

مطالعه سیلاب‌های بزرگ رودخانه کلات با استفاده از شواهد دیرینه تراز

سید رضا حسین‌زاده*: دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد
محمد خانه‌باد: استادیار رسوب‌شناسی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد
عذرا خسروی: کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

بازسازی هیدرولوژی سیلاب‌های قدیمی و مطالعه آثار و شواهد آنها می‌تواند به عنوان کلید مهمی در شناخت رفتار هیدرولوژیکی رودخانه‌ها و همچنین اقلیم مؤثر بر آنها بکار رود. در این مطالعه ابتدا با بازدیدهای دقیق، سایت‌های رسوبی آبراکد مورد شناسایی قرار گرفته و سپس با استفاده از تحلیل‌های چینه‌شناسی در محل، نمونه‌های رسوب برای مطالعه دقیق‌تر و انجام آزمایش‌های رسوب‌شناسی به آزمایشگاه انتقال داده شده و سپس تحلیل‌های رسوب‌شناسی رسوبات آبراکدی مانند پارامترهای آماری و ویژگی‌ها و منشأ رسوبات مشخص شده است. در ادامه جهت برآورد حداکثر سطح سیلاب با توجه به ارتفاع رسوبات آبراکدی و شواهد داغاب سیلاب‌های قدیمی، پس از مطالعه ژئومتری بستر رود در ریچ مورد مطالعه و سایت‌های نمونه، حداکثر اوج سیلاب در آبراهه اصلی تخمین زده شده است. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که دبی اوج سیلاب در دو سایت مطالعاتی بر مبنای سطح رسوبات آبراکدی به ترتیب ۵۵۴/۲۵ و ۵۴۰/۲۴ مترمکعب و براساس داغاب سیلاب ۶۲۴/۴۳ متر مکعب بر ثانیه تخمین زده شده است. همچنین تغییر در توالی چینه‌های سیلابی و خصوصیات رسوب‌شناسی آن حکایت از تغییر منشأ سیلاب‌ها و کوتاه‌تر شدن تداوم و افزایش شدت آنها در هزاره‌ها و سده‌های اخیر دارد.

واژگان کلیدی

پالئوسیلاب، پالئوژئومورفولوژی، رودخانه کلات، رسوبات آبراکدی.

مقدمه و تعاریف

پالئوسیلاب‌ها سیلاب‌های گذشته و قدیمی هستند که بوسیله اندازه‌گیری‌های رایج هیدرولیکی، یا مشاهده و ثبت به وسیله غیر هیدرولوژیست‌ها گزارش نشده‌اند، ثبت پالئوسیلاب‌ها نه به وسیله انسان بلکه بوسیله طبیعت انجام می‌شود و این وجه تمایز آنها از سنجش‌های ابزاری و سیستماتیک است. برخلاف مشاهده مستقیم انسان، ثبت طبیعی پالئوسیلاب‌ها از طریق شاخص‌های متنوعی شکل می‌گیرد و سپس توسط هیدرولوژیست‌های باتجربه پالئوسیلاب، تفسیر می‌شود (بیکر، ۲۰۰۸: ۱). ثبت طبیعی پالئوسیلاب‌ها، یک معیار مناسب از سیلاب‌های گذشته را، به همان روشی که یک فسیل یک معیار مناسب برای فعالیت موجودات زنده گذشته ارائه می‌دهد را فراهم می‌آورد. درست همان‌گونه که یک پالئونولوژیست مجرب می‌تواند اندازه، وزن و حتی سبک حرکت خزندگان قدیمی را تعیین نماید، هیدروژئومورفولوژیست پالئوسیلاب نیز می‌تواند ویژگی‌های سیلاب‌های گذشته را کشف و معرفی نماید. داده‌های پالئوسیلاب را می‌توان به همان روشی که داده‌ها در مورد صحنه جنایت توسط یک کارآگاه خبره قابل اطمینان محسوب می‌شود، قابل اطمینان دانست (بیکر، ۲۰۱۳: ۵۱۴). از جمله این داده‌ها می‌توان به اثرات فیزیکی بر بستر یا پیکر پوشش گیاهی (خراش‌ها یا جراحات باقیمانده روی تنه درختان و بسترهای سنگی)، رسوبات حمل شده توسط سیلاب یا سایر مواد همراه سیلاب (سیلاب‌های غلیظ) اشاره کرد. معتبرترین و عمومی‌ترین معیارهای دیرینه-تراز در هیدرولوژی پالئوسیلاب نهشته‌های آب‌راکدی هستند (بیکر، ۱۹۸۷). به این ترتیب که در اثنای وقوع مراحل سیلابی، با کاهش سرعت آب در برخی از نواحی کانال، خصوصاً دهانه شاخه‌های فرعی، محل گرداب-شدگی و محل برگشت جریان آب این رسوبات به صورت موادی ریزدانه مانند رس و سیلت و ماسه ته‌نشست و رسوب می‌نمایند (جهادی طرقي و حسین راده ۱۳۹۲). با استفاده از تفسیر چینه‌نگاری این رسوبات، می‌توان اطلاعات تفصیلی زیادی از حوادث سیلابی چند هزار ساله گذشته، به دست آورد و حتی می‌توان در ارزیابی تغییرات آب و هوایی کواترنر از آنها استفاده نمود.

پیشینه تحقیق

مروری کوتاه بر روند شکل‌گیری علم پالئوسیلاب نشان می‌دهد که این شاخه علمی عمر چندانی نداشته و بطور رسمی بوسیله کوچل و بیکر در سال ۱۹۸۲ معرفی شده (بنیتو^۱ و تورندی‌کرافت^۲، ۲۰۰۵: ۳) و پس از آن مطالعات بسیار زیادی در سرتاسر جهان انجام گرفته که به طور خلاصه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: در جنوب غرب ایالات متحده آمریکا کارهای الی^۳ و بیکر، در تگزاس غربی (۱۹۸۵) مک کوپین^۴ و همکاران، در اوکلاهاما (۱۹۹۳) انزل^۵ و همکاران (۱۹۹۴) و جرت^۶ و همکاران در کلرادو (۲۰۰۰) و وب^۷ و همکاران (۲۰۰۲) در شمال آریزونا و لویش^۸ در نیومکزیکو (۲۰۰۲) قابل ذکر است. در استرالیا: بیکر و همکاران

^۱-Benito

^۲-Thorndy Craft

^۳-Ely

^۴- K.C.Mecqueen

^۵- Y. Enzel

^۶-R,D Jarret,

^۷- R.H.Webb

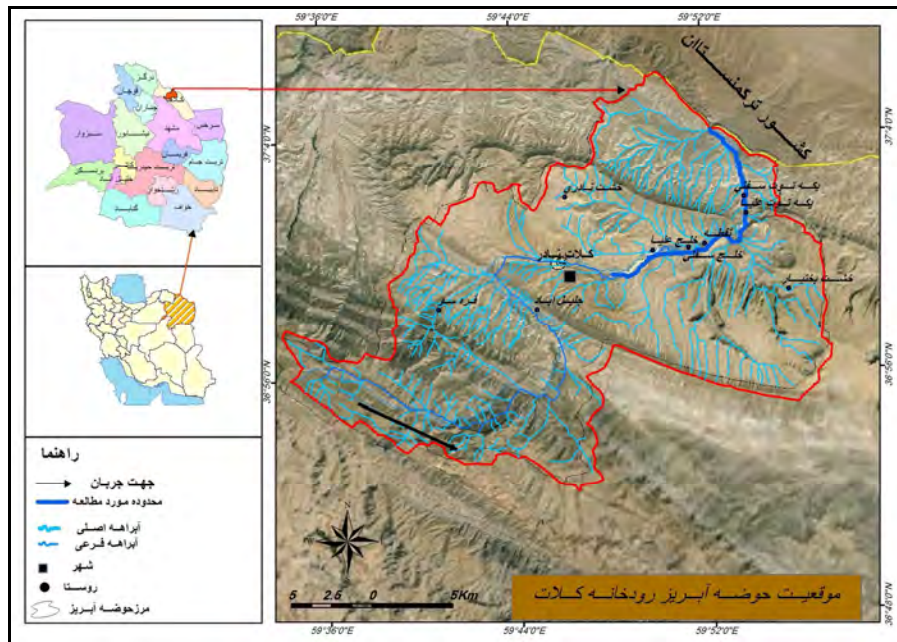
^۸- D.R Levish

(۱۹۸۳) در هند: الی و همکاران (۱۹۹۶) و کیل^۱ (۱۹۹۷ و ۲۰۰۸) و در اروپا بنیتو و همکاران (۲۰۰۳ و ۲۰۰۵) و تورندیکراف و همکاران (۲۰۰۵) مطالعات ارزشمندی را انجام دادند. در ایران سابقه مطالعات پالئوهیدرولوژی بسیار کوتاه بوده و به کمتر از یک دهه می‌رسد، در این زمینه می‌توان به مطالعات حسین‌زاده و جهادی‌طرقی در حوضه‌های آبریز رودخانه‌های مادرسو (۱۳۸۵)، درونگر خراسان (۱۳۹۱) و سه هزار تنکابن (۱۳۹۱) اشاره نمود.

از دیگر تلاش‌های صورت گرفته در ایران می‌توان به مطالعات حسین‌زاده و همکاران وی خانه‌باد، روانبخش، خسروی و برومند دانش که به‌طور همزمان در کانیون‌های آهکی واقع در کپه-داغ و زاگرس صورت گرفته، اشاره نمود. حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۲) مطالعات خود را در رودخانه قره‌آغاج استان فارس که ایستگاه هیدرومتری آن در اثنای سیلاب سال ۱۳۶۵ ویران شده بود انجام دادند، ایشان براساس رسوبات سیلابی و خطوط داغاب‌سیلاب، دبی اوج در محل ایستگاه مذکور را $13777 \text{ m}^3/\text{s}$ برآورد نمودند که با برآورد انجام شده به وسیله سازمان‌های مسئول در استان فارس (۶۴۰۹ مترمکعب) اختلاف چشمگیری را نشان داد. حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۲) پس از وقوع سیلاب‌های مکرر در رودخانه کلات در استان خراسان رضوی و خساراتی که هر ساله این سیلاب‌ها به شهر کلات وارد می‌کردند متوجه لزوم به کارگیری شواهد پالئوسیلاب در ارزیابی بهتر خطر سیلاب‌های شهری شدند و با استفاده از شواهد دیرینه‌تراز، اقدام به بازسازی سیلاب‌های قدیمی و برآورد حداکثر سیلاب در کانیون کلات نادری نمودند. در مطالعه دیگری حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۲) در کانیون شاه‌رگ که یکی از شاخه‌های اصلی رودخانه درونگر استان خراسان رضوی است به مطالعه شواهد سیلاب‌های قدیمی با استفاده از رسوبات آب‌راکدی پرداخته و حد بالاترین سیلاب در رودخانه مورد مطالعه را $992/64$ مترمکعب برآورد نمودند. در پژوهشی دیگر جهادی‌طرقی و حسین‌زاده (۱۳۹۲) در یک مقاله مروری نسبتاً جامع به معرفی اصول و روش‌های مطالعات پالئوسیلاب و تکنیک‌های مربوط به آن پرداخته‌اند (جهادی‌طرقی و حسین‌زاده، ۱۳۹۲).

معرفی منطقه مورد مطالعه

محدوده‌ی حوضه آبریز رودخانه کلات با مختصات $36^{\circ} 52' 20''$ تا $37^{\circ} 06' 04''$ عرض شمالی و $59^{\circ} 34' 00''$ تا $59^{\circ} 58' 08''$ طول شرقی در بخش شمال شرقی استان خراسان رضوی و در دامنه‌های شمالی ارتفاعات هزارمسجد قرار گرفته است. حوضه مورد نظر از غرب به حوضه آبریز مشهد-چناران، از شرق و شمال شرق به مرز ایران و ترکمنستان، از شمال به حوضه آبریز ارچنگان و از جنوب به حوضه آبریز رودخانه قلعه‌نو محدود می‌شود (شکل شماره ۱). رودخانه کلات در مسیر خود به سمت مرز ایران و ترکمنستان جریان یافته سپس از محدوده مطالعاتی و مرز کشور خارج و نهایتاً به رودخانه قره‌قوم هریرود می‌پیوندد. با توجه به عبور رودخانه کلات از میان بافت فیزیکی شهر کلات و تغییرات انسانی انجام شده در مورفولوژی کانال رود، سایت‌های مطالعاتی این مقاله در امتداد کانیون کلات نادری و در پایین‌دست شهر کلات انتخاب شده است. این کانیون بر اثر فرسایش رودخانه‌ای و پدیده تحمیل در سازندهای ضخیم‌لایه آهکی که از واحدهای چینه-شناسی مهم کپه‌داغ است به‌وجود آمده است.



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه

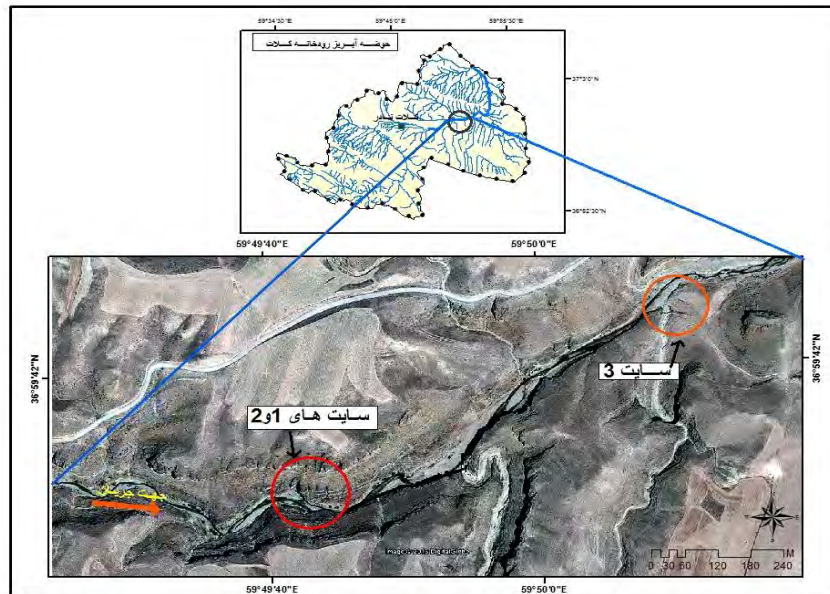
مواد و روش‌ها

این پژوهش بر پایه‌ی یک روش تاریخی- تحلیلی و سپس تجربی صورت گرفته و در آن با استفاده از اثرات و شواهد سیلاب‌های بزرگ و قدیمی به مطالعه سیلاب‌های رخ داده در حوضه آبریز رودخانه کلات پرداخته شده است. همچنین برای تشخیص و تمایز هریک از وقایع سیلابی، داده‌های چینه‌شناسی و رسوب‌شناسی رسوبات آب‌راکدی^۱ (SDW) مورد بررسی قرار گرفته است. برای محاسبه دبی سیلاب‌ها، ژئومتری کانال رود طی عملیات میدانی گسترده مورد بررسی قرار گرفته و داده‌های لازم جمع‌آوری شده است. ابزارهای اصلی پژوهش در مطالعه مقدماتی شامل نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ کلات، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای (ماهواره لندست ۸ سالهای ۲۰۰۸، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۳) بوده است. در عملیات جمع‌آوری رسوبات و ثبت شواهد چینه‌شناسی از دوربین عکاسی، متر، GPS، دوربین نقشه‌برداری و ابزار جمع‌آوری رسوب استفاده شده است. با توجه به اینکه رسوبات آب‌راکدی در موقعیت‌های ویژه ژئومورفولوژیکی نهشته می‌شوند در ابتدا برای مکان‌یابی احتمالی سایت‌ها به مطالعه دقیق عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی پرداخته و در گام بعد عملیات پیمایش در امتداد کانیون معروف به کلات انجام و سایت‌های مناسب جهت رسوبات آب‌راکدی شناسایی شده است. در مرحله بعد مقطع کامل رسوبات ترسیم و تعداد ۲۵ نمونه رسوب از ۲۵ واحد رسوبی سیلابی برداشت و به آزمایشگاه رسوب‌شناسی دانشکده علوم دانشگاه فردوسی مشهد منتقل و عملیات دانه‌سنجی رسوبات انجام و همچنین از تعدادی از نمونه‌ها، جهت شناسایی ترکیب رسوبات سیلابی، مقاطع میکروسکوپی تهیه گردیده است. با توجه به اینکه برای محاسبه دبی سیلاب‌ها از رابطه تغییر یافته مانینگ استفاده می‌شود بنابراین داده‌هایی مانند شعاع هیدرولیک، شیب و... مقاطع عرضی و طولی سایت‌های مورد نظر نقشه برداری شده است.

^۱ - Slack Water Deposits (SWD)

معرفی سایت‌های مطالعاتی پالئوسیلاب

رسوب گذاری آب راکد در بیشتر سیستم‌های رودخانه‌ای رخ می‌دهد اما کانیون‌های سنگ بستری به علت مقاومت ابعاد کانال مناسب‌ترین موقعیت برای بازسازی دبی دیرینه سیلاب‌هاست (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۸۴). کانال‌های آبرفتی در مقایسه با کانیون‌ها و کانال‌های حفر شده در سنگ‌های سخت بستری در اثنای وقوع سیلاب‌ها از مقاومت کافی برخوردار نبوده و سیلاب به آسانی قادر به حفر بستر آن‌ها می‌باشد. در محدوده مورد نظر با توجه به اینکه رودخانه کلات از دو سرشاخه اصلی جلیل آباد و قره سو سرچشمه می‌گیرد بهترین محل جهت برآورد دبی، پس از بهم پیوستن این دو سر شاخه می‌باشد که محل تلاقی این دو سرشاخه در ابتدای ورودی شهر کلات و در محل استقرار ایستگاه هیدرومتری می‌باشد که این محدوده به علت عبور جاده از بستر رودخانه، ساخت و سازهای صورت گرفته و گسترش بافت فیزیکی شهر، و همچنین ساماندهی رودخانه، بستر رودخانه دستخوش تغییرات قابل ملاحظه‌ای شده و لذا از شرایط مناسبی جهت مطالعات پالئوسیلاب برخوردار نیست. لذا بهترین مکان هم به لحاظ بکر بودن شرایط ژئومورفیک و هم به لحاظ مقاومت ابعاد کانال، در پایین دست شهر کلات انتخاب شدند. (شکل ۲). سایت اول، در یک تورفتگی بزرگ در دیواره‌ی بستر رود و در سنگ سخت آهکی در ساحل چپ رودخانه به فاصله ۱/۶۷ کیلومتری از ابتدای کانیون کلات شکل گرفته و رسوبات آب‌راکدی نهشته شده در آن، درست روی سنگ بستر دیواره کانال قرار دارد. در این سایت با توجه به چینه‌شناسی رسوبات آب‌راکدی، آثار ۹ سیلاب به نسبت بزرگ تشخیص داده شد. معیار دیرینه‌تراز استفاده شده در سایت دوم بر اساس بالاترین داغاب سیلاب برجای مانده بر روی دیواره بستر کانیونی رودخانه است که ۵/۳۰ متر از کف کانال اندازه‌گیری شده است. سایت سوم در بالادست روستای خلیج و در دهانه اتصال یک شاخه فرعی به رودخانه اصلی قرار دارد (شکل ۳). دهانه شاخه‌های فرعی به دلیل شرایط ویژه‌ای که دارد یکی از مکان‌های مناسب تجمع رسوبات آب‌راکد است. معمولاً در بیشتر رگبارها بین اوج دبی شاخه اصلی و شاخه‌های فرعی فاصله زمانی وجود دارد، بطوری که ابتدا شاخه‌های فرعی آب و رسوب خود را تخلیه نموده و اوج دبی رودخانه اصلی بعد از آن رخ می‌دهد. وقتی سیلاب رودخانه اصلی به دهانه شاخه‌های فرعی می‌رسد، پس آب‌هایی بوجود می‌آورد که آب پر از رسوب را به داخل شاخه‌های فرعی می‌راند. همان‌طور که سرعت آب در داخل شاخه فرعی سریعاً کاهش می‌یابد، رسوبات معلق در دهانه آن برجای گذاشته می‌شوند. رسوبات شاخه فرعی در مقایسه با رسوبات آبراهه اصلی بدلیل شیب بیشتر کانال‌های فرعی نسبت به کانال اصلی، منشاء محلی داشته و درشت‌دانه‌ترند. همین ویژگی باعث می‌شود تا بتوان رسوبات آبراهه فرعی را از رسوبات آب راکد نهشته شده بوسیله آبراهه اصلی تشخیص داد (حسین‌زاده و جهادی‌طرقی، ۱۳۹۱: ۹۱). در این سایت عملکرد جریان رودخانه در طول زمان‌های متمادی موجب زیربری کناری در دیواره آهکی بستر آبرفتی شده و دیواره کانال به صورتی یک پناهگاه سنگی بسیار مناسب درآمده است. طی جریان‌های سیلابی هنگامی که جریان رودخانه اصلی به داخل دهانه شاخه فرعی برمی‌گردد رسوبات معلق همراه سیلاب در داخل این پناهگاه رسوب کرده و توالی چینه‌شناسی آن به خوبی در طی زمان حفظ شده است، در نتیجه دارای شرایط بسیار عالی جهت مطالعه و بررسی رسوبات آب‌راکدی می‌باشد.



شکل (۲) موقعیت سایت‌های نمونه رسوبات بر روی تصاویر ماهواره ای (تصاویر ماهواره لندست، ۲۰۱۳).

تجزیه و تحلیل رسوبات آب‌راکدی و برآورد حداکثر دبی سیلابی

از مهم‌ترین مراحل مطالعه‌ی سیلاب‌های قدیمی تحلیل چینه‌شناسی رسوبات سیلابی و تعیین تعداد سیلاب‌هاست (حسین‌زاده و جهادی‌طرقی، ۱۳۹۱: ۹۷). از تجزیه و تحلیل و دانه‌سنجی رسوبات آب‌راکدی اطلاعات مفیدی در مورد سیلاب‌هایی که این رسوبات را حمل نموده‌اند به دست می‌آید. در تجزیه و تحلیل رسوبات سیلابی به منظور بررسی و بازسازی سیلاب‌های گذشته، تشخیص ارتباط بین چینه‌های رسوبی آب‌راکدی، اندازه دانه‌ها، گردشگری، خواص لایه‌بندی رسوبات، جورشدگی و همچنین بافت رسوبات و ضخامت چینه‌ها و غیره بایستی به دقت مورد مطالعه قرار گیرد.

در تفکیک وقایع سیلابی، تفاوت رنگ در چینه‌های مورد مطالعه یکی از پارامترهای اساسی جهت تشخیص واحدهای رسوبی است. از بهترین ویژگی‌های رسوبات نهشته شده در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند حوضه آبریز رودخانه کلات تفاوت رنگ بارز آن‌هاست که به‌خوبی نواحی منشأ رسوبات را روشن می‌نماید. از طرفی ضخامت چینه‌ها و بافت رسوبات یکی دیگر از ویژگی‌های تمایز، هریک از چینه‌های نهشته‌شده می‌باشد.

ضخامت کل مقاطع رسوبات در سایت شماره‌ی (۱) ۸۱ سانتی‌متر بوده که پایین‌ترین لایه روی لیتولوژی حاصل از حفره ایجاد شده در امتداد دیواره سنگی کانال قرار داشته و ضخامت چینه‌ها در این مقطع از ۱۸ تا حداکثر ۲۴ سانتی‌متر تغییر می‌کند. این چینه‌ها در سایت شماره (۲) به دلیل کاهش انرژی سیلاب‌ها، رسوبات آب‌راکدی با تعداد و ضخامت بیشتری بر جای گذاشته شده است. ضخامت چینه‌ها در این مقطع از ۱/۵ تا ۲۴ سانتی‌متر متغیر است و آثار ۲۵ سیلاب بزرگ را ثبت نموده است.



شکل (۳) الف) : چینه‌شناسی مقاطع رسوبات سیلابی در سایت ۳ ب): محل برداشت نمونه رسوبات در سایت ۳

رسوبات سیلابی به علت مخلوط بودن ذرات ریزدانه و دانه‌درشت معمولاً دارای جورشدگی بد هستند. انحراف معیار ترسیمی جامع (جورشدگی) محاسبه شده به روش فولک^۱ (۱۹۸۰) در شکل (۴) و جدول شماره (۱) نشان داده شده است که براساس این نتایج در اغلب نمونه رسوبات برداشت شده (۸۴ درصد نمونه‌ها) دارای جورشدگی بد و ۱۶ درصد نمونه‌ها دارای جورشدگی متوسط هستند تفاوت در جورشدگی رسوبات به دلیل وجود ناپیوستگی‌های رسوبی موجود در هر نمونه از رسوبات سیلابی، تغییرات انرژی سیلاب‌ها، تغییرات ناشی از منشأهای متفاوت رسوبات از سازندهای مختلف است. البته در رسوبات جدیدتر ممکن است جورشدگی ذرات تحت تأثیر تخریب بافت ذرات توسط فعالیت‌های کشاورزی صورت گرفته در محدوده بالادست باشد. همچنین بر اساس نمودار درصد فراوانی (شکل شماره ۵) اغلب رسوبات دارای نمودارهای بایمدال^۲ و مولتی مدال^۳ می‌باشند و این نشان‌دهنده آن است که رسوبات از سازندها و منشأهای مختلفی سرچشمه گرفته‌اند که این خود گواهی بر سیلابی بودن این رسوبات است.

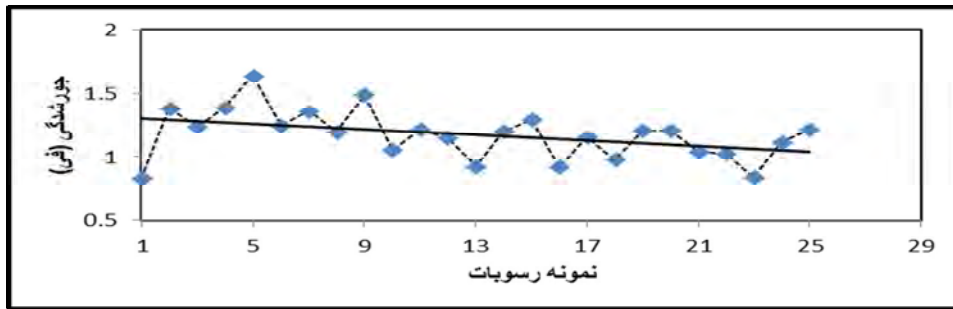
جدول (۱) مقدار پارامتر جورشدگی در نمونه‌های برداشت شده رسوبات آب‌راکدی

شماره نمونه	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
جورشدگی (فی)	0/835	۱/۳۸۲	1/233	1/388	1/636	1/244	1/361	1/193	1/488	1/054	1/212	1/145	0/926
توصیف جورشدگی	جورشدگی متوسط	جورشدگی بد	جورشدگی بد	جورشدگی بد	جورشدگی بد	جورشدگی بد	جورشدگی بد	جورشدگی بد	جورشدگی بد	جورشدگی بد	جورشدگی بد	جورشدگی بد	جورشدگی متوسط
شماره نمونه	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
جورشدگی (فی)	1/196	1/29	0/923	1/153	0/979	1/204	1/206	1/042	1/025	0/841	1/113	1/211	
توصیف جورشدگی	جورشدگی بد	جورشدگی بد	جورشدگی متوسط	جورشدگی بد	جورشدگی متوسط	جورشدگی بد	جورشدگی بد	جورشدگی بد	جورشدگی بد	جورشدگی متوسط	جورشدگی بد	جورشدگی بد	

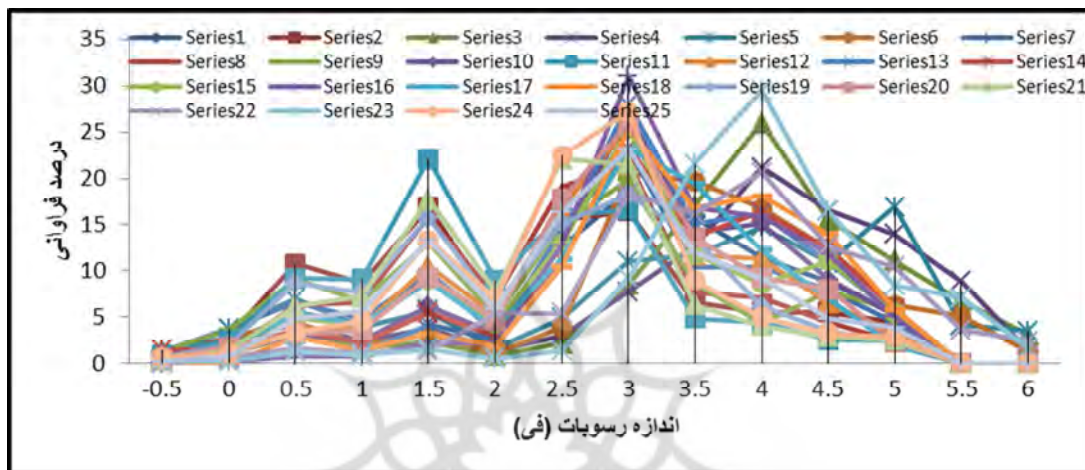
¹-Folk

² - Bimodal

³ - Multi modal



شکل (۴) تغییرات جوشدگی اندازه ذرات در نمونه رسوبات آبراکدی



شکل (۵) منحنی توزیع عادی یا نرمال در نمونه رسوبات آبراکدی

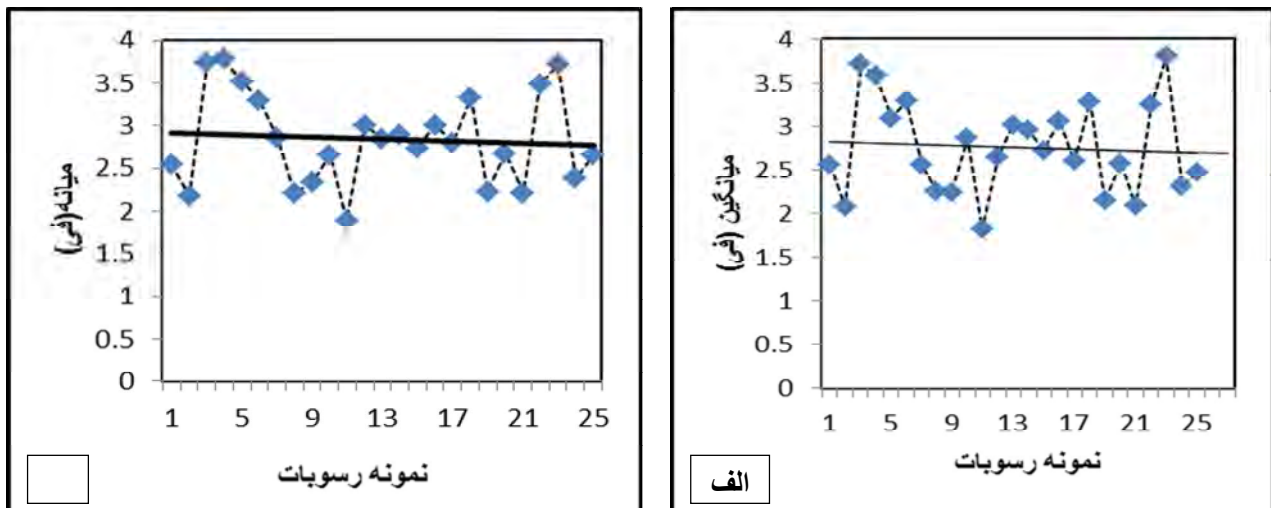
تغییرات میانگین و میانه ذرات رسوبات آبراکدی نیز از دیگر پارامترهایی هستند که در تفسیر پالئوسیلاب-ها می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند در نمونه رسوبات آزمایش شده، میانگین ذرات بین $1/822$ تا $3/799$ فی (شکل ۶الف) و میانه ذرات $1/891$ تا $3/781$ فی در تغییر است (شکل ۶ب) در تفسیر اندازه‌های میانه، ۷ نمونه از رسوبات دارای اندازه تقریبی بین ۳ تا ۴ فی هستند و پس از آن میانه تقریباً ۱۴ نمونه از رسوبات آبراکدی را اندازه تقریبی بین ۲ تا ۳ فی را در برمی‌گیرد، پس از آن میانه نمونه‌های ۲۲ و ۲۳ افزایش یافته و تقریباً به ۴ فی می‌رسد، و سپس یک افت مجدد در میانه نمونه‌های ۲۵ و ۲۴ مشاهده می‌شود. در مقیاس فی هرچه قدر میانه کوچکتر باشد ذرات دانه‌درشت‌تر هستند. ذرات دانه‌درشت در میان رسوبات آبراکدی نشان-دهنده ۲ نکته مهم می‌باشد: اول اینکه سیلاب حمل‌کننده آنها دارای سرعت بسیار زیاد (و نه لزوماً دبی بالاتر) بوده، و دوم نشان‌دهنده این است که رسوبات حمل شده توسط سیلاب‌ها بیشتر از محیط‌هایی با اقلیم سرد و خشک و با حاکمیت تخریب فیزیکی حمل شده‌اند.

با توجه به مطالب فوق و از مقایسه ۴ مرحله تغییر صورت گرفته در میانه رسوبات می‌توان به این نتیجه رسید که در زمان نهشته شدن ۷ نمونه رسوبات آبراکدی قدیمی‌تر، سیلاب‌هایی که آنها را حمل کرده‌اند دارای سرعت به نسبت کمتر اما مداوم‌تر بوده‌اند بدین صورت که سیلاب‌های حمل‌کننده آنها از دسته سیلاب-های با منشأ رگباری نبوده، بلکه بر اثر بارش‌های مداوم و در اقلیمی مرطوب رخ داده است. همچنین از بررسی

میان رسوبات در ۱۴ نمونه رسوبات آبراکدی متوالی در مقطع چینه‌شناسی نشان می‌دهد که یک مرحله گذار اقلیمی از دوره مرطوب به دوره خشک اتفاق افتاده است میان رسوبات آبراکدی در نمونه‌های مورد بررسی کمترین مقدار را داشته که نشان‌دهنده وقوع سیلاب‌هایی با انرژی بیشتر اما مداومت کمتر و با منشأ بارش‌های رگباری بوده است. پس از آن در ۲ نمونه از رسوبات یعنی نمونه‌های شماره ۲۳ و ۲۴ شاهد افزایش میان هستیم ولی در نمونه‌های ۲۴ و ۲۵ افت مجدد در میان رسوبات مشاهده می‌شود. در بررسی ضخامت رسوبات آب به‌طور کلی عقیده بر اینست که ضخامت چینه‌های رسوبات آبراکدی در یک سایت رسوب آب-راکدی متأثر از دبی و طول مدت سیلاب است (بیکر و کوچل، ۱۹۸۱: ۱۳۵). به طوری که در اثنای سیلاب‌های شدیدتر، جریان آب رسوبات ریزتر را همراه خود شسته و رسوبات دانه‌درشت را برجای می‌گذارد. این عقیده در صورتی صحت پیدا می‌کند که شرایط آب‌وهوایی در زمان وقوع سیلاب‌ها یکسان باشد (منظور شرایط اقلیمی خشک و مرطوب است) آنگاه می‌توان این مقایسه را بین ضخامت چینه‌های رسوبات انجام داد برای مثال در یک سایت رسوب آبراکدی نمی‌توان رسوبی را که مربوط به یک دوره خشک اقلیمی است با ضخامت رسوباتی که مربوط به یک دوره مرطوب است مقایسه نمود. در اینجا باید متذکر شد که تشخیص نوع رسوبات اقلیمی‌های مختلف نیاز به بررسی و تجزیه و تحلیل بسیار دارد از جمله عوامل تمایز رسوبات اقلیمی خشک و مرطوب می‌توان به رنگ رسوبات، گردشگی رسوبات، زاویه و شکستگی رسوبات و... اشاره کرد. به‌طور کلی باید عنوان داشت که در بررسی ضخامت چینه‌های رسوبات آبراکدی، علاوه بر توجه به ضخامت چینه باید به نوع ذرات و ویژگی‌ها و پارامترهای آن هم به‌طور هم‌زمان توجه داشت به طوری که در چینه‌های رسوبی که دانه‌های رسوبات آنها گردشگی بیشتری دارند نشان‌دهنده جابجایی رسوبات به وسیله باد قبل از وقوع سیلاب است. این شرایط در نمونه رسوبات برداشت شده از رودخانه کلات، در نمونه‌های شماره ۶، ۸ و ۲۲ مشاهده می‌شود.

رسوباتی که با بافت ریزتر اما چینه بندی ضخیم‌تر هستند حاصل حاکمیت شرایط اقلیمی مرطوب‌تر و همراه با دبی مداوم‌تر بوده‌اند بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که منشأ رسوبات فوق اغلب با رژیم‌های جریان ناشی از ذوب برف در ارتباط بوده است.

اما در چینه‌های رسوبی که دارای ذرات رسوبی دانه‌درشت، شکسته و زاویه دار با ضخامت چینه‌ای بیشتر هستند نشان‌دهنده این است که سیلاب در یک شرایط آب‌وهوایی سرد و خشک اتفاق افتاده، که شرایط جهت تشکیل رسوبات دانه‌درشت فراهم بوده، به طوری که افزایش دانه‌های تخریبی در نتیجه شرایط اقلیمی سرد و خشک، موجب افزایش پتانسیل بار رسوبی جهت حمل در مواقع سیلابی می‌شود در چنین شرایط اقلیمی اگر یک سیلاب ناگهانی مانند سیلاب سال ۱۳۸۰ اتفاق بیافتد، مقدار رسوبی که همراه سیلاب حمل می‌شود بیشتر است در نتیجه رسوبات آبراکدی با ضخامت زیادتر و همراه با دانه‌های درشت‌تر نهشته می‌شوند در نتیجه این سیلاب‌ها را می‌توان از نوع سیلاب‌های رگباری و کاتاستروفیک قلمداد کرد که در اثنای یک دوره خشک اقلیمی اتفاق می‌افتد و این شرایط را در رسوبات برداشت شده در رودخانه کلات از سایت سوم، این اصل را می‌توان در مورد نمونه رسوبات شماره ۱۲، ۱۵، ۲۰ مشاهده کرد.

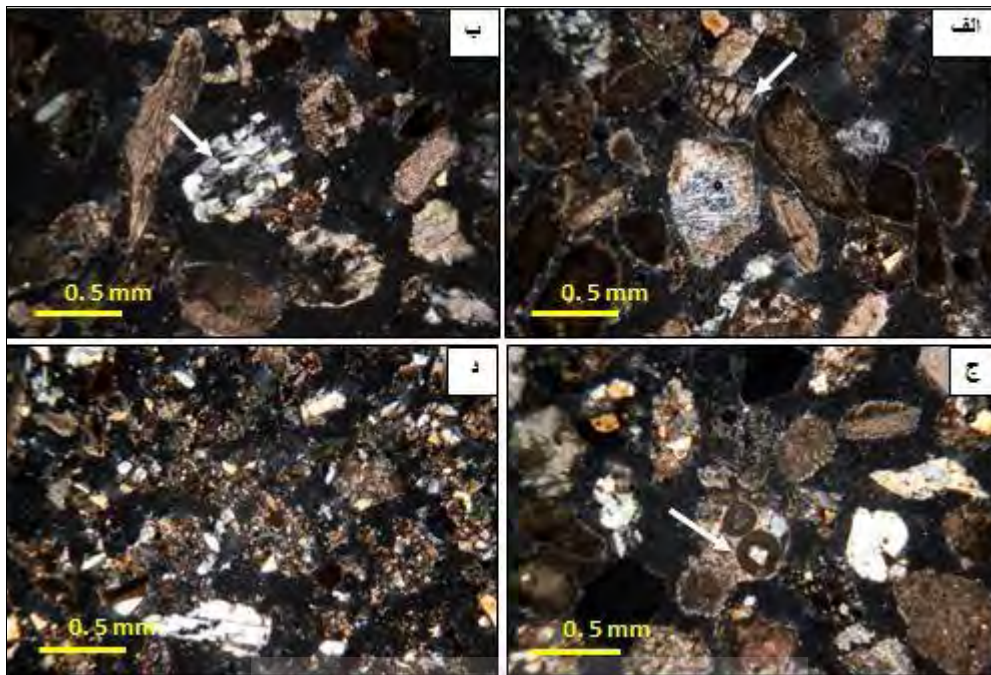


شکل (۶) الف: نمودار اندازه تغییرات میانگین اندازه ذرات -ب: نمودار اندازه تغییرات میانگین اندازه ذرات

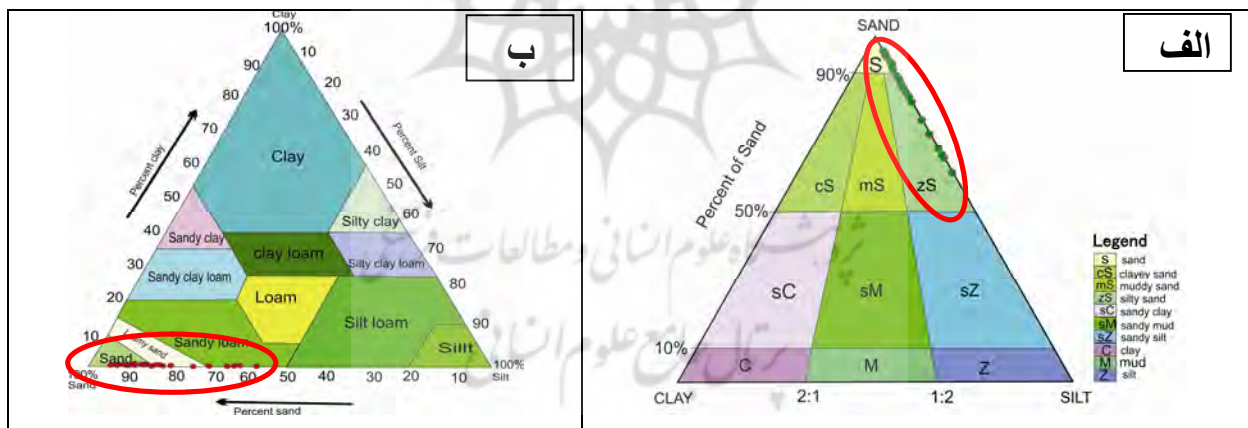
ترکیب رسوبات سیلابی منطقه مورد مطالعه

برای شناسایی ترکیب رسوبات سیلابی منطقه مورد مطالعه، از تعدادی نمونه‌ها بعد از غربال کردن، مقطع میکروسکوپی تهیه شده است. بدین منظور از تعدادی رسوب باقی مانده بر روی غربال ۱/۵ فی (معادل با ۰/۳۵ میلیمتر) در کارگاه زمین شناسی مقطع میکروسکوپی تهیه گردید.

با توجه به مقاطع میکروسکوپی مطالعه شده اغلب اجزای تشکیل دهنده این رسوبات از جنس خرده‌های آهکی به صورت اسکلتی و غیراسکلتی (شکل ۷-الف و ج) و مقدار کمتری نیز خرده‌های ماسه سنگی (شکل ۷-ب) است. در بعضی از نمونه‌های رسوبی سیلاب نیز ذرات پراکنده کوارتز مشاهده می‌شوند (شکل ۷-د). با توجه به سنگ شناسی سازندهای زمین شناسی در این حوضه آبریز، منشأ این رسوبات اغلب از سازندهای مزدوران، شوربجه و چمن بید می‌باشد. براساس بررسی‌های صورت گرفته بر روی نقشه زمین-شناسی منطقه، پراکندگی این سازندها در قسمت جنوب غرب حوضه و در زیرحوضه سرشاخه حمامقلعه (ژرف) می‌باشد که این نتایج نشان دهنده نقش بیشتر این سرشاخه نسبت به سرشاخه قره‌سو، در سیلاب‌خیزی رودخانه کلات است. همچنین در مرحله بعد بر اساس آزمایشات و محاسبات صورت گرفته نوع و بافت رسوبات مشخص شدند (شکل شماره ۸). که همه رسوبات از نوع ماسه تا ماسه سیلتی می‌باشند. و بافت آنها بر اساس دانه‌ها و درصد اجزای آن طبق طبقه بندی اداره کشاورزی ایالات متحده (USDA) صورت گرفت که اجزای تشکیل دهنده آنها ماسه تا ماسه لومی و دارای بافت سبک می‌باشد. در اینجا باید عنوان داشت که در بازسازی سیلاب‌های قدیمی با استفاده از رسوبات آبراکدی، برای به دست آوردن یک فهم و درک صحیح از فراوانی سیلاب‌ها و تخمین دوره بازگشت‌ها، استفاده از شاخص‌های بیولوژیکی و فیزیکی در تاریخ گذاری و سن سنجی رسوبات آبراکدی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد که در این پژوهش با توجه به در دسترس نبودن این امکانات در داخل کشور، امکان سن‌سنجی این رسوبات و نتایج آزمایش‌های مربوطه میسر نگردید.



شکل (۷) تصاویر میکروسکوپی از رسوبات سیلابی ناحیه مورد مطالعه (XPL)، الف: خرده‌های آهکی و مقدار کمتر خرده ماسه سنگی که با فلش مشخص شده است. ب: خرده آهکی اسکلتی (فسیل فرامینیفرا) مشاهده شده در رسوبات سیلابی منطقه مورد مطالعه. ج: خرده آهکی غیراسکلتی (اوونید) در رسوبات سیلابی. د: خرده‌های آهکی و ذرات پراکنده کوارتز در رسوبات سیلابی ناحیه مورد مطالعه.



شکل (۸) الف: دیاگرام نام‌گذاری رسوبات (اقتباس از فولک، ۱۹۸۰) ب: دیاگرام تعیین بافت رسوبات (طبق بندی بافت خاک طبق طبقه‌بندی اداره کشاورزی ایالات متحده: USDA)

جدول (۲) مشخصات پارامترهای اندازه ذرات در نمونه‌های برداشت شده از رسوبات آب‌راکدی (SWD)

شماره نمونه	میانگین	درصد ماسه	درصد سیلت	نام‌گذاری رسوبات	بافت رسوب
۱	۲.۵۵۴	۹۴.۷۹	۵.۲۱۲	ماسه	ماسه
۲	۲.۰۷۳	۸۹.۹۴	۱۰.۰۶	ماسه سیلتی	ماسه
۳	۳.۷۱۲	۶۳.۶۲	۳۶.۳۸	ماسه سیلتی	لوم ماسه ای
۴	۳.۵۸۵	۵۹.۲۶	۴۰.۷۴	ماسه سیلتی	لوم ماسه ای

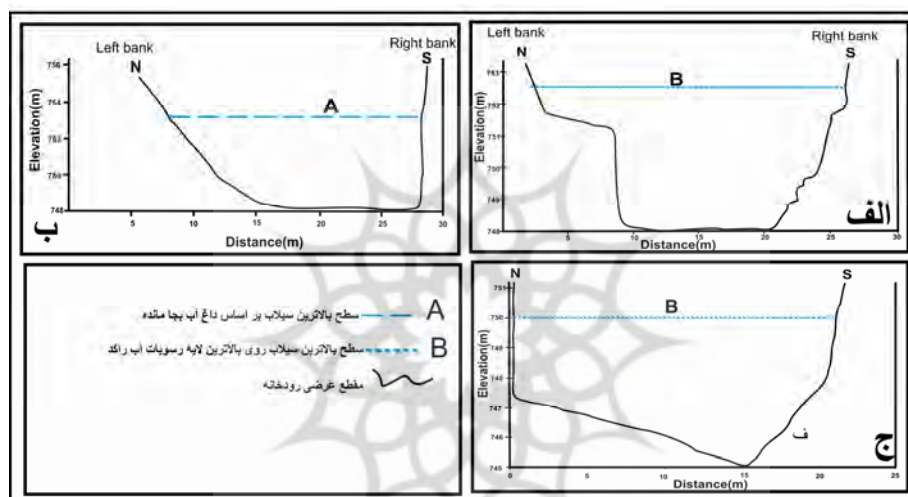
شماره نمونه	میانگین	درصد ماسه	درصد سیلت	نامگذاری رسوبات	بافت رسوب
5	3.089	64.52	35.48	ماسه سیلتی	لوم ماسه ای
6	3.287	74.92	25.08	ماسه سیلتی	ماسه لومی
7	2.554	87.62	12.38	ماسه سیلتی	ماسه
8	2.244	93.11	6.89	ماسه	ماسه
9	2.239	86.49	13.51	ماسه سیلتی	ماسه
10	2.859	85.78	14.22	ماسه سیلتی	ماسه
11	1.822	94.934	5.066	ماسه	ماسه
12	2.65	90.15	9.854	ماسه	ماسه
13	3.013	83.93	16.07	ماسه سیلتی	ماسه لومی
14	2.951	81.75	18.25	ماسه سیلتی	ماسه لومی
15	2.719	83.52	16.49	ماسه سیلتی	ماسه لومی
16	3.058	82.76	17.24	ماسه سیلتی	ماسه لومی
17	2.601	91.03	8.968	ماسه	ماسه
18	3.277	80.15	19.85	ماسه سیلتی	ماسه لومی
19	2.139	94.01	5.993	ماسه	ماسه
20	2.574	89.68	10.32	ماسه سیلتی	ماسه
21	2.087	94.64	5.364	ماسه	ماسه
22	3.251	70.86	29.14	ماسه سیلتی	ماسه لومی
23	3.799	66.41	33.59	ماسه سیلتی	لوم ماسه ای
24	2.308	93.75	6.255	ماسه	ماسه
25	2.469	91.27	8.729	ماسه	ماسه

مدلسازی هیدرولیکی و تعیین وقایع سیلابی

پس از شناسایی سایت‌های مورد نظر و تحلیل‌های چینه‌شناسی، برای محاسبه حداکثر دبی سیلاب به برآورد و مدل‌سازی دبی سیلاب‌ها و رفتار هیدرولوژیکی رودخانه پرداخته ایم. چون مدل‌سازی هیدرولیکی مستلزم تخمین برخی ویژگی‌های هیدرولیکی سایت‌های موردنظر (شیب، ضریب زبری و مقاطع عرضی رودخانه در محل شناسایی سایت‌های رسوبات آب‌راکدی) است برای این منظور ابتدا از مقاطع موردنظر در مسیر رودخانه نقشه‌برداری شده (شکل شماره ۹) و سپس به محاسبه‌ی دبی با استفاده از فرمول‌های رایج (فرمول مانینگ) پرداخته شده است.

نتیجه محاسبات صورت گرفته در هر ۳ سایت مورد مطالعه در جدول (۳) ارائه شده است. که بر اساس محاسبات صورت گرفته در سایت ۱ مقدار دبی ۵۴۰/۲۴۲ مترمکعب بر ثانیه، در سایت ۲، ۵۵۴/۲۵ مترمکعب بر ثانیه و بر اساس داغاب سیلاب ۶۲۴/۴۳ مترمکعب بر ثانیه برآورد شده است. با توجه به نزدیکی سایت‌های موردنظر به یکدیگر و همچنین به دلیل عدم پیوستن هرگونه شاخه فرعی به آبراهه اصلی در حد فاصل این سایت‌ها، میزان دبی‌های محاسبه شده در هر سه سایت بسیار نزدیک به یکدیگر است و این امر نشان دهنده‌ی دقت برآوردهای انجام شده است. البته در بازسازی سیلاب‌های قدیمی، باید به اصلاح سطح سیلاب نسبت به سطح بالاترین لایه‌ی رسوبات آب‌راکدی توجه نمود که این اصلاح به صورت افزایش ۱۰ تا ۲۰ درصدی سطح

سیلاب بر روی بالاترین لایه رسوبات آب‌راکدی انجام می‌گیرد که با در نظر گرفتن این معیار در تخمین انجام شده در سایت‌های رسوبات آب‌راکدی نتایج این سایت‌ها تقریباً با داغاب سیلاب نزدیک به یکدیگر است. این در حالی است که برآوردهای انجام شده توسط مطالعات مدیریت بهم پیوسته منابع آب منطقه کلات، برای این رودخانه در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله به روش تحلیل منطقه ای ۳۸۶/۱۵ مترمکعب برآورد شده است (شرکت آب منطقه ای خراسان رضوی، ۱۳۸۹: ۹۱). همچنین براساس داده‌های ایستگاه هیدرومتری رودخانه کلات در یک دوره ۲۵ ساله، حداکثر دبی لحظه ای ۳۱۷/۰۳ مترمکعب در سال آبی ۸۰-۱۳۷۹ محاسبه شده است (همان: ۹۱). که باتوجه به کوتاه مدت بودن داده‌های آماری در ایستگاه هیدرومتری مورد نظر، نتایج برآوردهای انجام شده از صحت و اطمینان لازم برخوردار نیست، از این رو می‌توان بیان کرد که تمام برآوردهای قبلی سیلاب در این روخانه بایستی مورد تجدید نظر قرار گیرد که این امر، باتوجه به عبور رودخانه مورد نظر از میان بافت فیزیکی شهر امری بالاجبار و ضروری می‌باشد.



شکل (۹) مقاطع عرضی رودخانه در محل برداشت رسوب و داغاب سیلاب الف:مقطع عرضی رودخانه در سایت ۲ ب
مقطع عرضی رودخانه در سایت ۱ بر اساس داغ آب سیلاب ج:مقطع عرضی رودخانه در سایت ۳

جدول (۳) برآورد سیلابی بازسازی شده بر مبنای شواهد پالئوآستیج

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

نتیجه گیری

امروزه شاهد گسترش بیشتر مطالعات هیدرولوژی پالئوسیلاب در بسیاری از کشورهای جهان جهت تخمین سطح، شدت و فراوانی سیلاب‌ها هستیم، اما برآوردهای صورت گرفته به روش شاخص‌های دیرینه‌تراز، با استفاده از نتیجه سایت داغاب سیلاب ۶۲۴/۴۳ مترمکعب برثانیه و با استفاده از نتایج سایت‌های رسوبات-آبراکدی ۵۴۰/۲۴ و ۵۵۴/۲۵ مترمکعب برثانیه برآورد شده است که با در نظر گرفتن سطح اصلاحی ۱۰ تا ۲۰ درصد دبی برآورد شده با استفاده از رسوبات آبراکدی، نتایج بدست آمده بسیار نزدیک به یکدیگر است، که این نتایج در مقایسه با برآوردهای هیدرولیکی مرسوم، از دقت بسیار زیادی برخوردار می‌باشد.

بنابراین استفاده از شاخص‌های دیرینه‌تراز، به عنوان یکی از قابل اطمینان‌ترین روش‌ها در تشخیص سیلاب‌های بزرگ و قدیمی بوده، و از نتایج به دست آمده از این روش می‌توان برای تخمین واقعی سیلاب در بسیاری از حوضه‌های آبریز کشور و خصوصاً در جهت برنامه‌ریزی ریسک سیلاب شهری بهره برد. مطالعه چینه‌شناسی رسوبات آب راکد به عنوان شواهدی معتبر شرایط اقلیمی و هیدرولیکی حاکم بر گذشته‌های دور تا نزدیک حوضه‌های آبریز خصوصاً حوضه‌های آبریز مناطق خشک و بیابانی را بخوبی روشن نموده و لذا در ترسیم چشم‌انداز آینده نقش مهمی را ایفا می‌نماید. تعیین سن مطلق رسوبات که در واقع یکی از ضرورت‌های مطالعه پالئوسیلاب به حساب می‌آید در کشور ما با مشکل روبروست و لازم است گروه‌های جغرافیا راه‌اندازی آزمایشگاه‌های سن‌سنجی را جایگزین توسعه کمی نمایند. در منطقه مورد مطالعه گرچه به روشن ساختن روند تغییرات کلی در فراوانی و شدت و مدت سیلاب‌ها بر مبنای خصوصیات فیزیکی رسوبات پرداخته شد اما جهت محاسبه دوره برگشت سیلاب‌ها بر اساس داده‌های پالئوسیلاب، نیاز به تعیین سن دقیق چینه هاست که در مطالعات آینده مورد توجه قرار خواهد گرفت.

فهرست منابع

۱. اسماعیلی، رضا. حسین زاده، محمدمهدی. متولی، صدرالدین. (۱۳۹۰). تکنیک‌های میدانی در ژئومورفولوژی رودخانه‌ای. چاپ اول. تهران. انتشارات لاهوتی.
۲. تصاویر ماهواره‌ای ماهواره لندست ۸. سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳.
۳. جهادی‌طرقی، مهناز. حسین‌زاده، سیدرضا. (۱۳۹۲). هیدرولوژی پالئوسیلاب، رویکردی مدرن در ارزیابی مخاطره سیلاب. مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی. شماره ۸. صص ۱۶۲-۱۳۳.
۴. حسین‌زاده، سیدرضا. جهادی‌طرقی، مهناز. (۱۳۸۵). تجزیه و تحلیل ژئومورفولوژیکی سیلاب‌های کاتاستروفیک رودخانه مادرسو. مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای. شماره ۷. صص ۱۱۵-۸۹.
۵. حسین‌زاده، سیدرضا. جهادی‌طرقی، مهناز. (۱۳۹۱). بازسازی سیلاب‌های قدیمی رودخانه سه‌هزار با استفاده از دندروژئومورفولوژی. مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی. شماره ۲. صص ۵۳-۲۹.
۶. حسین‌زاده، سیدرضا. جهادی‌طرقی، مهناز. (۱۳۹۱). مطالعه‌ی سیلاب‌های قدیمی با استفاده از رسوبات آب راکد (مطالعه‌ی موردی: رودخانه‌ی درونگر خراسان). مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. شماره ۱. صص ۸۷-۱۰۸.
۷. حسین‌زاده، سیدرضا. خانه باد، محمد. و برومنددانش، بهاره. (۱۳۹۲). برآورد حداکثر سطح سیلاب در رودخانه درونگر خراسان. دومین همایش ملی انجمن ایرانی ژئومورفولوژی، اسفند ۱۳۹۲، انجمن ایرانی ژئومورفولوژی، تهران، صص ۱۰۶-۱۰۴.
۸. حسین‌زاده، سیدرضا. خانه باد، محمد. خسروی، عذرا. روانبخش، مجید. (۱۳۹۲). برآورد حداکثر سطح سیلاب در رودخانه کلات بر مبنای شواهد پالئوستیج. مجموعه مقالات اولین همایش کوانترنی ایران.
۹. حسین‌زاده، سیدرضا. خانه باد، محمد. روانبخش، مجید. (۱۳۹۲). برآورد حداکثر سطح سیلاب در رودخانه قره آجاج بر مبنای روش‌های پالئوسیلاب، مجموعه مقالات همایش بین‌المللی جغرافیا و مخاطرات محیطی، شهریور ۱۳۹۲، تهران، صص ۱۰-۱.
۱۰. سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح کشور. نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ کلات. برگ‌های کلات و قله‌زو.
۱۱. شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی (۱۳۸۹). مطالعات مدیریت بهم پیوسته منابع آب منطقه کلات، جلد سوم، گزارش سیل خیزی.
12. Baker, V.R., 1983. *Large-scale fluvial palaeohydrology*. In: Gregory, K.J. (Ed.), *Background to Palaeohydrology: A Perspective*. Wiley, Chichester, pp. 453–478.
13. Baker, V.R., 1987. *Paleoflood hydrology and extreme flood events*. *Journal of Hydrology* 96, 79–99.
14. Baker, V.R., Pickup, G., 1987. *Flood geomorphology of the Katherine Gorge, Northern Territory, Australia*. *Geological Society of America Bulletin* 98, 635–646.
15. Baker, V. R. , 2008. *Paleoflood hydrology: origin, Progress, prospects*. *Geomorphology* 101, 1-13.
16. Baker V.R. 2013. *Global Late Quaternary Fluvial Paleohydrology: With Special Emphasis on Paleoflood and Megafloods*. In: John F. Shroder (ed.) *Treatise on Geomorphology*. Volume 9, pp. 511–527.
17. Benito, G., Sanchez-Moya, Y., Soena, A., 2003a. *Sedimentology of high-stage flood deposits of the Tagus River, central Spain*. *Sedimentology* 157, 107–132.

18. Benito, G., Thorndycraft, V.R., 2005. **Palaeoflood hydrology and its role in applied hydrological sciences.** *Journal of Hydrology* 313, 3–15.
19. Ely, L.L., Baker, V.R., 1985. **Reconstructing paleoflood hydrology with slackwater deposits: Verde River, Arizona.** *Physical Geography* 6, 103–126.
20. Enzel, Y., Ely, L.L., Martinez-Goytre, J., Vivian, R.G., 1994. **Paleofloods and a damfailure flood on the Virgin River, Utah and Arizona.** *Journal of Hydrology* 153, 291–315.
21. Folk, E., 1980. **Petrography of Sedimentary Rocks.** Hemphill Publishing Company. pp. 182.
22. Jarrett, R.D., Tomlinson, E.M., 2000. **Regional interdisciplinary paleoflood approach to assess extreme flood potential.** *Water Resources Research* 36, 2957–2984.
23. Kale, V.S., Mishra, S., Baker, V.R., 1997. **A 200-year palaeoflood record from Sakarghat, on Narmada, central India.** *Geological Society of India* 50, 285–288.
24. Kale, V.S., 2008. **Palaeoflood hydrology in the Indian context.** *Journal of the Geological Society of India* 71, 55–66.
25. Levish, D.R., 2002. **Paleohydrologic bounds: non-exceedance information for flood hazard assessment.** In: House, P.K., Webb, R.H., Baker, V.R., Levish, D.R. (Eds.), *Ancient Floods, Modern Hazards: Principles and Applications of Paleoflood Hydrology.* American Geophysical Union Water Science and Application, Washington, DC, vol. 5, pp. 175–190.
26. McQueen, K.C., Vitek, J.D., Carter, B.J., 1993. **Paleoflood analysis of an alluvial channel in the south-central Great Plains: Black Bear Creek, Oklahoma.** *Geomorphology* 8, 131–146.
27. 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, 16–31.
28. Webb, R.H., Blainey, J.B., Hyndman, D.W., 2002. **Paleoflood hydrology of the Paria River, southern Utah and northern Arizona, USA.** In: House, P.K., Webb, R.H., Baker, V.R., Levish, D.R. (Eds.), *Ancient Floods, Modern Hazards: Principles and Applications of Paleoflood Hydrology.* American Geophysical Union Water Science and Application, Washington, DC, vol. 5, pp. 295–310.