

برآورد دبی حداکثر با استفاده از اندازه قلوه سنگ‌های بستر رودخانه در حوضه‌های زیرابه و قوردانلو

شهرام بهرامی: استادیار ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

بهاره ضیغمی: دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران*

وصول: ۱۳۹۰/۱/۳۰ پذیرش: ۱۳۹۱/۷/۲۲، صص ۶۰-۴۷

چکیده

عدم وجود و یا کمبود اطلاعات هیدرومتری در حوضه‌های آبخیز کشور، کاربرد روش‌های تجربی مناسب را برای برآورد حداکثر سیلاب الزامی می‌نماید. هدف این پژوهش ارزیابی میزان سیلاب حداکثر در دو حوضه آبخیز رودخانه اترک با استفاده از اندازه قلوه سنگ‌های بستر رودخانه می‌باشد. در این تحقیق حداکثر سیلاب بر اساس اندازه‌گیری قطر قلوه سنگ‌های بستر رودخانه در خروجی حوضه‌ها بدست آمد. در این راستا اطلاعات توپوگرافی، فیزیوگرافی و زمین‌شناسی از طریق نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ استخراج، و تجزیه و تحلیل آنها توسط سامانه اطلاعات جغرافیایی صورت گرفت. در این تحقیق به منظور برآورد سیلاب حداکثر در حوضه، ابتدا سرعت آب با استفاده از روش کاستا و جارت اندازه‌گیری شد و سپس بر اساس آن میزان دبی به دست آمد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که حداکثر سیلاب برآورد شده از روش کاستا به داده‌های واقعی نزدیکتر است که این موضوع کارایی مناسب روش کاستا (برآورد پیک سیلاب با استفاده از قطر قلوه سنگ‌های بستر رودخانه) را نشان می‌دهد. نتیجه این تحقیق همچنین نشان می‌دهد که با وجود اینکه حوضه قوردانلو کوچکتر از حوضه زیرابه است، مقدار دبی حداکثر محاسبه شده آن بالاتر از حوضه زیرابه است. به طور کلی بالا بودن سیلاب حداکثر در حوضه قوردانلو را می‌توان به وجود سازندهای نفوذناپذیر، تراکم زهکشی بالا و شکل تقریباً دایره‌ای آن نسبت داد.

واژه‌های کلیدی: ژئومورفولوژی، رودخانه اترک، قلوه سنگ‌های بستر رودخانه، حداکثر دبی

مقدمه

توده عظیمی از رسوبات ممکن است ته‌نشین شود (بیکر (Baker) و همکاران، ۱۹۸۷، ۶۵). رودخانه‌ها به عنوان پویاترین عوامل شکل‌دهنده زمین، متناسب با توان خود، مواد منفصل را از سطح مرتفع جدا نموده و در مسیر جریان جابه‌جا و در مناطق پست‌تر نهشته می‌کنند. تقریباً تمامی سطوح زمین از صحرای

برای ژئومورفولوژیست، هیدرولوژیست، رسوب‌شناس یا سایر علوم زمینی، سیلاب‌ها مهیج و مورد علاقه محسوب می‌شوند. مسیر و اندازه کانال‌ها تغییر می‌یابند، دشت‌های سیلابی و تراس‌ها فرسایش می‌یابند، سنگ‌های بزرگ می‌توانند جابجا شوند و

تینکلر^۷، ۱۹۹۷، ۱۸۳؛ هرگت^۸ و میرز^۹، ۲۰۰۹، (۱) مورد استفاده محققین قرار گرفته است. این پارامترها مرتبط با هیدرولوژی دیرینه سیلاب می‌باشند و شاخص‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرد که بیشتر در رابطه با مورفولوژی سطح زمین می‌باشند. اینبار^{۱۰} و اسچیک^{۱۱} (۱۹۷۹) بالاترین سرعت آب را بر اساس اندازه قطر ذرات بستر در رودخانه جردن در اسرائیل محاسبه کردند و به دنبال آن میزان دبی را تخمین زدند. راتبرن^{۱۲} در سال ۱۹۹۳ سیلابهای عظیم پلیستوسن در رودخانه بیگلاست آیداهو را بررسی کرده است. او در پژوهش خود با استفاده از اندازه قطعات سنگی میزان دبی را یک منطقه آتشفشانی محاسبه کرده است. فیشر^{۱۳} در سال ۲۰۰۴ در مطالعه خود قطعات سنگی رودخانه وارن در ایالت متحده را مورد مطالعه قرار داده است و سرعت انتقال این سنگها را با روش کاستا، ویلیامز و کاستر در جریانهای یخچالی محاسبه کرده است و با استفاده از معادله میننگ سیلاب مخرب را تخمین زده است. بن^{۱۴} و همکاران (۲۰۰۶) سیلابهای طغیانی و ساختار مخروطه افکنه‌ها در کالیفرنیا را مورد ارزیابی قراردادند. ضمن اینکه فرایندها و کورونولوژی انتقال رسوب در مخروطه افکنه‌های منطقه را بررسی کردند، ارتباط بین شکل سیستم یخچالی در بالای جریان و رسوبات منتقل شده در پایین جریان را مشخص کردند. بدین منظور سرعت انتقال رسوبات یخچالی را با استفاده از

عرضهای میانی گرفته تا اقلیم کاملاً مرطوب، تحت سیطره‌ی آبهای جاری و عملکرد فرایندهای فرسایشی ناشی از جریان آنهاست و این عوامل پویا، همراه با عوامل دیگر و در رابطه با سایر ویژگی‌های سطوح زمین، بخشهای مختلف را به گونه‌ای متنوع طراحی می‌کنند (زاهدی، بیاتی خطیبی؛ ۱۳۸۷، ۱۹). بسیاری از محققان سعی کرده‌اند روش‌های برآورد دبی پیک رودخانه‌ها را بدون تکیه بر داده‌های مشاهده‌ای دقیق باران توسعه دهند (بومری و همکاران، ۱۳۹۰، ۱۲۹؛ میرز^۱، ۱۹۷۹، ۵۹؛ فوکس^۲ و همکاران، ۲۰۰۷، ۱۷۳؛ گاردینر^۳ و داکمب^۴، ۱۹۸۳). این روش‌ها شامل ترکیبی از شناخت عوامل ژئومورفیکی (به عنوان مثال سطح داغ‌آب) و داده‌های رسوب‌شناسی (مثل اندازه قطعه سنگ) می‌باشند. نتایج به دست آمده از این روشهای تجربی می‌تواند با مدل‌های هیدرولیکی بدست آمده از داده‌های بارش و خصوصیات فیزیکی حوضه زهکشی مقایسه شود (دی‌وال^۵ و همکاران، ۲۰۱۰، ۱۶۲ و ۱۶۳). تاکنون روشهای مختلفی جهت تعیین اندازه دبی اوج سیلاب و شدت فرسایش و میزان رسوب تولیدشده ناشی از آن پیشنهاد شده است. در مطالعات حوضه‌های رسوبی و به خصوص تولید و حمل رسوبات و با توجه به حجم بالای داده‌های مورد بررسی، به ابزاری نیاز است که بتواند کلیه عوامل اجرای مدلها آسانتر دقیقتر و سریعتر صورت گیرد. از دیرباز تکنیکهای ژئومورفولوژیکی در رابطه مباحث هیدرولوژی (بنیتو^۶ و همکاران، ۲۰۰۴، ۶۲۳؛

7- Tinkler

8- Herget

9-Meurs

10-Inbar

11-Schick

12-Rathburn

13-Fisher

14-Benn

1-Mears

2- Fokes

3- Gardiner

4 -Dackombe

5- De Waele

6-Benito

سازندهای زمین‌شناسی و لندفرم‌های ژئومورفولوژی مؤثر در سیلاب می‌باشد.

موقعیت و ویژگیهای منطقه مورد مطالعه

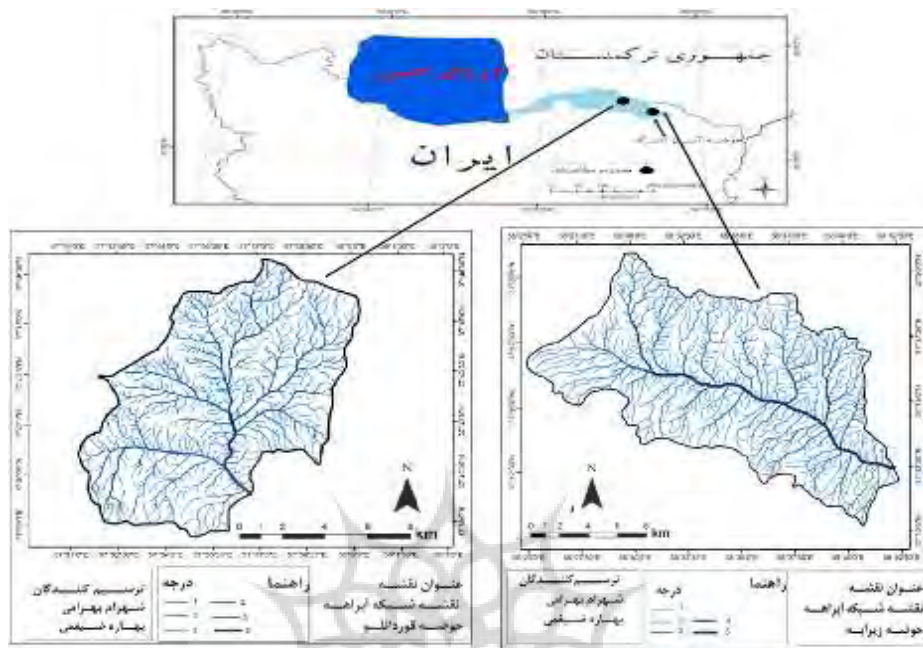
منطقه مورد مطالعه، شامل دو حوضه آبریز در رودخانه اترک می‌باشد. حوضه زیرابه با مساحت ۲۳۷.۷۳۱ کیلومتر مربع در جنوب ارتفاعات رشته‌کوههای کپه‌داغ- هزار مسجد در شمال شهرستان قوچان و در استان خراسان رضوی واقع می‌باشد. حوضه قوردانلو با مساحت ۱۲۰.۲۰۱ کیلومتر مربع در جنوب همین رشته‌کوهها در شمال شهرستان شیروان و در استان خراسان شمالی واقع می‌باشند (شکل شماره ۱ موقعیت حوضه‌های مورد مطالعه در ایران). زیرابه از سمت جنوب پس از عبور از دره‌های آهکی به دشت قوچان وارد می‌شود که پس از سیراب نمودن دشت به رودخانه اصلی اترک می‌پیوندد. همچنین حوضه قوردانلو پس از سیراب نمودن دشت شیروان به اترک می‌پیوندد. حوضه قوردانلو بخشی از حوضه رودخانه قلجق می‌باشد که این رودخانه همیشه در رابطه با احداث سد و مهار سیلاب مورد توجه بوده است (ولایتی و توسلی، ۱۳۷۰، ۳۲). از نظر هندسی حوضه زیرابه از "۳۷°۱۰'۱۲" تا "۳۷°۲۰'۵۴" عرض شمالی و "۵۸°۲۵'۰۸" تا "۵۸°۲۹'۵۹" طول شرقی و حوضه قوردانلو از "۳۷°۳۸'۳۷" تا "۳۷°۴۶'۴۵" عرض شمالی و "۵۷°۵۱'۱۸" تا "۵۸°۰۰'۲۲" طول شرقی واقع می‌باشند. مناطق یادشده از دید اقلیمی، مرطوب تا نیمه‌مرطوب می‌باشند و در تابستان هوایی به نسبت گرم و در زمستان، به ویژه در نقاط مرتفع، دمای هوا بسیار پایین است. میانگین ماهیانه متوسط دمای روزانه در ایستگاه قوچان ۱۲.۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین مجموع بارندگی سالانه آن ۳۱۳.۱ میلیمتر

سرعت کاستا و میرز در سطح مخروطه افکنه محاسبه کردند. بالستورس کانوواس^۱ و همکاران (۲۰۱۰) توسط مدل‌های هیدرولیکی دو بعدی و شاخص‌های دندروژئومورفولوژی، توانایی آنالیز حلقه - درخت در پالئوهیدرولوژی و ارزیابی خطر سیل در حوضه‌های آبخیز را به اثبات رساندند. آن‌ها با استفاده از شواهد دندروژئومورفولوژی دبی اوج ناگهانی را تخمین زدند. در بررسی دیگر رضایی مقدم و اسماعیلی (۱۳۸۴) برای تخمین دبی در حوضه‌ی رئیس کلا با استفاده از شاخص‌های دیرینه تراز و روش‌های گیاهی از چند مقطع نقشه‌برداری کرده و در بازه‌های مختلف تنش برشی، قدرت رود و سایر پارامترهای مورد نیاز با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS محاسبه کردند، سپس آثار فرسایشی و اشکال رسوبی ناشی از سیلاب را بررسی کردند. حسین‌زاده و جهادی طرقي (۱۳۹۱) از طریق رسوبات آبهای راکد و با استفاده از فرمولهای رایج مشخصات سیلابهای قدیمی را در رودخانه درونگر خراسان شرح داده‌اند. از آنجاییکه خروجی حوضه زیرابه و قوردانلو مستقیماً به سد تبارک و بارزو منتهی می‌شود، بنابراین به منظور مدیریت صحیح منابع آب و خاک این حوضه‌ها و شناخت توان تولیدی آنها در فرایند تولید رواناب، اطلاع از میزان فرسایش و سیلاب در سطح حوضه الزامی می‌باشد.

هدف این پژوهش، استفاده از اندازه قلوه سنگهای بستر رودخانه (در خروجی حوضه‌ها) به منظور برآورد میزان سیلاب حداکثر و بررسی نقش

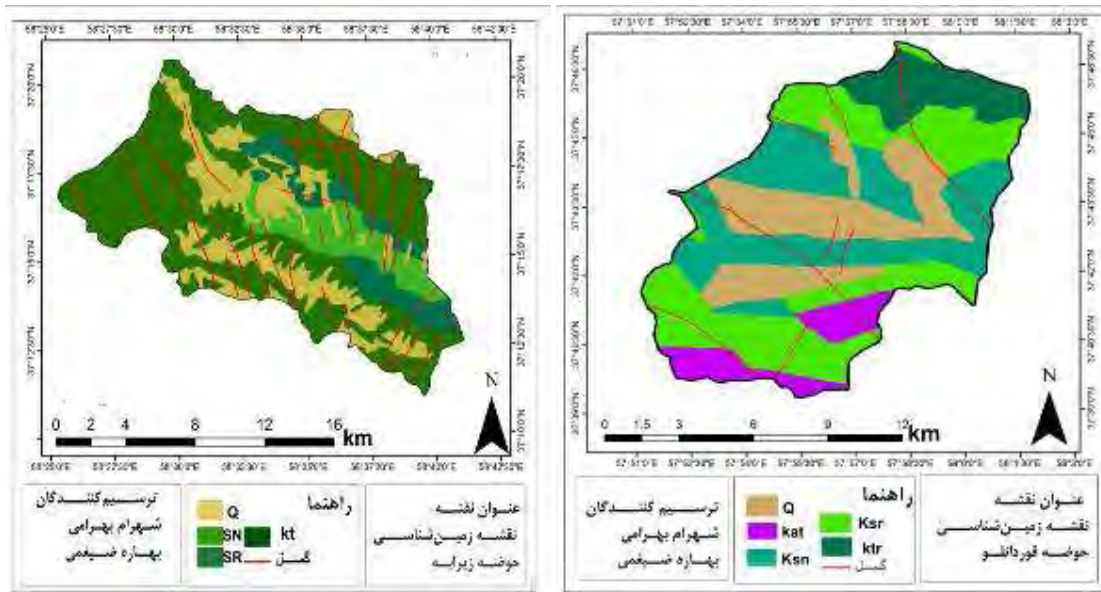
¹-Ballesteros kanovas

می‌باشد. همچنین میانگین سالانه دمای شیروان ۱۳.۴ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه آن ۲۱۰ میلیمتر می‌باشد.



شکل شماره ۱- موقعیت نسبی و هندسی حوضه‌های مورد مطالعه

از نظر لیتولوژی، رسوبات کواترنری (Q)، ۲۵٪، سازند تیرگان (KT) (شامل سنگ‌آهک)، ۶۰٪، سرچشمه (SR) (شامل مارن خاکستری و شیل)، ۷.۳۵٪ و سنگانه (SN) (شامل شیل با میان‌لایه‌هایی از سنگ‌ماسه)، ۷.۶۵٪ مساحت حوضه زیرابه را تشکیل می‌دهد. در حوضه قوردانلو، سنگانه (KSN)، ۲۸.۲۵٪، سرچشمه (KSR)، ۳۴.۷۵٪، کواترنری (Q)، ۲۰٪، آیتامیر (KAT) (شامل ماسه‌سنگ و شیل گلاکونیت‌دار)، ۹.۷۵٪ و تیرگان (KTR)، ۷.۲۵٪ مساحت حوضه را به خود اختصاص می‌دهد (اشکال شماره ۲ و ۳). جهت شیب عمومی از طرفین دامنه‌ها به سمت خط‌القعر و بستر رودخانه اترک است. شیب متوسط وزنی حوضه زیرابه ۱۲.۲ درصد و حوضه قوردانلو ۲۰.۷ درصد بدست آمده است. آبراهه اصلی حوضه زیرابه در جهت شمال‌غرب به جنوب‌شرق جاری می‌باشد. آبراهه اصلی حوضه قوردانلو با جهت شمالی جنوبی با روندی غیرمستقیم جاری می‌باشد.



شکل شماره ۳- نقشه زمین‌شناسی حوضه قوردانلو

شکل شماره ۲- نقشه زمین‌شناسی حوضه زیرابه

شرایط آب‌وهوای منطقه، می‌تواند تصویری نسبتاً دقیق از کارکرد کمی و کیفی سیستم هیدرولوژی آن ارائه نماید و همچنین اطلاعات با ارزشی برای شناخت بهتر نزولات جوی، وضعیت آبدهی، سیل‌خیزی و رسوب‌گذاری حوضه ارائه دهد. این مشخصات در جدول (۱) ارائه شده است.

به طور کلی خصوصیات فیزیوگرافی حوضه‌های مورد مطالعه مستقیماً بر روی عوامل مختلف از جمله رواناب سالانه، حداکثر سیلاب لحظه‌ای، فرسایش خاک و تولید رسوب اثر می‌گذارد و به طور غیرمستقیم بر روی وضعیت اکولوژی، پوشش گیاهی و اقلیم حوضه تاثیر دارد. آگاهی از خصوصیات فیزیوگرافی یک حوضه، همراه با داشتن اطلاعاتی از

جدول شماره (۱): مشخصات فیزیوگرافی حوضه‌های مورد مطالعه

اختلاف ارتفاع (m)	ارتفاع بلندترین نقطه (m)	شیب متوسط (درصد)	تراکم زهکشی (D _{۵۰})	طول بزرگترین آبراه (km)	ضرایب شکل			محیط (km)	مساحت (km ²)	مشخصات فیزیوگرافی نام حوضه
					ضریب گردی میلر	ضریب هورتن	ضریب گراویلیوس			
۶۴۰	۲۱۶۰	۱۲.۲	۲.۵	۲۸	۰.۴۴	۰.۳۰	۱.۴۸	۸۱.۹۷۴	۲۳۷.۷۳۱	زیرابه
۱۱۶۰	۳۶۸۰	۲۰.۷	۳.۶۹	۱۶	۰.۵۸	۰.۴۶	۱.۲۹	۵۰.۷۳۳	۱۲۰.۲۰۱	قوردانلو

شکل آبراه‌های اصلی به صورت مستقیم می‌باشد و سایر آبراه‌های درجه پایین به صورت مستقیم وارد آن می‌شوند.

شکل حوضه قوردانلو نسبتاً گرد می‌باشد و سایر آبراه‌ها با شیب تند وارد آبراه اصلی می‌شوند. اما حوضه زیرابه، حوضه‌ای است نسبتاً کشیده و رودخانه اصلی در آن از پیچ‌وخم کمتری برخوردار است و

مواد و روش‌ها

در این تحقیق ابتدا نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی موجود که به صورت رستری می‌باشند، در محیط GIS رقومی شدند. سپس از نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های لازم از جمله نقشه طبقات ارتفاعی، شیب، زمین‌شناسی و شبکه زهکشی استخراج شد. به منظور بررسی دقیق ویژگی‌های مورفومتری شبکه زهکشی، خطوط منحنی میزان با اختلاف ۲۰ متر رقومی شد و سپس شبکه آبراه‌ها بر روی تمام مسیره‌های قابل رؤیت بر روی خطوط توپوگرافی ترسیم شدند. با استفاده از همین نقشه‌های مبنای تجزیه و تحلیل خصوصیات حوضه‌های مورد مطالعه پرداخته شد. به منظور برآورد حداکثر سیلاب خروجی در حوضه‌ها، ابتدا داده‌های مربوط به مورفومتری کانال از جمله مساحت مقطع عرضی، محیط مرطوب، شعاع هیدرولیک، شیب کانال محاسبه شد. سپس سرعت آب در کانال با استفاده از روش‌های سرعت کاستا^۱ و جارت^۲ برآورد شد. روش محاسبه سرعت کاستا مبتنی بر اندازه‌گیری قطر ذرات بستر رودخانه و سرعت جارت مبتنی بر اندازه‌گیریهای مورفومتری کانال می‌باشد. با در اختیار داشتن مساحت و سرعت، میزان دبی اوج محاسبه شد. سرعت جریان تحت تأثیر شیب، ناهمواری بستر و شکل مقطع عرضی کانال رود است. روش‌های هیدرولیکی و ژئومورفولوژی برای محاسبه سرعت مورد استفاده قرار می‌گیرند. در برخی از روابط هیدرولیک، اندازه ذرات به عنوان متغیر مستقل مورد

استفاده قرار می‌گیرد. اگر رسوب منشأ رودخانه‌ای داشته باشد پس این فرض اساسی وجود دارد که بزرگترین ذرات در بستر رودخانه نمایانگر مناسب حداکثر جریان در طی سیلاب می‌باشند (جانسون^۳ و واربروتان^۴، ۲۰۰۲، ۹۵۲). در مطالعات هیدرولوژی سرعت از روابط مختلف به دست می‌آید؛ در اینجا برای محاسبه سرعت از روش تجربی کاستا و همچنین جارت، روشهایی که برآورد مناسب و نزدیکی را از میزان سرعت واقعی به ما می‌دهد، استفاده شده است.

در بعضی از مقاطع عرضی متوسط قطر بزرگترین سنگهای انتقال داده شده توسط سیلاب به منظور برآورد میانگین سرعت آب سیلاب در مدت دبی اوج اندازه‌گیری می‌شوند. بررسی کاستا (۱۹۸۳، ۹۹۱) نشان داد که سرعت آب سیلاب که قادر است بزرگترین سنگ‌ها را جابجا کند، با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

معادله (۱)

$$V: 0.18 (d)^{0.487}$$

که در رابطه فوق V ، میزان سرعت بر حسب متر بر ثانیه؛ d ، متوسط محور دوم (b) از بزرگترین سنگ‌های انتقال داده شده توسط سیلاب در محل مقطع کانال بر حسب میلیمتر می‌باشد. شکل شماره ۴ محور b یا محور عرضی قلوه سنگها را نشان می‌دهد. در معادله ۱ ذرات بین ۵۰ و ۳۲۰۰ میلیمتر استفاده می‌شود (کاستا، ۱۹۸۳: ۹۹۱؛ هاگ^۵ و همکاران، ۲۰۱۰، ۱۸۸ و جانسون و واربروتان، ۲۰۰۲، ۹۵۲). بنابراین، در این

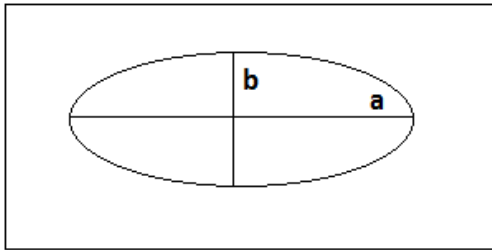
³-Johnson

⁴-Warburton

⁵-Huge

¹-Costa

²-Jarret



مطالعه در بستر رودخانه در خروجی هر حوضه تعداد ۲۴ قلوه سنگ از بزرگترین قلوه سنگهای بستر رودخانه برداشت شد (اشکال شماره ۵ و ۶). سپس میانگین محور دوم (b) این قطعات محاسبه شد (جدول ۲).

شکل شماره ۴- تصویری شماتیک از محور دوم (b) قلوه سنگ

جدول شماره (۲) میانگین محور دوم (b) قلوه سنگهای برداشت شده از بستر رودخانه در خروجی حوضه‌های مورد مطالعه

نمونه از محور دوم (b) قطعات سنگی (mm) در حوضه قوردانلو				نمونه از محور دوم (b) قطعات سنگی (mm) در حوضه زیرابه			
۴۲۰	۱۳	۱۴۹	۱	۴۰	۱۳	۲۴۵	۱
۱۲۰	۱۴	۷۸۲	۲	۱۰۵	۱۴	۴۰	۲
۱۰۰	۱۵	۶۲۵	۳	۱۰۰	۱۵	۱۵۰	۳
۱۱۲.۵	۱۶	۶۵۲	۴	۵۵	۱۶	۶۰	۴
۱۸۴	۱۷	۶۲۵	۵	۴۵	۱۷	۶۰	۵
۶۰	۱۸	۱۵۲	۶	۵۰	۱۸	۸۰	۶
۵۳	۱۹	۷۲۵	۷	۴۰	۱۹	۴۰	۷
۷۵	۲۰	۳۰۰	۸	۳۵	۲۰	۴۰	۸
۳۰	۲۱	۳۸۰	۹	۲۷	۲۱	۱۶۵	۹
۴۵	۲۲	۱۹۴	۱۰	۳۰	۲۲	۶۲.۵	۱۰
۲۲۵	۲۳	۵۶۰	۱۱	۸۲	۲۳	۴۵	۱۱
۵۵	۲۴	۳۰۸	۱۲	۴۲.۵	۲۴	۷۸	۱۲
۳۴۴.۶			مجموع:	۷۱.۵			مجموع:

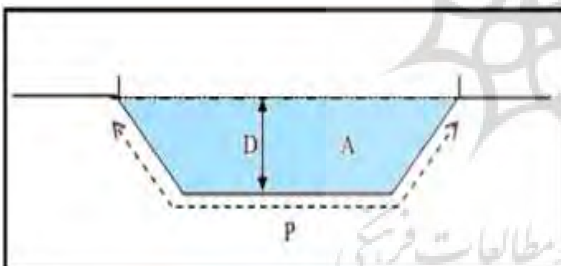


شکل شماره ۵- تصاویری از رسوبات و قطعات سنگی بستر رودخانه زیرابه



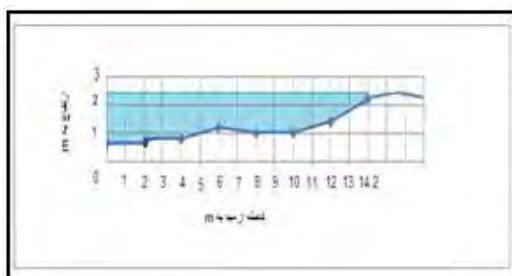
شکل شماره ۶- تصاویری از رسوبات و قطعات سنگی بستر رودخانه قوردانلو

منتقل می‌شوند. بنابراین کانال‌ها یک مکان منطقی و مؤثر به منظور بررسی تاثیرات ژئومورفیک نیرو، مقاومت، فرسایش، انتقال و رسوبگذاری محسوب می‌شوند (بیکر و همکاران، ۱۹۸۷، ۶۵).

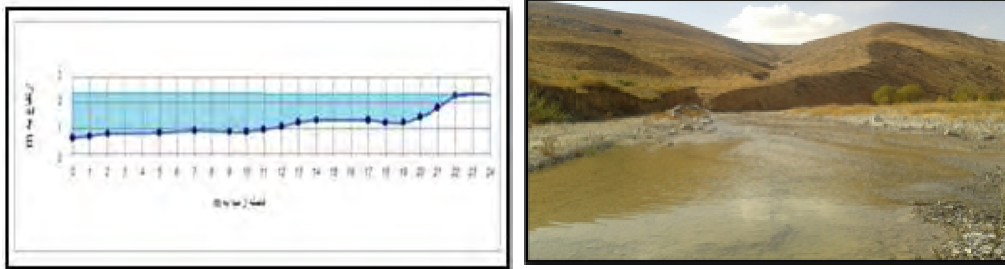


شکل شماره ۷- برخی شاخص‌های هیدرولیک کانال‌های باز

در روش جارت به منظور محاسبه سرعت آب پارامترهای مرتبط با کانال رودخانه مورد نیاز است. هدف مورفومتری کانال بررسی ارتباط ویژگی‌های شکل کانال با متغیرهای هیدرولوژیکی یا فرایندهای رودخانه‌ای است که به راحتی می‌تواند از طریق ویژگی‌های مورفومتری نسبتاً ایستا کانال اندازه‌گیری شود. به عنوان مثال از طریق ویژگی‌های مورفومتری کانال رود می‌توان داده‌های هیدرولوژیکی در حوضه‌های بدون ایستگاههای هیدرومتری را به دست آورد. کانالهای جریان از جمله پویاترین مؤلفه چشم‌انداز محسوب می‌شوند. از طریق آنها، انرژی و توده (جریان شامل رسوبات معلق غیرقابل حل و جامد) از یک موقعیت چشم‌انداز به موقعیتی دیگر



شکل شماره ۸) تصویر مقطع و نمودار عرضی رودخانه زیرابه



شکل شماره ۹- تصویر مقطع و نمودار عرضی رودخانه قوردانلو

جدول ۳- شاخص‌های هیدرولیک در حوضه‌های مورد مطالعه

قوردانلو	زیرابه	شاخص‌های هیدرولیک کانال در حوضه‌ها
۲۵.۲	۲۰.۴	مساحت مقطع عرضی به مترمربع (A)
۲۳.۵	۱۷	محیط مرطوب به متر (P)
۱.۰۷۲	۱.۲	شعاع هیدرولیک به متر (R)
۰.۰۱۲	۰.۰۰۲	مقدار شیب به درصد (S)

جایگزینی در فرمول، میزان سرعت آب به دست می‌آید (جارت، ۱۹۹۰، ۱۸۱). این سرعت برابر با سرعتی است که موانع سنگی را جابجا می‌کند. در حوضه قوردانلو به دلیل وجود سنگهای بزرگتر، نسبت به حوضه زیرابه سرعت آب بیشتر می‌باشد. مقدار این شاخص‌ها در جدول (۴) ارائه شده است.

میزان سرعت از رابطه زیر برآورد می‌شود (دی‌وال و همکاران، ۲۰۱۰، ۱۶۸)

$$\text{معادله شماره (۲)} \\ V: 3.17 R^{0.83} S^{0.12}$$

که در رابطه فوق V ، میزان سرعت بر حسب متر بر ثانیه؛ S شیب به درصد، R شعاع هیدرولیک به متر (m) است. پس از محاسبه شاخص‌های مورد نظر و

جدول شماره ۴- برآورد میزان سرعت بر حسب روابط کاستا و جارت

قوردانلو	زیرابه	نام حوضه برآورد میزان سرعت بر حسب روابط کاستا و جارت (m/s)
۳۰.۹۷	۱.۴۳	کاستا
۱.۹۷	۱.۷۴	جارت

$$\text{معادله شماره (۴)} \quad Q: 3.17 R^{0.83} S^{0.12} \cdot A$$

که در آن Q : دبی بر حسب مترمکعب بر ثانیه؛ V : سرعت آب بر حسب متر بر ثانیه، A : مساحت بر حسب مترمربع است. دبی حداکثر برآورد شده به دو روش کاستا و جارت در جدول (۵) ارائه شده است. مقایسه دبی برآورد شده با دبی مشاهده‌ای در حوضه

بعد از محاسبه سرعت و با در اختیار داشتن مساحت مقطع در حوضه‌ها، مقدار دبی حداکثر با استفاده از معادله مقابل بدست آمد (کاستا، ۱۹۸۳، ۹۹۹؛ هاگ و همکاران، ۲۰۱۰، ۱۸۹؛ دی‌وال و همکاران، ۲۰۱۰، ۱۶۸ و جانسون و واربروتان، ۲۰۰۲: ۹۵۳).

$$\text{معادله شماره (۳)} \quad Q: 0.18 (d)^{0.487} \cdot A$$

محاسبه‌ای به روش کاستا به داده‌های مشاهده‌ای نزدیک تر است.

زیرابه در تاریخ ۱۳۹۰/۲/۱۴ و در حوضه قوردانلو در تاریخ ۱۳۸۸/۸/۱۳ (شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان شمالی و رضوی) نشان می‌دهد که داده‌های

جدول شماره ۵- برآورد میزان دبی بر حسب روابط مختلف و مقدار سیلاب مشاهده‌ای

نام حوضه	زیرابه	قوردانلو
برآورد میزان دبی بر حسب روابط مختلف (m ³ /s)		
مقدار سیلاب مشاهده‌ای	۲۹.۴۳ (تاریخ ۱۳۹۰/۲/۱۴)	۸۰.۶۴ (تاریخ ۱۳۸۸/۸/۱۳)
کاستا	۲۹.۱۷۲	۷۸.۰۴۴
جارت	۳۵.۶۸	۴۹.۶۴



شکل شماره ۱۰- آثار سیلاب در بستر رودخانه قوردانلو. الف) پادگانه به ارتفاع ۸ متر در منطقه. ب) ایجاد دره‌های عمیق توسط رودخانه

بحث و نتیجه‌گیری

امر به تخلیه بیشتر رواناب در حوضه منجر می‌شود. بالعکس، حوضه زیرابه، حوضه‌ای کم‌شیب‌تر و دارای اختلاف ارتفاع کمتری می‌باشد و بنابراین میزان رواناب آن کمتر می‌باشد. از خصوصیات بارز آبهای جاری در حوضه‌ها این است که در هنگام جاری شدن بر روی زمین، گرایش به سمت پایین‌دست دارند. به واسطه‌ی این ویژگی، آبهای جاری در مسیر خود رسوبات و قلوه سنگها را فرسایش می‌دهند و با خود حمل می‌کنند. حال اگر به واسطه عواملی چون شیب، اختلاف ارتفاع و جنس رسوبات، قدرت و سرعت رود تغییر کند؛ سیلاب قادر است سنگهای

جهت برآورد حداکثر سیلاب با استفاده از اندازه قلوه سنگهای بستر رودخانه در خروجی حوضه‌ها، ابتدا دو حوضه با مشخصات فیزیوگرافی متفاوت در حوضه آبریز اترک انتخاب شد. میزان شیب متوسط حوضه قوردانلو و زیرابه به ترتیب ۲۰.۷ و ۱۲.۲ درصد می‌باشد. رودخانه‌هایی که در دره‌های پرشیب جریان دارند، از انرژی بالایی برخوردارند. اگر این مناطق از پوشش گیاهی ناچیزی برخوردار باشند، تولید رواناب در آنها افزایش خواهد یافت. حوضه قوردانلو، حوضه‌ای پرشیب با اختلاف ارتفاع زیاد می‌باشد. این

این قطعات سنگی می‌باشد. بزرگتر بودن میانگین محور b قلوه سنگها در بستر رودخانه در خروجی حوضه قوردانلو نشان دهنده بالابودن قدرت و سرعت آب است. بالا بودن پیک سیلاب در حوضه قوردانلو (جدول ۵) این موضوع را نشان می‌دهد. بررسی جدول ۵ نشان می‌دهد که حداکثر سیلاب برآورد شده از روش کاستا به داده‌های واقعی نزدیکتر است که این موضوع کارایی مناسب روش کاستا (برآورد پیک سیلاب با استفاده از قطر قلوه سنگهای بستر رودخانه) را نشان می‌دهد. داده‌های جدول ۵ همچنین نشان می‌دهد که با وجود اینکه حوضه قوردانلو کوچکتر از حوضه زیرابه است (جدول ۱)، مقدار دبی حداکثر آن بالاتر از حوضه زیرابه است. وضعیت مذکور (سیل خیزی بیشتر حوضه قوردانلو نسبت به حوضه زیرابه) تا حدود زیادی به ویژگیهای زمین شناسی و ژئومورفولوژی حوضه‌ها مربوط می‌شود.

بررسی زمین شناسی حوضه‌ها نشان می‌دهد که ۶۰ درصد از حوضه زیرابه را سازند آهکی تیرگان تشکیل می‌دهد در حالی که سازند مذکور تنها ۷.۲ درصد از مساحت حوضه قوردانلو را تشکیل می‌دهد. سازندهای موجود در بخش اعظم حوضه قوردانلو از سازندهای نفوذناپذیری مانند شیل، مارن تشکیل شده است. وجود شرایط سازند زمین شناسی یا نوع سنگ، با تولید رواناب و سیلاب حوضه‌ها در ارتباط است. در حوضه زیرابه به علت مساحت بیشتر سازندهای آهکی مستعد ایجاد اشکال کارستی، از میزان جریانات سطحی کاسته شده و تراکم زهکشی کاهش می‌یابد. تراکم زهکشی پائین‌تر حوضه زیرابه (۲.۵) نسبت به حوضه قوردانلو (۳.۶۹) نشان دهنده تولید کمتر رواناب و نفوذ بیشتر رواناب به لایه‌های زیر زمینی در

بزرگتری را با خود حمل کند. در این تحقیق میزان سرعت آب با استفاده از روش کاستا و جارت محاسبه شد. سپس با در اختیار داشتن مساحت مقطع، میزان دبی محاسبه شد. برای اولین بار کاستا با توجه به داده‌های تجربی سیلابها و با میانگین‌گیری از سرعت‌های مختلف آب فرمولی پیشنهاد داد که سرعت آب از میزان جابجایی سنگها تخمین زده می‌شود. بعد از آن محققین زیادی با استفاده از این فرمول کاستا سرعت جریان آب را در مناطق مختلف محاسبه کردند. این فرمول طبق بررسیهای کاستا به اثبات رسیده است و با مقایسه داده‌های تجربی دیگر کارایی آن مشخص می‌باشد. محققین میزان سرعت را با فرمولهای مختلف محاسبه کرده‌اند تا مشخص شود کدام روش نزدیکتر به واقعیت است و با هم مقایسه کرده‌اند. روش سرعت کاستا می‌تواند با روش مقطع عرضی رودخانه (جارت) مقایسه شود تا صحت آن بررسی شود. در این پژوهش از دو روش کاستا و جارت استفاده شده است و نتایج این دو با داده‌های مشاهده‌ای مقایسه شده است. همانگونه که نتایج جدول (۵) نشان می‌دهد، قطر ذرات بستر در رودخانه دارای کارایی مناسبی جهت تعیین حداکثر سیلاب حوضه‌ها می‌باشد. بر اساس جدول مذکور، نتایج برآورد شده از روشهای کاستا و جارت به مقادیر واقعی نزدیک است. با این وجود، مقادیر واقعی پیک سیلاب به روش کاستا نزدیکتر است.

روش کاستا (۱۹۸۳) مبتنی بر اندازه‌گیری قطر ذرات بزرگ بستر رودخانه می‌باشد. با توجه به نمونه‌های قطعات سنگی برداشت شده در بستر رودخانه، و تأثیری که در میزان سرعت سیلاب دارد، مشخص می‌شود که قدرت و سرعت سیلاب تابعی از اندازه

زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و مورفومتری حوضه‌ها نقش مهمی در تفاوت سیلاب حداکثر حوضه‌ها ایفا می‌نمایند.

پیشنهاد می‌شود جهت بررسی کارایی روش‌های کاستا و جارت، داده‌های واقعی و برآورد شده، در حوضه‌های بیشتری بررسی و مقایسه شود.



شکل شماره (۱۱) سازند نفوذناپذیر و ایجاد فرسایش بدلندی در حوضه قوردانلو



شکل شماره (۱۲) ایجاد درز و شکاف و نفوذپذیری سنگ آهک در حوضه زیرابه

منابع

بومری، محمد؛ رادفر، شهباز؛ نهنانی‌فر، عبدالباسط؛ مهدوی، قاسم (۱۳۹۰)، شناسایی پهنه‌های سیلابی و ویژگی‌های فیزیوگرافی و کمی حوضه‌های

حوضه زیرابه است. در حالیکه در نواحی نفوذناپذیر مثل حوضه قوردانلو، شبکه‌های زهکشی از تراکم قابل توجهی برخوردار بوده که این موضوع بالا بودن رواناب و دبی حداکثر را در حوضه مذکور توجیه می‌کند.

همانگونه که شکل ۱۱ و ۱۲ نشان می‌دهند، اشکال ژئومورفولوژی غالب حوضه‌ها نیز دارای تفاوت‌های اساسی با هم می‌باشند. وجود سازندهای نفوذناپذیر در حوضه قوردانلو باعث ایجاد فرسایش بدلندی شده است که نشان دهنده سیل خیزی و تولید بیشتر رواناب در این حوضه است در حالی که در حوضه زیرابه وجود لندفرمهای کارستی اشکال غالب حوضه بوده که این موضوع در کاهش رواناب حوضه نقش مهمی ایفا نموده است.

بنظر می‌رسد که شکل حوضه‌ها نیز تاثیر زیادی در تولید سیلاب حداکثر حوضه داشته باشد. بررسی داده‌های مربوط به شکل حوضه‌ها (جدول ۱) نشان دهنده شکل دایره‌ای تر حوضه قوردانلو می‌باشد. با توجه به اینکه در حوضه‌های دایره‌ای رواناب شبکه‌های زهکشی در یک زمان به خروجی حوضه می‌رسند، زمان تمرکز حوضه‌ها کاهش یافته و پیک سیلاب بیشتر خواهد بود. بنابراین شکل تقریباً دایره‌ای حوضه قوردانلو نقش مهمی در افزایش سیلاب حداکثر این حوضه ایفا نموده است. به طور کلی می‌توان مقدار بالاتر پیک سیلاب در حوضه قوردانلو (جدول ۵) را به وجود سازندهای نفوذناپذیر، تراکم زهکشی بالاتر و شکل تقریباً دایره‌ای آن نسبت داد.

از مجموع مطالب فوق می‌توان نتیجه گرفت که اولاً روش کاستا در برآورد حداکثر سیلاب دارای کارایی مناسبی در حوضه‌های مطالعاتی است، ثانياً ویژگی‌های

- dendrogemorphicpalaestage indicators, Hydrological processes. DOL:10.1002/hyp.7888.
- Benito,G; Lang,m; barriendos,m; carmentllasat,m ; frances,f; ouada,t; thornycraft,v; enzel,y; bardossy,a; coeur,d; bobee,b (2004),Use of systematic paleoflood and historical data for the improvement of flood risk estimation review of scientific methods.natural hazard 31:623-643, kluwer academic publisher. printed in the netherland.
- Benn. D.I , Owen. L.AI,Finkel R.C, Clemmense. S (2006), Pleistocene lake outburst floods and fan formation along the eastern Sierra Nevada, California: implications for the interpretation of intermontane lacustrine records. Quaternary Science Reviews 25 (2006) 2729–2748.
- Costa. E.J (1983), Paleohydrolik reconstruction of flash flood peaks from boulder deposits in the Colorado front range. Geological society of America bulletin, v, 94, p. 986-1004.
- De Waele.J, Martina.M.L.V, Sanna.L, Cabras.s, Cossu.Q.A (2010), Flash flood hydrology in karstic terrain: Fluuminedu canyon, central- east Sardinia (2010), Geomorphology 120 162-173.
- Fisher, T.G (2004),River Warren boulders, Minnesota, USA: catastrophic paleoflow indicators in the southern spillway of glacial Lake Agassiz. BOREAS 33. Vol. 33, pp. 349–358. Oslo. ISSN 0300-9483.
- FookesP.G.,MarkLee.E, GriffithsJ.S (2007),Engineering Geomorphology, whittles, Apr 2,2007- 279 pages.
- Gardiner, V and Dackombe, R (1983),Geomorphological Field Manual, Allen and Unwin, London.254 PP.
- Haug.E.W, Krall.E.R, Sewall.J.O, Dijk.M.V, Chong Diaz.G (2010),Climatic and geomorphic interactions on alluvial fans in the Atacama Desert, Chile, Geomorphology 121 (2010) 184-196.
- Hergert. J; meurs, H(2009), Reconstructing peak discharges for historicflood levels in the city of Cologne, Germany, Global and Planetary -01521; No of Pages 9.
- Inbar, M and Schick (1997),Bedloadd transport associated with high stream power, Jordan River, Israel. Proc. Natl. Acad. Sci. USA
- آبریز دامن با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش ازدور، فصلنامه علمی پژوهشی جغرافیا و توسعه شماره ۲۲، اردیبهشت ۹۰، صص ۱۲۹-۱۴۶.
- حسین زاده، رضا؛ جهادی طرقی، مهناز (۱۳۹۱)، هیدرولوژی سیلاب‌های قدیمی با استفاده از رسوبات آب راکد (مطالعه‌ی موردی: رودخانه‌ی درونگر خراسان)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. ۱. ۱۳۹۱؛ ۱ (۱): ۸۳-۱۰۴.
- رضایی مقدم، محمدحسین و اسماعیلی، رضا (۱۳۸۴)، بررسی آثار ژئومورفولوژیکی سیلاب در حوضه‌ی رئیس کلا: البرز شمالی، فصلنامه مدرس علوم انسانی - برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره نهم - شماره چهارم (پیاپی ۴۳) صص ۱۸ - ۱.
- زاهدی، مجید و بیاتی خطیبی، مریم (۱۳۸۷)، هیدرولوژی، انتشارات سمت، چاپ اول.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح جمهوری اسلامی ایران (۱۳۶۵)، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ قوچان، اینچه کیکان، لوجلی و زیدر.
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران (۱۳۷۵)، نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگوش قوچان و کاکلی.
- ولایتی، سعیدالله و توسلی، سعید (۱۳۷۰)، منابع و مسائل آب استان خراسان، انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ اول.
- Baker.V.R, Chochel.R.C, Patton.P.C (1987),Flood geomorphology, New York: John Wiley.-Ballesteros Canovas,J.A ;Eguibar,M; Bodgeue,J.M ;Diez-Herrero,A; Stoffel,M; Gutierrez-perez,I (2010),Estinating flash flood discharge in an ungauged mountain catchment with 2D hydraulic models and

- Mears, A.I., (1979), Flooding and sediment transport in a small alpine drainage basin in Colorado. *Geology* 7, 53-57.
- Rathburn. S.L, (1993), Pleistocene cataclysmic flooding along the Big Lost River, east central Idaho, *Geomorphology*, 8 (1993) 305-319.
- Tinkler. K.j, (1997), Critical flow in rockbed streams with estimated values for Manning's n. *Geomorphology* 20 (1997) 147-164.
- Vol. 76, No. 6, pp. 2515-2517, June 1979. *Geology*.
- Jarrett, R.D., (1990), Paleohydrologic techniques used to define the spatial occurrence of floods. *Geomorphology* 3, 181-195.
- Johnson.R.M, Warburton.J (2002), flooding and geomorphic impact in a mountain torrent: raise beck, central lake district, England. *Earth surface processes and landforms* 27, 945-969.



Estimating the peak discharge by means of boulder size of river beds of Zirabe and Qoordanloo catchments

Sh. Bahrami, B. Zeyghami

Received: April 19, 2011/ Accepted: October 13, 2012, 15-18 P

Extended Abstract

1- Introduction

Rivers, based on their power, erode loose materials from higher elevations, transport and finally deposit them in lowlands. Extensive parts of earth surface are influenced by surface runoff and their erosional operations. These dynamic factors, based on other characteristics of land surface, affect differentially different parts of land surfaces. Many researchers have tried to establish some methods to estimate peak discharges of rivers without relying on precise observed data of rainfall. These methods include combination of geomorphological factors (i.e. high water mark) and sedimentological data (i.e. boulder size). The lack or shortage of hydrometric formations and statistics in drainage basins of country necessitate the use of suitable experimental methods for estimating maximum flood. The aim of this research is to estimate the rate of peak flood by means of boulder size of river bed (at catchments outlet) and to

evaluate the effects of geological formations and geomorphological landforms on flood of Zirabe and Qoordanloo catchments.

2-Methods

In this research, required maps such as height classes, slope, geology and drainage system were extracted based on geological and topographical maps in ARC Map software. The analysis of morphometric characteristics of studied basins has been carried out based on above-mentioned maps. To estimate peak flood at basins outlets, first, data associated with channel morphometry such as area, cross section, wetted perimeter, hydraulic radius and channel were measured. Then water velocity in channel were estimated based on Costa (1983) and Jarrett (1990) methods. The Costa method of velocity estimation is based on the measurement of boulder size of river bed. To estimate flood velocity based on Costa method, the 24 boulders of the largest ones in every river bed at catchment outlet were obtained. Then the mean of b axis (width) of boulders were calculated. Then the flood velocity was obtained based on the following equation:

$$V = 0.18 (d)^{0.487}$$

Author(s)

Sh. Bahrami
Assistant Professor of Geomorphology, University of Hakim Sabzevari, Sabzevar, Iran

B. Zeyghami(✉)
MA. Student of Geomorphology, University of Hakim Sabzevari, Sabzevar, Iran
E-mail: : bahare.zeyghami@yahoo.com

Where V is velocity in cubic meter per second, d is the mean of b axis of boulders. The velocity in Jarrett method is calculated based on the following method:

$$V:3.17 R^{0.83} S^{0.12}$$

Where V is velocity in cubic meter per second, s is slope of channel I percent, R is hydraulic radius in meter. The peak discharge of flood was calculated from multiplication of channel cross section area and velocity.

3. Discussion

Results of this study reveal that peak discharges estimated from Costa method are respectively 17.29 and 78.04 m³/s in Zirabe and Qoordanloo catchments. The peak discharges estimated from Jarrett method are respectively 35.68 and 49.64 m³/s in Zirabe and Qoordanloo catchments. Data show that the estimated peak discharge obtained from Costa method are closer to observed data implying that Costa method (estimation of peak discharge based of boulder size) has adequate performance. Analyzing geology of studied basins show that 60% of Zirabe catchment's area is composed of Tirgan calcareous formation while the mentioned formation comprise only 7.2% of Qoordanloo catchment's area. Formations of Qoordanloo catchment are mainly impermeable rocks such as shale, marl. Due to the higher area of calcareous formations capable of karstic landforms development in Zirabe catchment, the surface runoff and hence the drainage density decrease. The lower drainage density of Zirabe catchment (2.5) compared to Qoordanloo catchment (3.69) reveals the lower runoff generation and the more infiltration of water into ground in Zirabe catchment whereas the drainage density is higher in Qoordanloo catchment with impermeable formations implying the higher runoff and hence flood peak generation in mentioned catchment. The

mean topographic slope of Qoordanloo and Zirabe catchments are 20.7% and 12.2% respectively. Evaluation of catchment's shape data show that the Qoordanloo catchment is more circular in shape than Zirabe one. It seems that the steeper slope and relatively circular shape of Qoordanloo catchment have resulted in higher flood peak of mentioned catchment.

4. Conclusion

Data analysis reveal that, in spite of larger size of Zirabe catchment than Qoordanloo one, the mean of b axis of boulders is larger in Qoordanloo river bed than Zirabe one. The larger size of boulders in Qoordanloo river bed is indicator of higher water strength and velocity. The higher rate of estimated and observed peak discharge in Qoordanloo catchment compared to Zirabe one demonstrate that Qoordanloo catchment is more *h vulnerable to flood damage*. The presence of impermeable formations in Qoordanloo catchment has resulted in the formation of badland erosion that is indicator of higher flood vulnerability and runoff generation while the karstic features are dominant landforms of Zirabe catchment which has played an important role in the reduction of runoff generation. Overall, it can be concluded that firstly, the Costa method has adequate performance in peak flood prediction in studied catchments and secondly, the differences in geological, geomorphological and morphometrical characteristics of catchments have strong effects on flood differences of catchments.

Keyword: geomorphology, Atrac River, bed river's boulders, peak discharge

References

- Baker.V.R, Chochel.R.C, Patton.P.C (1987),Flood geomorphology, New York: John Wiley.
Ballesteros Canovas,J.A ;Eguibar,M; Bodogue,J.M ;Diez-Herrero,A;

- Stoffel, M; Gutierrez- perez, I (2010), Estimating flash flood discharge in an ungauged mountain catchment with 2D hydraulic models and dendrogeomorphic paleostage indicators, Hydrological processes. DOL:10.1002/hyp.7888.
- Benito, G; Lang, m; barriendos, m; carmentillas, m ; frances, f; ouada, t; thornycraft, v; enzel, y; bardossy, a; coeur, d; bobee, b (2004), Use of systematic paleoflood and historical data for the improvement of flood risk estimation review of scientific methods. *natural hazard* 31:623-643, kluwer academic publisher. printed in the netherlands.
- Benn. D.I , Owen. L.A, Finkel R.C, Clemmense. S (2006), Pleistocene lake outburst floods and fan formation along the eastern Sierra Nevada, California: implications for the interpretation of intermontane lacustrine records. *Quaternary Science Reviews* 25 (2006) 2729–2748.
- Costa. E.J (1983), Paleohydrologic reconstruction of flash flood peaks from boulder deposits in the Colorado front range. *Geological society of America bulletin*, v, 94, p. 986-1004.
- De Waele, J, Martina. M.L.V, Sanna, L, Cabras, s, Cossu, Q.A (2010), Flash flood hydrology in karstic terrain: Fluumineddu canyon, central-east Sardinia (2010), *Geomorphology* 120 162-173.
- Fisher, T.G (2004), River Warren boulders, Minnesota, USA: catastrophic paleoflow indicators in the southern spillway of glacial Lake Agassiz. *BOREAS* 33. Vol. 33, pp. 349–358. Oslo. ISSN 0300-9483.
- Fookes P.G., Mark Lee, E, Griffiths J.S (2007), *Engineering Geomorphology*, Whittles, Apr 2, 2007- 279 pages.
- Gardiner, V and Dackombe, R (1983), *Geomorphological Field Manual*, Allen and Unwin, London. 254 PP.
- Haug, E.W, Krall, E.R, Sewall, J.O, Dijk, M.V, Chong Diaz, G (2010), Climatic and geomorphic interactions on alluvial fans in the Atacama Desert, Chile, *Geomorphology* 121 (2010) 184-196.
- Herget. J; Meurs, H (2009), Reconstructing peak discharges for historic flood levels in the city of Cologne, Germany, *Global and Planetary* -01521; No of Pages 9.
- Inbar, M and Schick (1997), Bedload transport associated with high stream power, Jordan River, Israel. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* Vol. 76, No. 6, pp. 2515-2517, June 1979. *Geology*.
- Jarrett, R.D., (1990), Paleohydrologic techniques used to define the spatial occurrence of floods. *Geomorphology* 3, 181–195.
- Johnson, R.M, Warburton, J (2002), flooding and geomorphic impact in a mountain torrent: raise beck, central lake district, England. *Earth surface processes and landforms* 27, 945-969.
- Mears, A.I., (1979), Flooding and sediment transport in a small alpine drainage basin in Colorado. *Geology* 7, 53–57.
- Rathburn .S.L, (1993), Pleistocene cataclysmic flooding along the Big Lost River, east central Idaho, *Geomorphology*, 8 (1993) 305-319.

Tinkler. K.j, (1997), Critical flow in values for Manning's n.
rockbed streams with estimated Geomorphology 20 (1997) 147-164.

