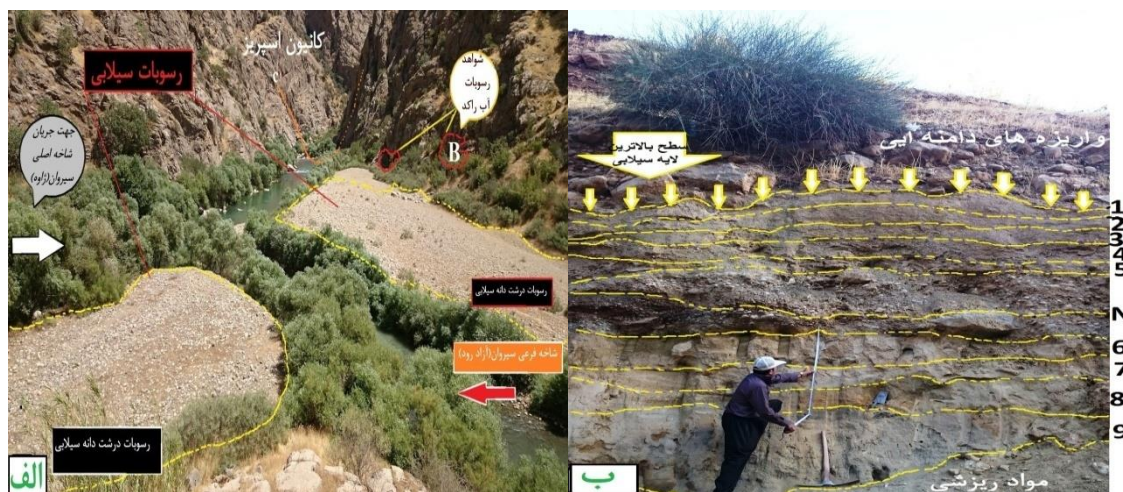
شکل ۸. پروفیل طولی جریان رودخانه‌ی سیروان برای سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف در بازه دوم، سایت دله مرز

بازسازی حداکثر سیلاب محتمل برمبنای داده‌های سیلاب‌های دیرین

بازه سوم، سایت رودبار

این بازه در تراز ۸۴۰ متری قرار دارد. آثار و شواهد سیلاب‌های عادی و کوچک در این سایت گویای حاکمیت دوره نسبتاً کوتاه تثبیت چشم اندازه‌ها است. در کنار سیلاب‌های عادی آثار تراکمی سیلاب‌های بزرگ نیز به چشم می‌خورد. علاوه بر وجود چوب‌های سرگردان مدفون شده در زیر رسوب‌های آبرفتی، اجزاء درشت دانه‌ی رسوبی در بستر رودخانه گویای انرژی بالای جریان کاتاستروفیک است.

بین اوج دبی شاخه اصلی و شاخه‌های فرعی فاصله زمانی وجود دارد به طوری که شاخه فرعی گردلان آب و رسوب خود را تخلیه کرده و اوج دبی رودخانه اصلی سیروان پس از آن رخ داده است. با وقوع سیلاب‌ها در رودخانه اصلی وقتی به شاخه فرعی رسیده پساب ایجاد کرده و آب پر از رسوب را به داخل شاخه فرعی گردلان رانده و با کاهش سرعت آب در شاخه فرعی رسوب‌های معلق در دهانه آن برجای گذاشته شده‌اند. بر اساس مطالعات میدانی، بیشترین میزان ورود سیلاب به داخل شاخه‌های فرعی هنگامی رخ می‌دهد که زاویه اتصال شاخه‌های فرعی به رودخانه اصلی بین ۵۵ تا ۱۲۵ درجه باشد (کوچل و باکر، ۳۶۳، ۱۹۸۸). بر اساس شکل ۹ (الف) چنین شرایطی در این سایت زاویه شاخه فرعی گردلان به سیروان (ژاوه) با ۶۵ درجه ایجاد شده است. ویژگی بارز مکانی این سایت این است که واریزه‌های دامنه آبی و خاک-های روی دامنه نهشته‌ها را در برابر تغییر به وسیله عوامل محیطی و انسانی حفظ کرده که این مسأله به دقت بیشتر در تشخیص چینه‌ها و وقایع سیلابی مؤثر استدر این سایت ۹ وقایع سیلابی تشخیص داده شد (شکل ۹ ب).



شکل ۹. الف) شواهد ژئومورفولوژیک سیلابی در بازه سوم (ب) چینه‌های رسوبی آب راکد در محل پل هجیج.

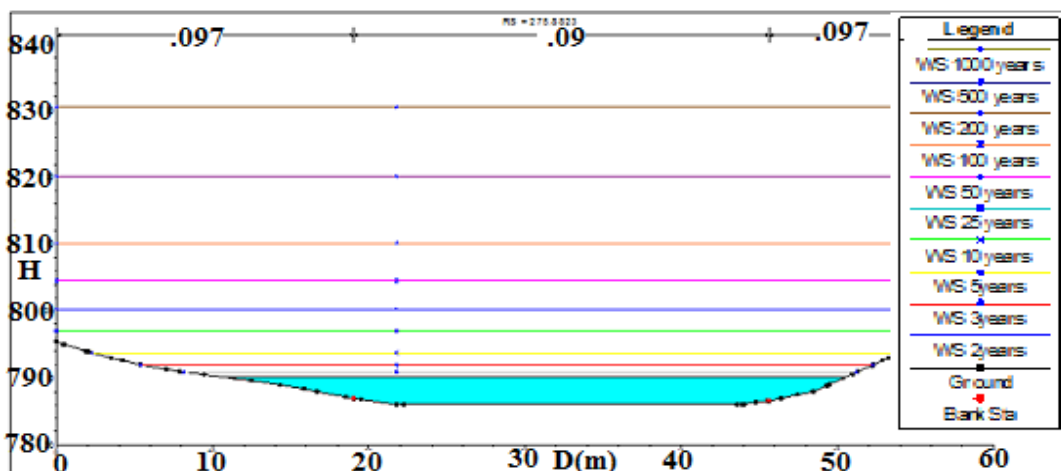
محاسبات هیدرولیکی اجرای مدل سیلابی برای بازه سوم

سیلاب‌های با دوره‌های بازگشت مختلف برای بازه رودبار محاسبه گردید و پروفیل‌های جریان ۱۵ مقطع عرضی و طولی ترسیم شد. جدول ۳ و شکل ۱۰ و ۱۱ نتایج حاصل از آن نشان می‌دهند.

جدول ۳. پارامترهای هیدرولیکی بازه سوم رودخانه سیروان برای دبی دوتا هزار ساله

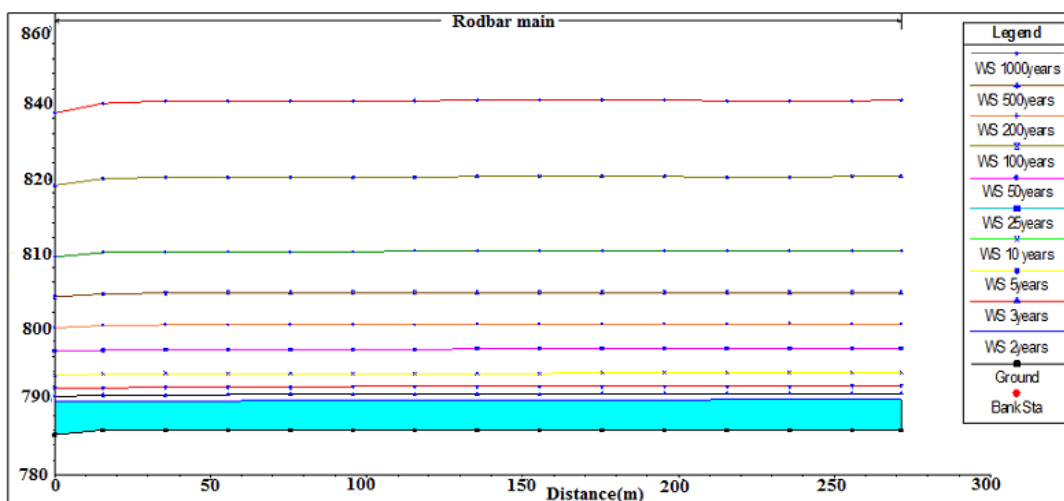
دوره‌های بازگشت ۲ تا ۱۰۰۰ ساله	دبی کل M^3/s	حداقل تراز کانال m	تراز سطح آب m	تراز سطح آب در حالت بحرانی m	تراز خط انرژی m	شیب خط انرژی m/m	سرعت متوسط جریان مقطع m/s	سطح مقطع جریان m^2	عرض بالای سطح آب m	عدد فرود جریان
2 YR	۱۰۳۶۶	۷۸۶,۰۰	۷۹۰,۱۷	۷۸۷,۲۶	۷۹۰,۲۰	۰,۰۰۰۹۵۷	۰,۸۷	۱۳۰,۷۳	۳۹,۷۱	۰,۱۴
3 YR	۱۳۸,۲۰	۷۸۶,۰۰	۷۹۰,۹۰	۷۸۷,۵۰	۷۹۰,۹۶	۰,۰۰۰۹۲۴	۰,۹۶	۱۶۱,۷۱	۴۳,۰۷	۰,۱۴
5 YR	۱۹۳,۴۷	۷۸۶,۰۰	۷۹۱,۹۸	۷۸۷,۸۶	۷۹۲,۰۴	۰,۰۰۰۸۵۹	۱,۰۶	۲۱۰,۱۱	۴۶,۸۸	۰,۱۴
10 YR	۲۹۹,۳۱	۷۸۶,۰۰	۷۹۳,۷۹	۷۸۸,۴۳	۷۹۳,۸۵	۰,۰۰۰۷۵۱	۱,۱۸	۲۹۹,۰۰	۵۱,۸۳	۰,۱۴
25 YR	۵۲۳,۶۱	۷۸۶,۰۰	۷۹۷,۰۱	۷۸۹,۴۲	۷۹۷,۰۸	۰,۰۰۰۶۱۱	۱,۳۴	۴۷۲,۹۲	۵۴,۶۳	۰,۱۳
50 YR	۷۹۴,۷۸	۷۸۶,۰۰	۸۰۰,۳۰	۷۹۰,۴۲	۸۰۰,۳۹	۰,۰۰۰۵۴۱	۱,۵۱	۶۵۲,۷۸	۵۴,۶۳	۰,۱۳
100 YR	۱۲۰۳,۷۳	۷۸۶,۰۰	۸۰۴,۵۹	۷۹۱,۶۹	۸۰۴,۷۰	۰,۰۰۰۵۰۰	۱,۷۳	۸۸۶,۸۱	۵۴,۶۳	۰,۱۳
200 YR	۱۸۲۲,۱۷	۷۸۶,۰۰	۸۱۰,۱۶	۷۹۳,۲۲	۸۱۰,۳۲	۰,۰۰۰۴۷۷	۲,۰۱	۱۱۹۱,۱۶	۵۴,۶۳	۰,۱۳
500 YR	۳۱۵۴,۹۱	۷۸۶,۰۰	۸۲۰,۱۷	۷۹۵,۸۰	۸۲۰,۴۱	۰,۰۰۰۴۶۶	۲,۵۰	۱۷۳۸,۰۳	۵۴,۶۳	۰,۱۴
1000 YR	۴۷۸۵,۷۸	۷۸۶,۰۰	۸۳۰,۴۲	۷۹۸,۱۱	۸۳۰,۷۷	۰,۰۰۰۴۶۷	۲,۹۹	۲۲۹۸,۱۱	۵۴,۶۳	۰,۱۴

منبع: نگارندگان



منبع: نگارندگان

شکل ۱۰. موقعیت‌یابی تراز سیلاب با دوره‌های بازگشت دو تا هزار ساله رودخانه سیروان، سایت رودبار به همراه سطح تراز آب



منبع: نگارندگان

شکل ۱۱. پروفیل طولی جریان رودخانه سیروان برای سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف در بازه سوم، سایت رودبار

بحث

در مطالعه سیلاب‌های دیرین از شاخص‌های متعددی جهت بررسی سطح بالا آمده طی سیلاب‌های به وقوع پیوسته استفاده می‌کنند. از جمله این شاخص‌ها می‌توان به خراش‌ها یا جراحات‌های باقیمانده روی تنه درختان و بسترهای سنگی، رسوبات حمل شده توسط سیلاب‌ها یا سایر موارد همراه سیلاب (دبریز فلادها) اشاره کرد. اما معتبرترین و عمومی‌ترین معیار پالتواستیج در هیدرولوژی سیلاب‌های دیرین، نهشته‌های آب راکدی هستند (بیکر، ۱۹۷۸، ۷۹). در این پژوهش، برای بررسی وضعیت هیدرولوژی سیلاب‌های دیرین در دره رودخانه سیروان جهت برآورد حداکثر دبی، از شواهد

مورفولوژیک سیلاب در بازسازی سیلاب‌های قدیمی بهره گرفته شد. در بازه اول، سطح تراز آب در دوره ۲ ساله، ۹۸۹،۵۷ متر و در دوره ۱۰۰۰ ساله ۱۰۰۵،۳۶ متر محاسبه شد که روند افزایشی را در دوره ۲ تا ۱۰۰۰ ساله نشان داد. سرعت متوسط جریان مقطع برای دوره ۲ ساله در این بازه ۲،۰۲ متر بر ثانیه و برای دوره ۱۰۰۰ ساله ۹،۴۴ متر بر ثانیه محاسبه شد این میزان سرعت برای دبی ۴۷۸۵،۷۸ متر مکعب بر ثانیه، غیر معمول است به ندرت رخ می‌دهد و با سرعت نرمال رودخانه تفاوت زیادی را نشان می‌دهد در حالی که برای دوره‌های بازگشت کمتر از ۱۰۰ سال با سرعت نرمال رودخانه منطبق است. در بازه دوم، سطح تراز آب در دوره ۲ ساله، ۸۶۸،۲۴ متر و در دوره ۱۰۰۰ ساله ۸۸۵،۹۱ متر محاسبه شد که مشابه بازه اول روند افزایشی را در دوره ۲ تا ۱۰۰۰ ساله نشان می‌دهد. سرعت متوسط جریان مقطع برای دوره ۲ ساله در این بازه ۰،۷۲ متر بر ثانیه و برای دوره ۱۰۰۰ ساله ۳،۵۲ متر بر ثانیه به دست آمد این میزان سرعت برای دبی ۴۷۸۵،۷۸ متر مکعب بر ثانیه، معمول و منطقی به نظر می‌رسد و با سرعت نرمال رودخانه تفاوت زیادی ندارد. در بازه سوم، سطح تراز آب در دوره ۲ ساله، ۷۹۰،۱۷ متر و در دوره ۱۰۰۰ ساله ۸۳۰،۴۲ متر محاسبه شد. سرعت متوسط جریان مقطع برای دوره ۲ ساله در این بازه ۰،۸۷ متر بر ثانیه و برای دوره ۱۰۰۰ ساله ۲،۹۹ متر بر ثانیه به دست آمد. بر اساس تغییرات شیب، از بازه اول تا سوم، سرعت متوسط جریان روند کاهشی را نشان می‌دهد، این روند کاهشی به تغییرات ضریب زبری و کاهش میزان شیب از بازه اول تا سوم مرتبط است. تراز سطح آب در حالت بحرانی در این بازه برای دوره بازگشت ۲ تا ۱۰۰۰ ساله ۱۰،۸۵ متر اختلاف را نشان می‌دهد اختلاف کم با بازه‌های اول و دوم دقت برآوردها را تأیید می‌نماید.

با چینه شناسی رسوبات آب راکد در سه بازه از رودخانه ۹ وقایع سیلابی در دوره‌های بازگشت مختلف باز سازی شد. بررسی‌های میدانی و نتایج حاصل از برآوردها در دوره‌های مختلف نشان داد رسوبات آب راکد با دبی سیلاب‌های با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله انطباق دارد. داغاب ثبت شده بر روی دیواره سنگی کانیون و بسترهای سنگی آخرین سیلاب‌های وقوع یافته در دره رودخانه را نشان می‌دهد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که جهت برآورد دبی سیلاب‌های دیرینه بهره‌گیری از شواهد ژئومورفولوژیک نتایج خوبی را ارائه می‌نماید، به طوری که در مرحله واسنجی و ارزیابی مدل هیدرولیکی HEC-RAS به ازای دوره‌های بازگشت طولانی‌تر میزان دبی بیشتر شده و بر سطح سیلاب در هریک از مقاطع افزوده شده است (شکل ۴ تا ۸). این نتایج با نتایج پژوهشگرانی مانند چپو (۱۹۹۹: ۶۵)؛ لیم (۲۰۰۱: ۷۲)؛ درخشان (۱۳۸۹: ۷۷)؛ وروشانو همکاران (۱۳۹۲: ۸۰)؛ مبنی بر کارایی خوب استفاده از مدل هیدرولیکی 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. برآورد دبی به روش‌های آماری و تجربی و به کارگیری نتایج نادرست در حوضه این رودخانه و سایر حوضه‌ها تا اکنون آسیب‌های جانی و مالی جبران ناپذیری را در پیدا گشته است برای نمونه (تهیه هیدروگراف واحد مصنوعی سیروان، بهرامی و همکاران، ۱۳۸۵: ۸) و حوضه آبریز

جنگل گلستان، حسین زاده و جهادی طرقي، ۱۳۸۵: ۹۰). نتایج نشان داد که با استفاده از شاخص دیرینه تراز PSI، می‌توان سیلاب‌های بزرگ (حداکثر دبی) را در کانال رودخانه با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS و نرم افزار الحاقی HEC-GEORAS برآورد و تشریح کرد. بر مبنای تجربه‌های پژوهشگران قبلی که به ثبت ارتفاع آب بر روی رسوب‌های آب راکد سیلاب‌های جدید پرداخته‌اند (کوچل و باکر، ۱۹۸۲: ۳۵۳). افزایش ۱۰ تا ۲۰ درصدی سطح سیلاب بر روی بالاترین سطح رسوب‌های آب راکد انجام و دبی حاصل از آن در جداول ۱ تا ۳ ذکر شد. باتوجه به برآوردهای انجام شده و میزان دبی‌های محاسبه‌شده در سایت‌های مذکور میزان برآوردها در سه باز مورد مطالعه، به هم نزدیک و این می‌تواند نشان از دقت بالای مدل باشد.

نتیجه‌گیری

در مطالعات هیدرولوژی سیلاب‌ها اغلب تمایل به استفاده از داده‌های آماری ساده و فراگیر برگرفته از داده‌های هیدرولوژیک موجود زیاد است. هرچند روش‌های مختلفی جهت برآورد دبی در حوضه‌های آبریز رودخانه‌ها وجود دارد اما استفاده هیچ یک از روش‌های آماری که از آمار هیدرومتری کوتاه مدت برای انجام تحلیل فراوانی سیلاب‌های با دوره بازگشت طولانی مدت چندان مورد قبول نمی‌باشد. لذا این آمارها بایستی مورد تجدید نظر قرار گیرد. اما نتایج استفاده از داده‌های سیلاب‌های دیرین نشان داد که داده‌ها در بازه‌های مورد مطالعه بسیار به هم نزدیک هستند و استفاده از نتایج دیرینه‌تر از در دوره‌های بازگشت طولانی مدت در برنامه ریزی‌های مربوط به رودخانه به عنوان امری مهم و ضروری در نظر گرفته شود. بر این اساس نتایج حاصل بررسی‌های سیلاب‌های دیرین رودخانه سیروان در سه بازه، بر اساس شواهد موجود در دوره‌های ۲ تا ۱۰۰۰ ساله به دست آمد (جدول ۱ تا ۳). برای دوره ۲ ساله، ۱۰۳/۶۶ و برای دوره ۱۰۰۰ ساله ۴۷۸۵/۷۸ مترمکعب بر ثانیه برآورد گردید. در بازه اول پالنگان، تراز آب در دوره ۲ ساله، ۹۸۹،۵۷ متر و برای دوره ۱۰۰۰ ساله ۱۰۰۵،۳۶ متر و در بازه دوم دله مرز، برای دوره ۲ ساله، ۸۶۸،۴۲ متر و برای دوره ۱۰۰۰ ساله ۸۸۵،۹۱ متر، در باز سوم رودبار، تراز آب در دوره ۲ ساله، ۷۹۰،۱۷ متر و برای دوره ۱۰۰۰ ساله ۸۳۰،۴۲ متر 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 ۱۳۷/۱۳۵۲،۸۹ مترمکعب در ثانیه بوده است (شکل ۲). 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 این که بعد از وقوع سیلاب‌ها اندازه‌گیری‌ها صورت گیرد.

منابع

- ۱- اسماعیلی، رضا؛ محمد مهدی حسین زاده، (۱۳۸۸): روش مطالعه دیرینه سیلاب در ژئومورفولوژی دیرینه رودخانه، مجله سپهر، ۷۱، ۷۱-۷۱.
- ۲- اسماعیلی، رضا؛ محمد مهدی حسین زاده و صدرالدین متولی، (۱۳۹۰): تکنیک‌های میدانی در ژئومورفولوژی رودخانه‌ای، چاپ اول، انتشارات لاهوتی، تهران.
- ۳- بهرامی، جمیل؛ محمد وریا تباک، محمد رضا کاویان‌پور و وریا حسام شریعتی، (۱۳۸۵): تهیه هیدروگراف واحد مصنوعی حوضه آبریز سیروان، هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران، ۸-۱.
- ۴- جهادی طرقي، مهناز و سيد رضا حسين زاده، (۱۳۹۰): واکنش سیستم‌های رودخانه‌ای به وقایع سیلابی بزرگ (نمونه موردی رودخانه مادرسو)، پژوهش‌های فرسایش محیطی ۴، ۸۶-۶۹.
- ۵- جهادی طرقي، مهناز و سيد رضا حسين زاده، (۱۳۹۲): هیدرولوژی پالتوسیلاب، رویکرد ژئومورفولوژی مدرن در ارزیابی مخاطره سیلاب، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۲، (۸)، ۱۶۵-۱۳۳.
- ۶- حسین زاده، رضا و مهناز جهادی طرقي، (۱۳۸۵): تجزیه و تحلیل مورفولوژیک سیلاب‌های کاتاستروفیک رودخانه مادرسو (جنگل گلستان)، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ۴، (۷)، ۱۱۵-۹۰.
- ۷- حسین زاده، رضا و مهناز جهادی طرقي، (۱۳۹۱): هیدرولوژی سیلاب‌های قدیمی با استفاده از رسوب‌های آب راکد (مطالعه موردی: رودخانه درونگر خراسان)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱، (۱)، ۱۰۴-۸۳.
- ۸- حسین زاده، رضا، محمد خانه باد و عذرا خسروی، (۱۳۹۳): پهنه‌بندی خطر سیلاب‌های شهری با استفاده از داده‌های هیدرولوژی پالتوسیلاب (مطالعه موردی: شهر کلات نادری، خراسان رضوی)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۳، (۱)، ۳۶-۲۰.
- ۹- درخشان، شهرام؛ وحیدغلامیو ادريس تقوی سلیمی، (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)، ۷۸-۶۶.
- ۱۰- رضایی مقدم، محمدحسین و رضا اسماعیلی، (۱۳۸۴): بررسی اثرات ژئومورفیکی حوضه رئیس کلا: البرز شمالی، فصل‌نامه مدرس علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، ۹، (۴)، ۱۷-۱۰.
- ۱۱- روشان، حسین؛ قربان‌نوبادزاده و فرهاد سلیمانی، (۱۳۹۲): شبیه‌سازی رفتار رودخانه‌ها با استفاده از مدل HEC-RAS (مطالعه موردی: رودخانه بشار استان کهگیلویه و بویراحمد)، پژوهش‌نامه مدیریت حوضه آبخیز، ۴، (۷)، ۸۲-۷۱.
- ۱۲- مهندسین مشاور یکم، (۱۳۹۱): مطالعات تعیین حد بستر، حریم و ساماندهی رودخانه‌های استان کردستان، گزارش مطالعات تخصصی هیدرولیک، رسوب و ریخت‌شناسی رودخانه‌ها، بخش اول.

- 13- Baker, V. R., (1987): Paleo Flood Hydrology and Extraordinary Flood Events, Journal of Hydrology, 96, 79-99.
- 14- Baker, V. R., Robert H. Webb, P. Kyle House, (2002): The Scientific and Societal Value of Paleo Flood Hydrology, Vol.5, pp.1-19.
- 15- Baker, V. R. (2013): Global Late Quaternary Fluvial Pale Hydrology: With Special Emphasis on Pale Flood and Mega Floods In Johan F Schroder (ed.) Treatise on Geomorphology, Vol. 9, 511-527.
- 16- Bard Sly, W.E., (1988): Using Historical Data in Nonparametric Flood Estimation, Journal of Hydrology, 108, 249-255.
- 17- Benito, V. R., Thorneycroft, G. M., Rico, A. So Pena, 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, 16-31.
- 18- Berets j. H. (1923): The Channeled Scabland of The Columbia Plateau, Journal of Geology, 31, 617-649.

- 19- Bretz, j. H., (1929): Walleyed Posits Immediately East of Channeled Scabland of Washington, *Journal of Geology*, 36, 393-427.
- 20- Chivew, Y. M., (1999): Time Scale for Local Scour at Bridge Piers, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 125 (1), 59-65.
- 21- C. Fernandez- Lavado, G., Frdada. and M. A. Marques, (2007): Geomorphological Method in The Elaboration of Hazard Maps for Flash-Flood Sin The Municipality of Jucuarán (El Salvador), *Natural Hazards Earth Syst. Sci.*, 7,445-465.
- 22- Enzel, Y, Lisa, L, E, Jane Meatiness - Gutter, R., Gwinn V., (1994): Paleo flood and DAM-Failure Flood on the Virgin River, Ata and Arizona, *Journal of Hydrology*, 153, 291-315.
- 23- Fenske J., (2003): Application of Paleo Hydrology to Corps Flood Frequency Analysis 28pp.
- 24- Gottesfeld. Allen S., (1996): British Columbia Flood scars: maximum flood –Stage Indicators, *Geomorphology*, Vol.14, Pp.319-325.
- 25- Gregory S., (2002): Caves and Potential Use in Paleo Flood Studies, Wiley Pub. Vol. 5, pp.329-343.
- 26- Hosking, J. R. M., Wallis, J.R, (1986): Paleo Flood Hydrology and Flood Frequency Analysis, 22, 543-550.
- 27- Kochel, R.C. Baker, V.R, (1982): Paleo Flood Hydrology Science New Series, 215, 353-361.
- 28- Lim, S. Y., (2001): Parametric Study of Riprap Failure Around Bridge, *Journal of Hydraulic Research*, 39(1), 61-72.
- 29- Luo, P., Takara, K., He, B., Duan, W., Nover, D., Tsugihiro, W., Nakagami, K., (2014): Assessment of Paleo-Hydrology and Paleo-Inundation Conditions: the Process, *Procardia Environmental Sciences*, 20, 747-752.
- 30- Phillips, J. D, (2002): Geomorphologic of Impact of Flash Flooding in a Forested Head Water Basin *Journal of Hydrology* 24(1), 269.
- 31- Robert D.J., (1990): Paleohydrologic Techniques Used to Define the Spatial Occurrence of Floods, *Geomorphology*, 3, 181-195.
- 32- Robert H., webb, Robert D., J, (2002): One-Dimensional Stemayion Techniques For Discharges of Paolo Floods and Historical Floods, *Geomorphology*, 5, 111-125.
- 34- Schraml, K., Kogeling B, Scheidel, Ch, (2013): Estimation of Debris Flood Magnitudes Based on Dendrogeomorphic Data and Semi Empirical Relationships, *Geomorphology*, 10 (6), 1-7.
- 35- Stofel, M., Bolls chewier, M., (2008): Tree-Ring Analysis in Natural Hazards Research- an Overview, *Hazards Earth System* 8, 187-202.
- 36- 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*, 5,11-19.
- 37- Webb, R. H., Bliney, J. B., Hyndam, D. W. (2002): Paleo Flood Hydrology on The Paryia River Southern Utah and Northern Arizona, U.S.A, *Ancient Floods Modern Hazards*, 5, 295-310.