پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال سوم، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۳
صص. ۳۶-۲۰

پهنه‌بندی خطر سیلاب‌های شهری با استفاده از داده‌های هیدرولوژی پالئوسیلاب (مطالعه موردی: شهر کلات نادری، خراسان رضوی)

سیدرضا حسین زاده* – دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد
محمد خانه‌باد – استادیار زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد
عذرا خسروی – کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۵/۲۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۳/۰۳/۲۸

چکیده

شهر کلات در امتداد رودخانه‌ای به همین نام در معرض سیلاب‌های نسبتاً شدیدی قرار دارد که از جمله این سیلاب‌ها می‌توان به سیلاب بزرگ سال ۱۳۸۰ اشاره کرد. با توجه به کوتاه بودن دوره آماری ایستگاه هیدرومتری کلات و غیر واقعی بودن حریم تعیین‌شده رودخانه توسط سازمان‌های مسئول، نگارندگان بر آن شدند تا با استفاده از هیدرولوژی پالئوسیلاب به برآورد دبی سیلاب‌های بزرگ رودخانه مورد نظر پرداخته و از این طریق مناطق تحت خطر سیلاب را مبتنی بر داده های واقعی و قابل اطمینان که به‌وسیله خود طبیعت ثبت گردیده تعیین نمایند. در این پژوهش ابتدا با مطالعه تفصیلی عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای بزرگ‌مقیاس روند توسعه بافت فیزیکی شهر کلات مشخص و همچنین سایت‌های احتمالی رسوبات آب راکد علامت‌گذاری گردید. سپس طی بازدیدهای میدانی نسبت به شناسایی دقیق سایت‌ها، به بررسی وجود سایر شواهد دیرینه‌تراز و انجام تحلیل‌های چینه‌شناسی پرداخته شد. در مرحله بعد جهت برآورد حداکثر سطح سیلاب با توجه به ارتفاع رسوبات آب‌راکدی و شواهد داغاب سیلاب، پس از نقشه‌برداری از مقاطع عرضی و طولی کانال رود در سایت‌های نمونه، حداکثر اوج سیلاب در منطقه مدل‌سازی شده که دبی اوج براساس رسوبات آب‌راکدی ۵۵٤/۲۵ و۵٤۰/۲٤۲ مترمکعب و براساس داغاب سیلاب ٦۲٤/٤۳ مترمکعب برآورد شده است. این نتایج با برآوردهای انجام‌شده به روش‌های مرسوم هیدرولوژی در رودخانه موردنظر اختلاف چشمگیری داشته که با توجه به این نتایج حریم رودخانه کلات نسبت به سیلاب‌های بزرگ مشخص و مناطق در معرض خطر سیلاب تعیین حدود گردید. همچنین با توجه به نتایج قابل اطمینان حاصل از روش پالئوسیلاب، می‌توان در مناطقی با شرایط یکسان با بهره‌گیری از روش و نتایج پالئوسیلاب نسبت به خطر سیلاب در مسیل‌ها و دشت‌های سیلابی و مناطق ساحل نشین رودخانه‌ها اقدام نمود.

واژگان کلیدی سیلاب‌های شهری، پالئوسیلاب، پالئوژئومورفولوژی، شهرکلات، رسوبات آب راکد.

---

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۳۱۱۷۳۲۵ E-mail: srhosszadeh@um.ac.ir.com

مقدمه

شهر کلات با الگوی خطی و در امتداد رودخانه کلات تحت تأثیر طغیان‌های شدید این رودخانه بوده و تغییرات بستر آن در فرایند توسعه شهرنشینی بر شدت سیلاب‌ها افزوده است. سیلاب مورخ یازدهم شهریورماه ۱۳۸۰ با دبی ۳۱۷ متر مکعب بر ثانیه نمونه‌ای از سیلاب‌های مخربی بود که صدمات قابل توجهی به مزارع شالیکاری، باغات میوه و منازل مسکونی این شهر وارد نمود.

در برنامه‌ریزی‌های مربوط به سیلاب‌های شهری، برآورد صحیح سطح حداکثر سیلاب و دوره بازگشت آن از جایگاه ویژه و مهمی برخوردار بوده و مهم‌ترین مرحله در برنامه‌ریزی و مدیریت ریسک سیلاب‌های شهری به‌شمار می رود. روش‌های معمول تعیین فراوانی سیلاب بر اساس داده‌های ثبت شده ایستگاه‌های هیدرومتری انجام می‌شود که معمولاً در بیشتر رودخانه‌ها از قدمت زیادی برخوردار نیست. به‌عبارت دیگر اغلب برآوردهای انجام شده به روش‌های آماری، با استفاده از داده‌های کوتاه‌مدت و برای بازه زمانی طولانی‌مدت صورت می‌گیرد. به‌طور مثال از دوره آماری ۳۰ ساله برای برآورد سیلاب با دوره بازگشت ۵۰۰ ساله استفاده می‌کنند که این یکی از اشتباهات بزرگ در امر برآورد سیلاب با استفاده از روش‌های آماری است.

از این رو طی سه دهه‌ی 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 حسین‌زاده،۷۷:۱۳۸۸).

پالئوسیلاب‌ها[1] سیلاب‌های کهن و قدیمی هستند که با اندازه‌گیری‌های رایج هیدرولیکی یا مشاهده و ثبت به وسیله غیر هیدرولوژیست‌ها ثبت نشده‌اند، ثبت پالئوسیلاب‌ها به وسیله انسان انجام نمی‌شود بلکه به وسیله طبیعت انجام می‌شود و این وجه تمایز آن‌ها از سنجش‌های ابزاری و سیستماتیک می‌باشد. برخلاف مشاهده مستقیم انسان، ثبت طبیعی پالئوسیلاب‌ها از طریق شاخص‌های متنوعی شکل می‌گیرد که سپس توسط هیدرولوژیست‌های باتجربه پالئوسیلاب ، تفسیر می‌شود (بیکر[2]، ۱:۲۰۰۸) ثبت طبیعی پالئوسیلاب‌ها، یک معیار هدفمند از سیلاب‌های گذشته ارائه می‌دهد، همانگونه که ویژگی‌های فسیل یک جاندار معیار هدفمندی برای فعالیت ارگانیزم‌های زنده گذشته است. همانگونه که یک پالئونتولوژیست با تجربه می‌تواند اندازه، وزن و حتی سبک حرکت خزندگان قدیمی را کشف و بیان نماید، محقق با تجربه‌ی پالئوسیلاب نیز می‌تواند ویژگی‌های سیلاب‌های گذشته را کشف، تحلیل و معرفی نماید (بیکر، ۵۱۴:۲۰۱۳).

واژه پالئوسیلاب برای اولین بار به صورت برجسته در دهه۱۹۷۰مورد استفاده قرار گرفته است (به عنوان مثال کوستا[3] ۱۹۷۴، پاتون[4] و بیکر ۱۹۷۷)، لیکن اصطلاح و مفهوم هیدرولوژی پالئوسیلاب[5] رسماً توسط کوچل[6] و بیکر در سال ۱۹۸۲معرفی گردید (جهادی‌طرقی و حسین‌زاده، ۱۳۷:۱۳۹۲). ابتدا مطالعات پالئوسیلاب در جنوب‌غربی ایالات‌متحده شامل: تگزاس (کوچل وبیکر ۱۹۸۲) و آریزونا (الی[7] و بیکر ۱۹۸۵، پارتریج[8] و بیکر ۱۹۸۷)متمرکز بود و پس از آن

1-Paleofloods
2- Baker
3-Costa
4-Patton
5-Paleoflood hydrology
6-Kochel
7- Ely
8-Partridge

مطالعات گسترده‌ای در بسیاری از کشورهای دنیا از جمله ایران صورت گرفته است به عنوان مثال: اولین مطالعات پالئوسیلاب در اروپا از کشور یونان و با لوین[1] و همکاران وی (۱۹۹۱) شروع و پس از آن مطالعات گسترده‌ای در اسپانیا صورت گرفت که از آن جمله می‌توان به مطالعات بنیتو[2] و همکاران (۲۰۰۳) در رودخانه تاگوس در اسپانیا و تورندیکرافت[3] و همکاران (۲۰۰۵) در رودخانه نیوبرگات اشاره کرد. همچنین وریتی[4] و همکاران (۲۰۰۶) در اسکاتلند و استارکل[5] و همکاران(۲۰۰۶)، هافمن[6] و همکاران(۲۰۰۸) در آلمان، دی‌ویل[7] و همکاران(۲۰۱۰) در کانیون فلومیندوی در ایتالیا اشاره نمود. از پژوهش‌های صورت گرفته در آسیا در این زمینه می‌توان به: گراسمن[8] و همکاران (۲۰۰۱) با مطالعه سیلاب‌های بزرگ و تغییرات آب‌وهوایی روی رودخانه آرا در ژاپن، کیدسون[9] و همکاران (۲۰۰۵) و جیزوال[10] و همکاران (۲۰۰۹) در هند اشاره نمود. اما مطالعات اولیه هیدرولوژی پالئوسیلاب در ایران در رووددخانه مادرسو توسط حسین‌زاده و جهادی‌طرقی (۱۳۸۵) صورت گرفت و پس از آن پژوهش‌های دیگری توسط حسین‌زاده و جهادی طرقی در رودخانه درونگر (۱۳۹۱)، حسین زاده و همکاران در رودخانه قره‌آغاج استان فارس (۱۳۹۲)، حسین‌زاده و همکاران در آبراهه شاهرگ از رودخانه درونگر (۱۳۹۲) و حسین‌زاده و همکاران در رودخانه کلات (۱۳۹۲) به‌منظور استفاده از نتایج هیدرولوژی پالئوسیلاب در مکانیابی سازه‌های هیدرولیک انجام شده است. همچنین یک مقاله مروری نسبتا" جامع که این شاخه علمی، اصول و روش‌های آن‌را معرفی می‌نماید توسط جهادی‌طرقی و حسین‌زاده به زبان فارسی منتشر شده است (جهادی طرقی و حسین‌زاده، ۱۳۹۲).

موقعیت منطقه مورد مطالعه

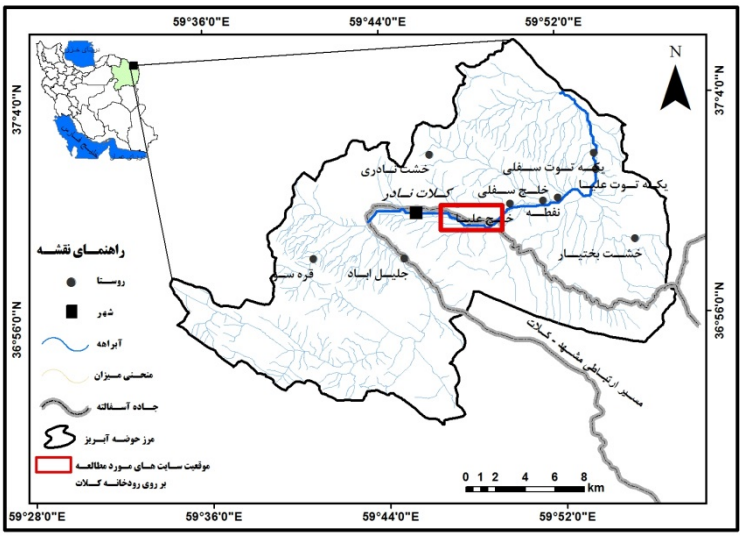
رودخانه کلات یکی از رودخانه‌های مهم حوضه آبریز قره‌قوم است که از دامنه‌های شمالی هزارمسجد سرچشمه گرفته و انشعابات خط الرأس‌های قره‌سو، ژرف، کلات در طول مسیر رودخانه آن را تغذیه می‌کند. این رودخانه پس از عبور از روستاهای ژرف، قره‌سو و شهر کلات و روستاهای نفته و خلج از مرز ایران خارج و به کشور ترکمنستان سرازیر می‌شود. حوضه آبریزی که این رودخانه را زهکشی می‌کند بالغ بر ۴۳۹ کیلومترمربع وسعت دارد و ارتفاع بلندترین نقطه آن از سطح دریا ۲۷۰۰ متر است. این حوضه از نظر مختصات ریاضی بین مختصات ″ ۲۰ ′ ۵۲ °۳۶ تا ″۰۴ ′۰۶ °۳۷ عرض شمالی و″۰۰ ′ ۳۴ °۵۹ تا ″۰۸ ′ ۵۸ °۵۹ طول شرقی قرار گرفته است (شکل ۱).

شهر کلات در حدود مرکزی حوضه آبریز و در امتداد کانال اصلی رودخانه کلات قرار دارد. این شهر که در ۱۲ کیلومتری مرز مشترک کشور ایران با کشور ترکمنستان، و در ۱۴۵ کیلومتری شمال‌شرق شهرستان مشهد قرار گرفته با جمعیتی حدود ۷۵۳۲ نفر مرکز شهرستان کلات به شمار می‌رود (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۰).

آبراهه اصلی رودخانه کلات در تمام مسیر خود از بالارود تا پایین‌رود عمود بر محور چین‌خوردگی کپه‌داغ دیواره‌ها و تیغه‌های متعددی را قطع کرده و به‌طور عرضی از ناودیس معلق کلات عبور می‌نماید. به‌جز دره باریک و عمیق رودخانه کلات که در سازند ضخیم‌لایه آهکی کلات و در پهلوی جنوبی ناودیس حفر گردیده هیچ راه دسترسی طبیعی دیگری به داخل ناودیس وجود ندارد. پادگانه‌های آبرفتی مرتفع رودخانه کلات روی سازندهای رسی قرمزرنگ نئوژن در داخل

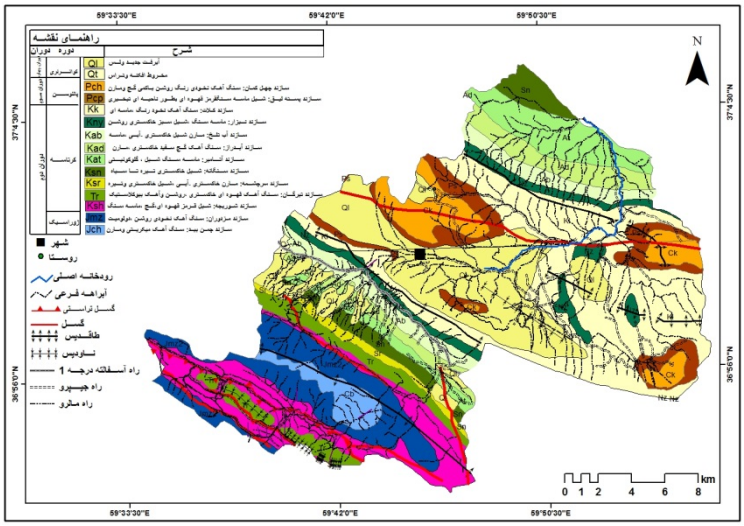
1 - Lewin
2 - Benito
3 - Thorndycraft
4 - Werritty
5 - Starkel
6 - Hoffmann
7 - DeWaele
8- Grossman
9 - Kidson
10 - Jaiswal

ناودیس کلات از مناظر عمده ژئومورفولوژی کواترنری منطقه است. بخش عمده بافت فیزیکی شهر کلات روی پادگانه آبرفتی قرار گرفته و بخش‌هایی نیز روی کنگلومرا و مارن‌نئوژن گسترش دارد (شکل ۲). زیرحوضه‌های مشرف به شهر در قلمرو سازندهای رسی نئوژن محدوده‌های بحرانی را برای بافت شهری فراهم می‌آورد، به طوری که در بارندگی‌های شدید حجم زیادی گل و مواد واریزه‌ای را وارد معابر شهر نموده و هزینه‌های نگهداری شهر را افزایش می‌دهد.



شکل۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

.



شکل۲: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

مواد وروش‌ها

روش عمومی این پژوهش از نوع تاریخی، تجربی و مقایسه‌ای بوده و هدف اصلی آن بازسازی سطح حداکثر سیلاب-های رخداده در رودخانه کلات بر مبنای شواهد پالئوسیلاب‌ها و استفاده از این داده‌ها در تعیین مناطق خطر سیلاب در شهر کلات است. مراحل انجام این تحقیق را می‌توان به شرح زیر بیان کرد:

۱- تجزیه و تحلیل آماری حداکثر دبی لحظه‌ای ایستگاه هیدرومتری کلات و پیش‌بینی حداکثر سیلاب محتمل رودخانه در دوره برگشت‌های مختلف و با روش‌های پیشنهادی متفاوت. هدف از انجام این تحلیل‌ها، مقایسه نتایج آنها با داده‌های حاصل از روش هیدرولوژی پالئوسیلاب است.

۲- مطالعه تفصیلی عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای بزرگ مقیاس به‌منظور تحلیل مراحل توسعه بافت فیزیکی شهر کلات، تهیه نقشه ژئومورفولوژی بستر رود و تعیین سایت‌های احتمالی مطالعات پالئوسیلاب. عکس‌های هوایی مورد استفاده: عکس‌های ۱:۴۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور (۱۳۷۲) و تصاویر ماهواره‌ای از نوع لندست سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۳ بوده است. همچنین نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح برگ‌های کلات و قلعزو به‌عنوان نقشه‌های پایه در نظر گرفته شده‌اند.

۳- مطالعات میدانی و تحقیق برای تشخیص و انتخاب شاخص‌های پالئوسیلاب‌ها (رسوبات آب‌راکدی و نشانه‌ها) و تشریح و توصیف کامل چینه‌شناسی و نقشه‌برداری مقاطع عرضی و طولی بازه مورد مطالعه: بازدیدهای اولیه طی چندین مرحله از سرشاخه‌های رودخانه کلات (قره‌سو و ژرف) جهت شناسایی هر چه بهتر رودخانه کلات انجام گرفته است، اما مطالعات علمی و جدی‌تر طی چندین مرحله در ماه‌های اردیبهشت، تیر و مرداد سال ۱۳۹۲ از ابتدای سرشاخه قره‌سو تا تنگ ورودی به ناودیس کلات و سپس از ابتدای بافت فیزیکی شهر تا روستای خلج برای شناسایی سایت‌های رسوبات آب‌راکدی انجام شده است. در عملیات میدانی از ابزارهایی مانند GPS برای ثبت موقعیت سایت، متر، ابزار نمونه‌برداری و مطالعات چینه‌شناسی استفاده شده است.

۴- محاسبات هیدرولیک و تخمین دبی: جهت محاسبه دبی سیلاب‌ها از فرمول تغییر یافته مانینگ استفاده شد و در تخمین دبی بزرگ‌ترین سیلاب‌ها علاوه بر توجه به سطح رسوبات آب‌راکدی به عامل اصلاحی سطح بالاترین سیلاب برآورد شده نسبت به بالاترین رسوب آب‌راکدی نیز توجه شد.

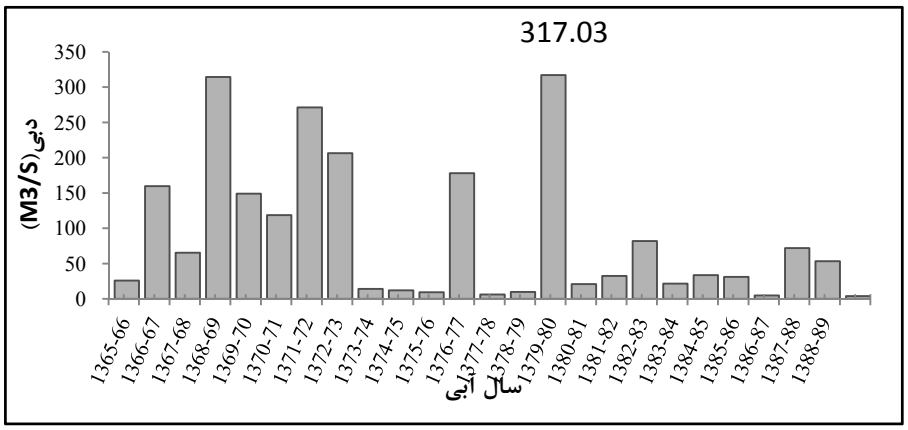
۵- مقایسه نتایج به دست آمده از پالئوسیلاب‌ها با داده‌های آماری موجود از ایستگاه هیدرومتری رودخانه کلات: داده‌های آماری ایستگاه هیدرومتری رودخانه کلات طی سال‌های ۶۶-۱۳۶۵ تا ۹۰-۱۳۸۹ به مدت ۲۵ سال از شرکت آب منطقه‌ی خراسان رضوی تهیه شده و در محیط نرم‌افزارMicrosoft Excel 2010 و MATLAB-R2006 تجزیه و تحلیل شد. این تحلیل‌ها شامل تحلیل فراوانی حداکثر دبی لحظه‌ای و محاسبه دوره بازگشت سیلاب‌ها بوده است. در این فرایند از ۲۱ روش برازش آماری استفاده شد که توسط هفت توزیع آماری (گامبل، پیرسون، لوگ‌نرمال و...) انجام شده اقدام به برآورد سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف نموده و بعد از آن نتایج این برآوردها، با محاسبات صورت گرفته به روش‌های پالئوسیلاب مقایسه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

۶- بررسی مسیر رودخانه در محدوده شهر کلات و گسترش تاریخی محدوده شهر نسبت به رودخانه: در این مرحله از تحقیق، ابتدا مسیر رودخانه کلات طی چندین مرحله از ابتدا تا انتهای مسیر رودخانه در محدوده شهر، مورد مشاهده قرار گرفته و با در نظر گرفتن حریم مشخص شده توسط شهرداری کلات، ساخت‌وسازها و تعرضات غیرقانونی به حریم روخانه بررسی و سپس با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای در دوره‌های زمانی مختلف (تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۱۰- و عکس‌های هوایی سال‌های ۱۳۷۲-۱۳۴۲) تغییرات بستر رودخانه مورد تحلیل قرار گرفته، و نقشه‌های مربوطه تهیه شد، و همچنین با توجه به حداکثر دبی ثبت شده توسط ایستگاه هیدرومتری (۳۱۷ متر مکعب) و دبی برآورد شده بر اساس نتایج مطالعات پالئوسیلاب، حریم رودخانه تعیین و محدوده کاربری‌های غیرقانونی در بستر و حریم رودخانه مشخص گردید.

بحث و نتیجه‌گیری

مطالعه حداکثر دبی لحظه‌ای رودخانه کلات حتی در یک دوره کوتاه ۲۵ ساله نشان می دهد که وقوع دبی‌های نسبتا

بزرگ در این رودخانه دور از انتظار نبوده و لذا در زمره رودخانه‌های سیلابی قرار می‌گیرد (شکل۳). به‌عنوان مثال می‌توان به دبی حداکثر لحظه‌ای ۳۱۴ مترمکعب در سال آبی ۶۹-۱۳۶۸ ، ۲۷۱ مترمکعب در سال آبی ۷۲-۱۳۷۱ و ۲۰۶ مترمکعب در سال آبی ۷۲-۱۳۷۳ اشاره نمود. همچنین در مورخ ۱۳۸۰/۶/۱۰ در منطقه مورد مطالعه سیلاب شدید و مخربی با دبی ۳۱۷ متر مکعب بر ثانیه رخ داد که خوشبختانه این سیلاب خسارت جانی در برنداشته، اما صدمات قابل-توجهی به مزارع شالیکاری، و باغات میوه و منازل مسکونی وارد ساخت. در ورودی شهر کلات چند باب منزل مسکونی که در مجاورت رودخانه قرار داشتند به میزان ۱۰ الی ۵۰٪ تخریب شدند و سطوح وسیعی از باغات میوه در منطقه دربند کلات دچار آبگرفتگی شدید شد. همچنین بسیاری از محصولات مزارع شالیکاری شهرستان کلات که تا زمان برداشت محصول ، فقط ۱۰ الی ۱۵ روز فاصله داشت، از بین رفت و چند مورد تلف شدن دام نیز گزارش شد (شکل ۴).



شکل ۳: نمودار حداکثر دبی لحظه‌ای سالانه ایستگاه هیدرومتری رودخانه کلات

برای پیشگیری خسارات ناشی از وقوع سیلاب، می‌بایست احتمال وقوع و بزرگی سیلاب‌های مهم را برآورد نمود و با به‌کارگیری روش‌های مناسب و تأسیسات خاص، اثرات سیلاب را کنترل نمود (مهدوی، ۱۳۸۸ :۲۶۲). لذا جهت تخمین دوره بازگشت سیلاب‌ها باید از تحلیل‌های فراوانی استفاده نمود، تحلیل فراوانی وقایع مجموعه روش‌هایی می‌باشند که با استفاده از قوانین احتمالات به بررسی احتمال تکرار یک پدیده در طول زمان می‌پردازند، هدف از این تحلیل‌ها به‌دست آوردن دوره برگشت وقایع اندازه‌گیری شده و تخمین بزرگی آن واقعه می‌باشد که خارج از دامنه وقایع ثبت شده قرار دارد و برای طراحی پروژه‌ها از آن استفاده می‌شود. در بین هیدرولوژیست‌ها هیچ توافقی در مورد چگونگی استفاده از توزیع-های موجود نیست، در این پژوهش ابتدا با استفاده از ۲۱ روش آماری از جمله توزیع گامبل تیپ‌یک[1]، توزیع پارتوی-تعمیم‌یافته[2]، توزیع گامای دوپارامتری[3]، توزیع لوگ‌نرمال دوپارامتری[4]، توزیع لوگ نرمال سه‌پارامتری[5]، توزیع پیرسون تیپ‌سه[6]، توزیع مقادیرحدی تعمیم‌یافته[7] دوره بازگشت سیلاب‌ها در رودخانه کلات محاسبه گردیده است سپس نتایج این آزمون ها با استفاده از آماره آزمون کولوموگروف- اسمیرونف[8](آمارهKS) مورد برازش قرار گرفته و سپس حداکثر سطح

[1] - Gumbl type 1 distribution
[2] - Generalized Pareto Distribution
[3]- 2-parameters gamma distribution
[4] -2-Parameters Lognormal distribution
[5] -3-Parameters Lognormal distribution
[6] - Pearson type 3 distribution
[7]- Generalized Extrem values distribution
[8]- Kolmogorov–Smirnov test

سیلاب‌های محتمل در رودخانه کلات با استفاده از داده های پالئوسیلاب برآورد شده و با نتایج حاصل از داده‌های آماری مقایسه گردید سپس حریم رودخانه کلات با توجه به این نتایج مشخص و مناطق مسکونی در معرض خطر سیلاب پی-جویی گردید که نتایج آن به شرح زیر است:

شکل ۴: الف) ورود سیلاب به داخل منازل مسکونی در دربندمحله ب) داغاب برجای مانده سیلاب بر روی دیوار منازل در محدوده دربند محله سیلاب سال (۸۰-۱۳۷۹)
(شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۹:۱۳۸۰).

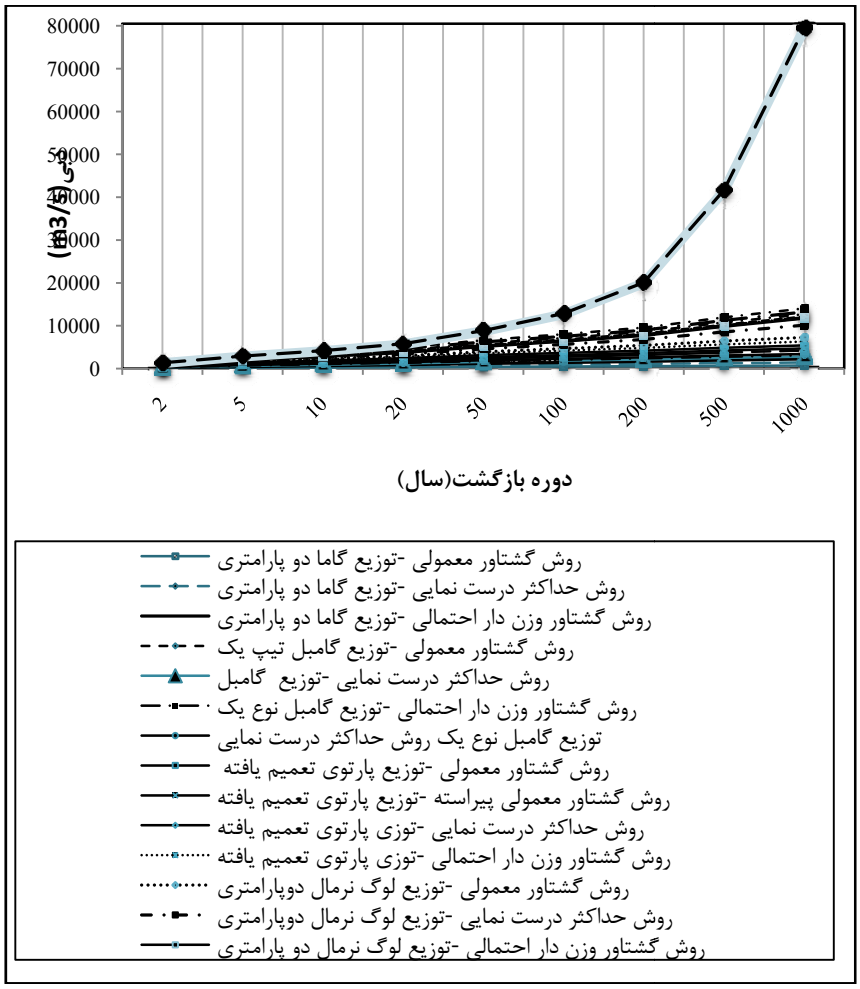
محاسبات هیدرولیک با استفاده از داده‌های آماری

اولین قدم در تحلیل فراوانی داده‌ها تشخیص اولیه توزیع‌های مناسب برای داده‌های نمونه است. برای این منظور دبی اوج سیلاب‌های ایستگاه هیدرومتری منطقه مورد مطالعه با دوره برگشت‌های مختلف با به کارگیری توزیع‌های مختلف آماری مورد برازش قرار گرفت (شکل ۵). طبق آزمون کولوموگروف – اسمیرونف[1] (جدول ۱) توزیع مقادیر حدی‌تعمیم-یافته به روش حداکثر درست‌نمایی، به عنوان بهترین توزیع معرفی می‌شود. براساس این توزیع، سیلاب در یک دوره

1- Kolmogorov–Smirnov test

بازگشت ۱۰۰۰ ساله ۶۵۲۶۸/۹ مترمکعب برثانیه برآورد شده است که این مقدار برای رودخانه کلات بسیار بـزرگ و غیـر قابل‌تصور است و می‌تواند در رودخانه‌های بزرگ اتفاق بیفتد همچنین با توجه به سایر توزیع‌ها این توزیـع آمـاری بسـیار متفاوت و غیر واقعی محسوب می‌شود. بنابراین از مقایسه بیست ویک روش آماری که توسط توزیع‌های گامبل تیپ‌یک، توزیع پارتوی‌تعمیم‌یافته، توزیع گامای دوپارامتری، توزیع لوگ‌نرمال دوپارامتری توزیع لوگ نرمـال سـه‌پـارامتری، توزیـع پیرسون تیپ‌سه[1]، توزیع مقادیرحدی تعمیم‌یافته صورت گرفته نشان مـی‌دهـد کـه آمـاره آزمـونK-S، در چهـار روش: گشتاورهای وزن‌دار احتمالی[2] در توزیع گامبل تیپ‌یک، روش حداکثردرست‌نمایی[3] در توزیع لوگ نرمال ۲ پارامتری، روش گشتاورهای وزن‌دار احتمالی در توزیع پاراتوی‌تعمیم‌یافته، و روش گشتاورهای وزن داراحتمالی در توزیع پیرسون تیپ سـه نزدیک به هم هستند (جدول ۲) که حداکثر سیلاب برآوردشده با ۴ روش مذکور، در دوره بازگشت‌های ۱۰۰ سال به بـالا و در یک نگاه جزئی‌تر حتی در دوره بازگشت ۱۰ سال به بالا اختلاف زیادی را نسبت به یکدیگر نشان می‌دهند. با توجـه به کوتاهی آمار ایستگاه مورد مطالعه، سیلاب‌های برآوردی برای دوره بازگشت‌های بیش از صد سال دقت زیادی ندارنـد. بنابراین با توجه به نتایج فوق باید گفت تعیین دقیق یک تابع با توجـه بـه روش‌هـای موجـود خـالی از خطـا نیسـت. در محاسبات مربوط به برآورد حداکثر دبی لحظه‌ای، نیکویی برازش یک توزیع طبق روش K-S یا روش‌های دیگـر بـرای تعیین یک توزیع احتمالی لازم است ولی کافی نیست، زیرا این روش‌ها خود دارای منشـأ خطـا هسـتند و در روش‌هـای آماری، داده‌های بزرگ و کوچک با هم ترکیب می‌شوند و آمار متفاوت ناپایداری تولید می‌گردد که این آمار در توزیع‌های مختلف با هم متناقض هستند. شناسایی بهترین معیار در انتخاب یک مدل علاوه بـر روش‌هـای آمـاری، نیازمنـد بیـنش صحیح از حوضه مورد مطالعه و همچنین تحلیل‌های عینی است، بنابراین به منظور بهره برداری بهینه وکنتـرل سـیلاب در حوضه‌های آبریز دارای آمار هیدرومتری کوتاه مـدت، روش‌هـای آمـاری جهـت انجـام تحلیـل‌هـای فراوانـی و دوره بازگشت‌های طولانی مدت چندان مورد قبول نمی‌باشد لذا در استفاده از این آمار و تعمیم آن در انجام پروژه‌های در دست اجرا و طرح‌های مدیریتی باید احتیاط کافی صورت پذیرد.

[1] - Pearson type 3 distribution
[2] - Method of Probable Weighted Moments
[3] - Method of Maximum Liklihood



شکل۵: نتایج حاصل از برآورد دبی با استفاده از ۲۱ روش آماری.

جدول۱: مقایسه نتایج برازش توزیع‌های مختلف با استفاده از آزمون نیکویی برازش K-S (کولوموگروف–اسمیرینوف).

K-S مقایسه نتایج برازش توزیع‌های مختلف با استفاده از آزمون نیکویی برازش (کولوموگروف–اسمیرینوف)				
(مقدار K-S) DO-KSCRITAL VALUE=0. 265				
GUMBLE1 ==>	MOM	PWM	MML	ENT
	178/0	185/0	199/0	178/0
GAMMA2 ==>	MOM	PWM	MML	
	135/0	097/0	136/0	
LN2 ==>	MOM	PWM	MML	
	233/0	12/0	093/0	
LN3 ==>	MOM	PWM		
	295/0	448/0		
GPA ==>	MOM	PWM	MML	MODM
	163/0	104/0	302/0	174/0
GEV ==>		PWM	MML	

		25/0	09/0	
PT3 ==>	MOMWRC	PWM		MODMBOB
	147/0	104/0		173/0
یادداشت:				
MOM= روش گشتاوری معمولی =MODM روش گشتاورهای معمولی پیراسته				
MOMWRC= روش گشتاورهای معمولی =MOMBOB روش گشتاورهای پیراسته				
MML= روش حداکثر درست نمایی =PWM روش گشتاورهای وزن دار احتمالی				
ENT= روش‌حداکثرآنتروپی				

جدول۲: برآورد دبی حداکثر لحظه‌ای با استفاده از نتایج ۴ توزیع آماری که آزمون نیکویی برازش K-S (کولوموگروف-اسمیرینوف) آن‌ها نزدیک به یکدیگر می‌باشد.

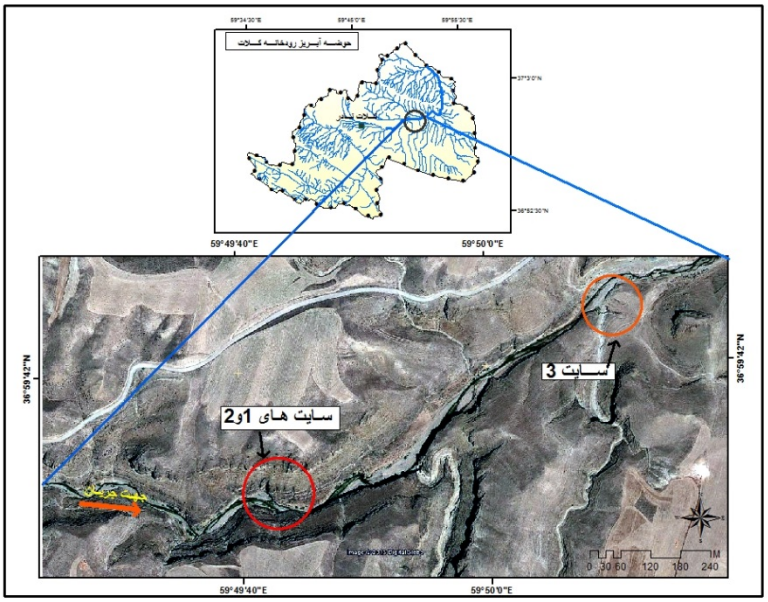
دوره بازگشت(سال)		2	5	10	20	50	100	2	500	1000
گامبل ۱	روش گشتاورهای وزن‌دار احتمالی(PWM)	1/37	1/94	123	7/149	183	6/207	232	264	1/288
لوگ نرمال ۲ پارامتری	روش حداکثر درست-نمایی(MML)	42	1/132	240	394	688	4/997	1401	2115	2823
پارتوی تعمیم یافته	روش گشتاورهای وزن‌دار احتمالی (PWM)	1/53	5/142	217	6/298	418	2/517	8/625	4/784	1/917
پیرسون تیپ ۳	روش گشتاورهای وزن-داراحتمالی(PWM)	7/49	6/145	225	3/307	419	6/504	3/591	9/706	795

بازسازی حداکثر سطح سیلابِ محتمل بر مبنای داده‌های پالئوسیلاب

در مطالعه پالئوسیلاب‌ها از شاخص‌های متعددی جهت بررسی سطح آب بالا آمده در طی سیلاب‌های به وقوع پیوسته استفاده می‌کنندکه از جمله این شاخص‌ها می‌توان به خراش‌ها یا جراحات باقیمانده روی تنه درختان و بسترهای سنگی، رسوبات حمل شده توسط سیلاب‌ها یا سایر مواد همراه سیلاب (دبریزفلادها) اشاره کرد.

اما معتبرترین و عمومی‌ترین معیارهای پالئواستیج در هیدرولوژی پالئوسیلاب‌ها، نهشته‌های آب‌راکدی هستند (بیکر، ۱۹۸۷). رسوب‌گذاری آب‌راکد در بیشتر سیستم‌های رودخانه‌ای رخ می‌دهد اما کانیون‌های سنگ بستری به علت مقاومت ابعاد کانال مناسب‌ترین موقعیت برای بازسازی دبی دیرینه سیلاب‌ها می‌باشد (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۰:۱۸۴). کانال های آبرفتی در اثنای وقوع سیلاب‌ها نسبت به کانیون‌ها و کانال‌های حفر شده در سنگ سخت بستر از مقاومت کافی برخوردار نیستند و سیلاب به آسانی قادر به حفر بستر آنها می‌باشد(جهادی طرقی و حسین‌زاده۱۳۹۲: ۱۴۲). در محدوده مورد نظر باتوجه به اینکه رودخانه کلات از به هم پیوستن دو سرشاخه اصلی جلیل‌آباد و قره‌سو شکل می‌گیرد، بهترین

محل جهت برآورد دبی پالئوسیلاب‌ها بعد از به هم پیوستن این دو سر شاخه است، اما این محل که در ورودی شهر کلات قرار گرفته تحت تأثیر گسترش بافت فیزیکی شهر و همچنین ساماندهی بستر رودخانه به‌شدت دچار آشفتگی شده و از شرایط مناسبی جهت مطالعه پالئوسیلاب‌ها برخوردار نیست. بهترین مکان به لحاظ بکر بودن شرایط ژئومورفیک و مقاومت کانال در پایین دست شهر کلات و در محدوده کانیون کلات نادری تشخیص داده شد و سایت‌های مناسب رسوبات آب‌راکدی پس از مطالعات و پیمایش‌های میدانی شناسایی و سپس سه سایت به عنوان نمونه انتخاب شدند (شکل ۶). ضخامت کل مقطع رسوبات سیلابی در سایت شماره یک ۸۱ سانتیمتر بوده که پایین‌ترین لایه روی لیتولوژی حاصل ازحفرهٔ ایجاد شده در امتداد دیواره سنگی کانال قرارداشته و ضخامت چینه‌ها در این مقطع از۱۸ تا حداکثر۲۴ سانتیمترتغییر می‌کند. معیار دیرینه تراز استفاده شده در سایت دوم براساس بالاترین داغاب سیلاب برجای مانده بر روی دیواره بسترکانیونی رودخانه است. با توجه به رنگ روشن و نخودی آهک کلات که نقش اصلی در شکل‌گیری کانیون کلات دارد و همچنین با توجه به اینکه سیلاب‌های رودخانه کلات اغلب با بار رسوبی غلیظ همراه هستند آثار سیلاب‌های رخداده به‌وسیله داغاب و آثار جراحاتی که بر روی دیواره کانیون برجای گذاشته‌اند به راحتی قابل تشخیص هستند. بالاترین داغاب شناسایی شده روی دیواره کانیون رودخانه کلات ۵/۳۰ متر از کف کانال اندازه‌گیری شده است. در سایت شماره سه به دلیل کاهش انرژی سیلاب‌ها، رسوبات آب‌راکدی با تعداد و ضخامت بیشتری برجای گذاشته شده است (شکل ۷). بنابراین پس از شناسایی سایت‌های مورد نظر برای محاسبه حداکثر دبی سیلاب و بالاآمدن سطح آب با استناد به سطح رسوبات آب‌راکدی مربوط به سیلاب‌های قدیمی و شواهد داغاب نهایی سیلاب به برآورد و مدل سازی دبی سیلاب‌های رودخانه پرداخته‌ایم. برای این منظور ابتدا از مقاطع مورد نظر در مسیر رودخانه نقشه‌برداری شده سپس به محاسبه‌ی دبی با استفاده از فرمول‌های رایج مانند رابطه مانینگ پرداخته‌ایم که نتایج آن در جدول شماره ۳ ارائه شده که باتوجه به نزدیکی این سایت‌ها به یکدیگر و عدم پیوستن هرگونه شاخه فرعی به آبراهه اصلی در حد فاصل این سایت‌ها، میزان دبی‌های محاسبه شده در هردو سایت بسیار نزدیک به یکدیگر است.



شکل۶: موقعیت برداشت سایت‌های نمونه رسوبات آب‌راکدی بر روی تصاویر ماهواره‌ای (ماهواره لندست ۸، ۲۰۱۲).

شکل۷: الف– محل برداشت رسوب آب‌راکدی در سایت شماره ۳، ب– مقطع چینه‌شناسی رسوبات آب‌راکدی در سایت شماره ۳

جدول ۳: برآورد سیلابی بازسازی شده بر مبنای شواهد پالئواستیج.

توضیح سایت‌ها	A/M^2	محیط خیس-شده (M)	R	شیب (S) M/M	N	دبی M^3/S	سرعت جریان به متر در ثانیه
روی بالاترین لایه رسوبات سیلابی در سایت شماره یک	۷۱	۲۳/۴	۳/۰۳	۰/۰۱۶۲	۰/۰۳۵	۵۴۰/۲۴۲	۷/۷۶
میزان دبی در سایت شماره دو(بر اساس داغاب سیلاب)	۸۵/۳۶	۳۰/۳	۲/۸۱۷	۰/۰۱۶۵	۰/۰۳۵	۶۲۴/۴۳	۷/۳۱۵
روی بالاترین لایه رسوبات سیلابی سایت شماره سه	۷۵	۲۵/۸	۲/۹	۰/۱۶۲	۰/۰۳۵	۵۵۴/۲۵	۷/۳۹

مطالعه روند تغییرات شهر کلات طی سال‌های ۹۲-۱۳۷۲ نشان می‌دهد که ما شاهد گسترش ساخت و سازها توسط بخش خصوصی و یا دولتی و ادامهٔ آن (شکل ۸) در قالب ساخت و سازهای مختلفی چون احداث واحدهای مسکونی، دامی، احداث انبارهای شالی یا ساختمان‌های دولتی و غیره بوده‌ایم. براساس نقشه‌های جدید شهری، توسعه ساخت-وسازها به‌طور عمده به سمت ورودی شهر و محله دربند بوده، به‌طوری که بستر و حریم رودخانه مورد تجاوز بیشتری قرار گرفته است. دومین ناحیه از این نظر در پایین‌دست دبیرستان امام خمینی و در محدوده نیروگاه برق قرار داشت.

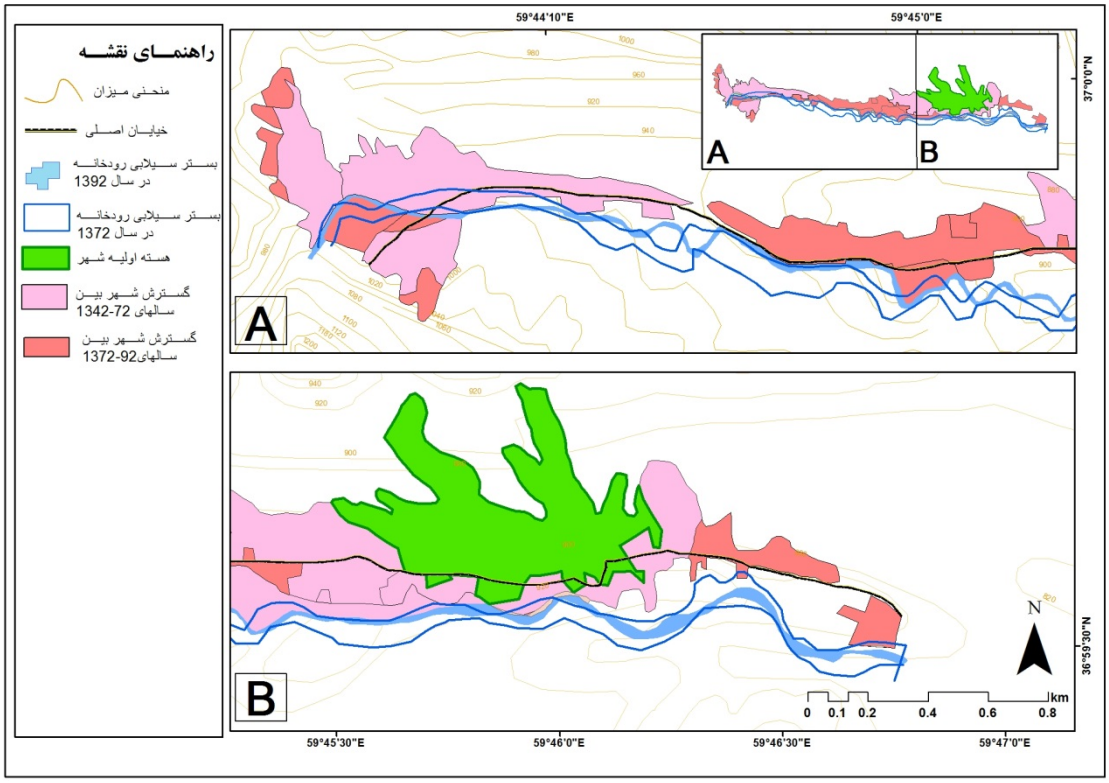
براساس پیش‌نویس دستورالعملِ تعیین حریم کمی رودخانه‌ها که توسط شرکت مدیریت منابع آب ایران تهیه گردیده، برای رودخانه‌های با دبی حداکثر لحظه‌ای ۳۰۰ تا ۶۰۰ مترمکعب در دوره بازگشت‌های ۲۵ سال به بالا، حریم کمی ۱۷ تا ۲۰ متر در نظر گرفته شده است (جدول ۴) لذا با توجه به نتایج حداکثر دبی برآوردشده از طریق روش‌های پالئوسیلاب (دبی ۶۴۰ مترمکعب برثانیه) و همچنین با درنظر گرفتن بالاترین دبی ثبت شده در دوره آماری ۲۵ ساله توسط ایستگاه هیدرومتری کلات (۳۱۷ مترمکعب)، حریم ۱۵ متری برای رودخانه کلات در نظر گرفته شد. جدول ۵ مساحت پهنه مناطق مسکونی، در معرض خطر سیلاب در حریم رودخانه را نشان می‌دهد.

جدول ۴: محدوده حریم رودخانه‌ها وزن شاخص دبی ۲۵ ساله(وزارت نیرو شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۴:۱۳۸۹).

محدوده دبی (m^3/s)	۰–۱۰	۱۰–۵۰	۱۰۰– ۵۰	۲۰۰– ۱۰۰	۳۰۰– ۲۰۰	۶۰۰– ۳۰۰	۶۰۰<
حریم (m)	۱–۳	۳–۶	۶–۱۰	۱۰–۱۵	۱۵–۱۷	۱۷–۲۰	۲۰

جدول ۵: محاسبه مناطق مسکونی در معرض خطر سیلاب.

پهنه مناطق مسکونی در معرض خطر سیلاب در ساحل شمالی (چپ)	۱۰۲۱۱/۶ متر مربع (در محدوده دربند محله)	جمع:۲۲۲۱۶/۵ مترمربع
	۸۵۹۵/۲ مترمربع (در محدوده دیوار ساحلی)	
	۳۱۶۸/۲ مترمربع (محدوده شرکت برق)	
	۲۴۱/۵ مترمربع (در محدوده بیمارستان)	
پهنه مناطق مسکونی در معرض خطر سیلاب در ساحل جنوبی (راست)	۷۹۹۹/۹۳ مترمربع (در محدوده دربند محله)	جمع: ۷۹۹۹/۹۳ مترمربع



شکل ۸: بررسی روند تغییرات شهر کلات و بستر رودخانه

(سازمان نقشه‌برداری کشور: عکس‌های هوایی سال‌های ۱۳۴۲و۱۳۷۲ و تصاویر ماهواره لندست سال‌های ۲۰۱۲ و۲۱۰۳).

نتیجه‌گیری

در علم هیدرولوژی مهندسان اغلب تمایل به استفاده از داده‌های آماری ساده و فراگیر برگرفته از داده‌های هیدرولوژیک موجود و همچنین داده‌های مطالعات قبلی نسبت به داده‌های پیچیده، و یا محاسبات جدید برای مطالعات خود دارند. روش‌های مختلفی جهت برآورد دبی اوج در حوضه‌های آبریز وجود دارد که در این تحقیق ۲۱ روش آماری جهت انجام این امر مورد استفاده قرار گرفته و سپس نتایج آنها در دوره بازگشت‌های ۲ تا ۱۰۰۰ سال نسبت به یکدیگر مقایسه گردید که با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش مشخص گردید که درحوضه‌های آبریز دارای آمار هیدرومتری کوتاه مدت مانند رودخانه کلات، روش‌های آماری برای انجام تحلیل‌های فراوانی و دوره بازگشت‌های طولانی‌مدت چندان مورد قبول نمی‌باشد. لذا این آمارها برای انجام پروژه‌های در دست اجرا و طرح‌های مدیریتی شهر کلات و همچنین حد حریم رودخانه کلات در محدوده شهر، بایستی مورد تجدید نظر قرار گیرد، اما نتایج حاصل از داده-های پالئوسیلاب‌نشان داد که این داده‌ها بسیار نزدیک به یکدیگر هستند و استفاده از نتایج دیرینه تراز در برنامه‌ریزی-های مربوط به رودخانه و ریسک سیلاب شهری به‌عنوان امری مهم و ضروری در نظرگرفته شود. بر اساس نتایج حاصل از تعیین حریم رودخانه کلات بر اساس روش هیدرولوژی پالئوسیلاب محدوده وسیعی از این شهر در معرض خطر سیلاب قرار دارد که این محدوده بیشتر در قسمت ورودی شهر و محله دربند قرار دارد و بایستی در برنامه‌ریزی‌های آینده به آن توجه ویژه شود. با توجه به عدم تجهیز عموم حوضه‌های آبریز کشور به آمار هیدرومتری بلند مدت، و بعضاًعدم تجهیزات اندازه‌گیری، استفاده از داده‌های دیرینه تراز امری اجتناب‌ناپذیر است. همچنین با توجه به نتایج قابل اطمینان حاصل از روش پالئوسیلاب، می‌توان در مناطقی با شرایط یکسان با بهره‌گیری از روش و نتایج پالئوسیلاب نسبت به خطر سیلاب در مسیل‌ها و دشت‌های سیلابی و مناطق ساحل نشین رودخانه‌ها اقدام نمود.

منابع

– اسماعیلی، ر، و م. حسین‌زاده، (۱۳۸۸)، روش مطالعه دیرینه سیلاب در ژئومورفولوژی رودخانه، مجله سپهر، شماره۷۱، ۸۰-۷۷.

– اسماعیلی، رضا، م. م. حسین‌زاده و م. متولی، (۱۳۹۰)، تکنیک‌های میدانی در ژئومورفولوژی رودخانه‌ای، چاپ اول، تهران، انتشارات لاهوتی . صفحه ۱۵۴.

– تصاویر ماهواره‌ای ماهواره لندست ۸. سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳.

– جهادی‌طرقی، م.، س. ر. حسین‌زاده، (۱۳۹۲)، هیدرولوژی پالئوسیلاب، رویکرد ژئومورفولوژی مدرن در ارزیابی مخاطره سیلاب، جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوم، شماره هشتم، ص ۱۶۲-۱۳۳.

– حسین‌زاده، س. ر.، م. خانه باد، ب. برومنددانش، (۱۳۹۲). برآورد حداکثر سطح سیلاب در رودخانه درونگر خراسان، دومین همایش ملی انجمن ایرانی ژئومورفولوژی، (۱۳۹۲)، انجمن ایرانی ژئومورفولوژی، تهران، صص ۱۰۶-۱۰۴.

– حسین‌زاده، س. ر، م. خانه باد، م. روانبخش، (۱۳۹۲). برآورد حداکثر سطح سیلاب در رودخانه قره آغاج برمبنای روش-های پالئوسیلاب، مجموعه مقالات همایش بین‌المللی جغرفیا و مخاطرات محیطی، شهریور۱۳۹۲، تهران، ص۱۰-۱.

– حسین‌زاده، س. ر، م. خانه باد، و ع. خسروی، (۱۳۹۲). مکان یابی و احداث سازه‌های هیدرولیکی بر مبنای روش‌های پالئوسیلاب (نمونه موردی: رودخانه کلات استان خراسان رضوی)، دومین همایش ملی انجمن ایرانی ژئومورفولوژی، انجمن ایرانی ژئومورفولوژی، تهران،صفحه ۱۲۲-۱۲۶.

– حسین‌زاده، س.ر، م. جهادی‌طرقی (۱۳۹۱). بازسازی سیلاب‌های قدیمی رودخانه سه‌هزار با استفاده از دندروژئومورفولوژی، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال اول، شماره‌ی ۲، ص ۵۳-۲۹.

– حسین‌زاده، س.ر، م. جهادی‌طرقی، (۱۳۸۵)، تجزیه و تحلیل ژئومورفولوژیکی سیلاب‌های کاتاستروفیک رودخانه مادرسو، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، دوره ۴، شماره ۷، ص ۱۱۵-۸۹.

– حسین‌زاده، س.ر، م. جهادی‌طرقی، (۱۳۹۱). مطالعه‌ی سیلاب‌های قدیمی با استفاده از رسوبات آب راکد (مطالعه‌ی موردی: رودخانه‌ی درونگر خراسان)، مجله پژوهش‌های ژئومرفولوژی کمی،دوره اول، شماره‌ی ۱، صص. ۱۰۸-۸۷.

– سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور. ۱۳۷۸، نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ کلات، برگ‌های کلات و قله-زو.

– سازمان نقشه‌برداری کشور، عکس‌های هوایی بلوک مشهد. باندهای ۸-۱. مقیاس:۱:۲۰۰۰۰سال ۱۳۴۲ و ۱:۴۰۰۰۰ سال ۱۳۷۲.

– شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی، (۱۳۸۰)، گزارش سیل مخرب ۱۳۸۰در مناطق کلات، درگز و شمال‌غرب شیروان، چاپ اول، انتشارات شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ص ۳۰-۱.

– مرکز ملی آمار ایران، (۱۳۹۰)، نتایج سرشماری ، آدرس اینترنتی *http://www.amar.org.ir*.

– مهدوی، م، (۱۳۸۸)، هیدرولوژی کاربردی، چاپ ششم، جلد دوم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۱۸۹.

– وزارت نیرو، شرکت مدیریت منابع آب ایران، (۱۳۸۹)، پیش‌نویس تعیین حریم کمی رودخانه‌ها (دفتر مهندسی رودخانه-ها و سواحل)، چاپ اول، انتشارات شرکت مدیریت منابع آب ایران، ص ۳۸.

- Baker V.R. 2013, **Global Late Quaternary Fluvial Paleohydrology: With Special Emphasis on PaleofloodandMegafloods**, John F. Shroder (ed.) Treatise on Geomorphology. .Volume 9, pp. 511–527

- Baker, V. R., 2008, **Paleoflood hydrology: origin, Progress, prospects**, Geomorphology, pp 101, 1-13.

- Baker, V.R., 1978, **Adjustment of fluvial systems to climate and source terrain intropical and subtropical environments**, Miall, A.D. (Ed.), Fluvial Sedimentology, Canadian Association of Petroleum Geologists, Memoir 5, Calgary. pp. 211–230.
- Baker, V.R., 1987, **Paleoflood hydrology and extreme flood events**, Journal of Hydrology 96, pp 79–99.
- Benito, G, Sanchez-Moya, Y, Soena, A., 2003a, **Sedimentology of high-stage flood deposits of the Tagus River, central Spain**, Sedimentology 157, pp 107–132.
- Benito, G, Thorndy Craft. V. R., 2005, **paleoflood hydrology and Its role in applied hydrological sciences**, Journal of Hydrology 313, pp 3-15.
- DeWaele, J., Martina, M.L.V., Sanna, L., Cabras, S., 2010, **Flash flood hydrology in karstic terrain: Flumineddu Canyon, central-east Sardinia**, Geomorphology 120, pp 162–173.
- Ely, L., Enzel, Y., Baker, V.R., Cayan, D.R., 1993, **A 5000-year record of extreme floods and climate change in the southwestern United States**. Science 262, 410–412.
- Ely, L.L., Baker, V.R., 1985, **Reconstructing paleoflood hydrology with slackwater deposits: Verde River, Arizona**. Physical Geography 6, pp 103–126.
- Hoffmann, T., Lang, A., Dikau, R., 2008, **Holocene river activity: analyzing 14Cdated fluvial and colluvial sediments from Germany**. Quaternary Science Reviews 27, pp 2031–2040.
- Jaiswal, M.K., Chen, Y.G., Kale, V.S., Achyuthan, H., 2009, **Residual luminescence in Quartz from slack water deposits in Kaveri Basin, south India: A single aliquot approach**. Geochronometria 33, pp 1–8.
- Kidson, R.L., Richards, K.S., Carling, P.A., 2005, **Hydraulic model calibration for extreme floods in bedrock-confined channels: case study from northern Thailand**. Hydrologic Processes 20, pp 329–344.
- Kochel, R.C., Baker, V.R., 1982, **Paleoflood hydrology,** Science 215, pp 353–361.
- Lewin, J, Macklin, M.G., Woodward, J.C, 1991, **Late Quaternary fluvial Sedimentation**
- M.J., 2001, **Large floods and climatic change during the Holocene on the Ara River, central Japan**. Geomorphology 39, pp 21–37.
- Partridge, J.B., Baker, V.R., 1987, **Paleoflood hydrology of the Salt River, Arizona**.Earth Surface Processes and Landforms 12, pp 109–125.
- Patton, P.C., Baker, V.R., 1977. **Geomorphic response of central Texas stream channels to catastrophic rainfall and runoff. In: Doehring, D. (Ed**.), Geomorphology of Arid and Semi-Arid egions. Allen and Unwin, London, pp.
- Starkel, L., Soja, R., Michczynska, D.J, 2006, **Past hydrological events reflected in-Holocene history of Polish rivers**. Catena 66, pp 24–33.
- Thorndycraft, V.R, Benito, G, Rico, M, Sa´nchez-Moya, Y, Sopen˜a, A, Casas, A, 2005**, A long-term flood discharge record derived from slackwater flood deposits of the Llobregat River**, NE Spain. Journal of Hydrology 313, p 16–31.
- Werritty, A, Paine, J.L, McDonald, N., Rowan, J.S., McEwen, L.J., 2006, **Use of multi-proxy flood records to improve estimates of flood risk: Lower Tay River**, Scotland, Catena 66, pp 107–119.