

اثرات احداث سد مخزنی گیلان غرب بر مورفولوژی بستر رود گیلان غرب (در محدوده بالادست و مخزن سد)

مریم قاسم‌نژاد* - دانشجوی دکترای ژئومورفولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد
سیاوش شایان - استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس
مجتبی یمانی - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۱۰/۲۵ تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۰۳/۲۰

چکیده

در این پژوهش به بررسی اثرات احداث سد مخزنی گیلان غرب بر ژئومورفولوژی جریان رود گیلان غرب در بخش بالادست و محدوده مخزن آن پرداخته شده است. اهداف این پژوهش، بررسی تغییرات ژئومورفولوژیکی ناشی از احداث این سد در بستر، کناره‌ها و مقاطع رود گیلان غرب؛ تجزیه و تحلیل تغییرات مورفولوژیکی قبل و بعد از ساخت سد و نمایش نوع و جهت تغییرات مورفولوژیکی، به دلیل آبرگیری سد در بالادست و محدوده مخزن است. داده‌های اسنادی، داده‌های هیدرو - اقلیمی، نقشه‌های موضوعی و داده‌های حاصل از پیمایش میدانی، داده‌های مورد استفاده در این پژوهش هستند. روش پژوهش، پایش تغییرات است که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی و ترسیم و تفسیر نیمرخ‌های توپوگرافی در سه دوره زمانی قبل، حین و بعد از ساخت سد و در بخش‌های بالادست و محدوده مخزن سد انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد که شیب بستر رود در بخش بالادست و محدوده مخزن، پس از ساخت سد کاهش یافته است. محاسبه ضریب پیچشی رود حاکی از افزایش سینوزیته مجرا در بالادست سد است که تغییر تدریجی الگوی رود در این بخش به سمت پیچانرودی شدید را نشان می‌دهد. همچنین احداث سد، سطح اساس جدیدی در منطقه ایجاد کرده که موجب گسترش فرسایش شیاری و خندقی در دامنه‌های مشرف به دریاچه سد و نیز، بروز فرسایش قهقراپی در مجاری فرعی شده است. تابع تغییرات سطح آب و فعالیت‌های نئوتکتونیکی گسل راندگی گیلان غرب، تراس‌های آبرفتی جدیدی در حال تشکیل هستند. علاوه بر این، نیمرخ‌های طولی و عرضی رود در دوره بعد از ساخت نسبت به دوره قبل از آن تغییر یافته و نیمرخ عرضی در بالادست از شکل وی (V) به شکل یو (U) تغییر یافته که دال بر کاهش فرسایش در بستر و افزایش فرسایش کناره‌هاست.

کلیدواژه‌ها: ژئومورفولوژی جریان، نیمرخ طولی و عرضی، الگوی رود، سد مخزنی گیلان غرب.

مقدمه

رودها سیستم‌های بازی هستند که همواره تلاش می‌کنند تا به تعادل نسبی در حوضه‌های آبریز برسند (Freeland, 23: 1997). اولین سدها که کمابیش از ۴۵۰۰ سال پیش با هدف کنترل جریان رود و ذخیره آب در خدمت انسان بوده‌اند، به صورت ساختارهای مدیریت منابع آب، از زمان احداث به‌منزله عوامل ژئومورفیک عمل کرده‌اند (بیاتی خطیسی، ۱۳۸۶-الف؛ Skalak et al., 2013). سدها از طریق تغییر در تنظیم سرعت، بزرگی و فراوانی جریان‌های حداقل و حداکثر، تأثیر عمده‌ای بر رژیم هیدرولوژیکی رودها دارند و رژیم هیدرولوژیکی جدیدی را تولید می‌کنند که به‌طور عمده با رژیم طبیعی جریان پیش از آبیگری سد متفاوت است (Magilligan & Nislow, 2005; Ma et al, 2012). تأثیر سد بر مورفولوژی رود در مناطق نیمه‌خشک، به‌مراتب شدیدتر از سایر مناطق است (Petts & Gurnell, 2005). سد تغییر در مقدار رسوب و ذخیره آن را تشدید می‌کند (Draut et al., 2011; Yuan et al, 2012)، همچنین رژیم جریانی و بار رسوبی رود را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Surian & Rinaldi, 2003; Grant et al., 2003; Overeem et al., 2013: 832; Nelson et al., 2013: 132). اثرات سدسازی بر حسب اینکه محل مورد نظر در بالادست، یا در پایین دست مخزن، یا در خود آن واقع شده باشد، فرق می‌کند. انسان به‌طور هم‌زمان، هم حمل رسوب در بالادست را از طریق فرسایش خاک افزایش می‌دهد و هم از طریق ذخیره آن در مخازن، مقدار رسوب را در پایین دست سد کاهش می‌دهد (Xu & Milliman, 2009: 276; Tagliaferro et al., 2013: 507). در بالادست سد، تمام بار بستری و همه یا بخشی از بار معلق در آب ساکن مخزن سد رسوب می‌کند (Vericat et al., 2006: 123; Stave et al., 2005). میزان دبی آب و رسوب، ابعاد مجرای یک جریان را از نظر عرض، عمق، طول موج مائندر و شیب تعیین می‌کند. ویژگی‌های هیپسومتری و هندسی مجاری رود و انواع الگوهای شریانی، پیچانرودی، مستقیم و سینوزیتی، به‌طور مشخص بر اثر تغییر در میزان جریان و دبی رسوب به‌وجود می‌آیند. همچنین الگوی بار رسوبی در شکل‌گیری بستر رود مؤثر است. تغییرات قابل توجه در فرسایش کناره‌های رود در دوره‌های کوتاه‌مدت، نشانگر تغییر در دبی رسوب‌هاست؛ زیرا تغییر در سطح مقطع مجاری آبرفتی، به‌ویژه در عرض مجاری، می‌تواند تغییر در ویژگی‌های دبی جریان را نشان دهد (Berger & Iams, 1996: 437). در بالادست مخزن سطح محلی آب زیرزمینی بالا می‌آید، رودهایی که به مخزن می‌ریزند بار خود را هم در بسترهایشان نزدیک به حواشی مخزن و هم به‌صورت دلتا در خود مخزن رسوب می‌دهند. آب زیرزمینی بالا آمده، ممکن است اثرات معکوس داشته باشد؛ یعنی در مواردی خاص موجب پدیدآمدن ناپایداری دامنه می‌شود. رسوب‌گذاری، شیب بستر رود را کاهش می‌دهد و بر ارتفاع بستر می‌افزاید و بدین گونه خطر سیل را فزونی می‌بخشد (Cooke & Doornkamp, 1998: 297). علاوه‌بر تغییر نیمرخ طولی و عرضی مجرای رود، فرسایش قهقراپی در شاخه‌های فرعی رود و سرشاخه‌های آن، تحت تأثیر تغییرات سطح اساس تشدید می‌شود. شوم^۱ (۱۹۷۳) با مطالعه روی پست‌ترین سطح اساس مجرا و افزایش فرسایش پس‌رونده شاخه‌های فرعی بالادست و مقدار مواد فرسایش‌یافته در طول زمان، بیان کرد که تغییر سطح اساس در مجرای

تازه قطع شده، منجر به رسوب گذاری شده است و همچنان که شاخه های فرعی در نهایت با سطح اساس جدید منطبق می شوند، بار رسوبی کاهش می یابد و فاز جدیدی از فرسایش مجرا در ناحیه پایین تر از محل اتصال شاخه های فرعی به رود اصلی رخ می دهد که دلیل آن افزایش دبی است (Schumm, 1973: 305-307).

تغییر برجسته پس از ساخت سد در بخش بالای مخزن به وجود می آید؛ زیرا سطح اساس جدیدی تشکیل می شود (Sternberg, 2006: 172) و مساحت مقطع عرضی در این بخش افزایش می یابد، بنابراین سرعت رود کاهش یافته و رسوب گذاری در آن به صورت توده ای انجام می شود و در محل ورود رود به دریاچه سد، دلتا تشکیل می شود (Mahmood, 1987: 35-48). این رسوب گذاری ظرفیت ذخیره آب را کاهش می دهد (Locher et al., 2002: 6). همچنین تحت تأثیر تغییرات سطح اساس طی فصول سال، تراس های آبرفتی جدیدی در بالادست سد و مخزن آن ایجاد می شود.

پژوهش پیش رو که به ارزیابی تأثیر ساخت سد مخزنی گیلان غرب بر مورفولوژی رود گیلان غرب در بخش های بالادست و محدوده مخزن سد پرداخته، در تلاش برای پاسخ به پرسش های زیر است:

۱. پس از احداث سد تغییرات ژئومورفولوژیکی آبراهه ها در بالا رود چگونه است؟
۲. آیا تغییرات الگوی رود و مقطع عرضی آن پس از احداث سد در بازه های بالادست و مخزن سد متوقف شده یا ادامه داشته است؟
۳. چه پدیده های ژئومورفولوژیکی ممکن است در اثر احداث سد در بستر و حواشی رود ایجاد شود؟

پیشینه پژوهش

به نظر می رسد که نخستین پژوهش در زمینه تغییرات ژئومورفولوژیکی ناشی از احداث سدها را، پیتز^۱ در اواخر دهه ۱۹۷۰ انجام داده است که تأثیرات عمیقی بر تفکرات محققان بعدی گذاشت (Brandt, 2000; Stevaux et al., 2009). در دهه های گذشته، پژوهشگران کوشیده اند با در نظر گرفتن تغییراتی که سدها در حوضه رودها پدید آورده اند، آثار این سازه ها را از زوایای مختلف بررسی کنند. نتایج بررسی در مناطق مختلف نشان می دهد که تغییرات ناشی از احداث سدها در نقاط مختلف دنیا، بسیار درخور اهمیت است. در سطح جهان کارهای مطالعاتی زیادی در مورد اثرات سدها روی رودها و مورفولوژی آنها انجام گرفته است که از آن دسته می توان به این موارد اشاره کرد. ویلیام و ولمن^۲ (۱۹۸۴) تغییرات پایین دست سد در مناطق معتدل را مطالعه کردند. بارو^۳ (۱۹۸۷)، اثرات سدها و مخازن آبی در مناطق گرمسیری ارزیابی کرده است و ایکسو^۴ (۱۹۹۰) به بررسی اثرات در بالادست سد پرداخته است. همچنین بررسی اثرات عمومی سدها را می توان در آثار موریس و فن^۵ (۱۹۹۷) و والکر و هنری^۶ (۱۹۹۸) یافت. به نظر می رسد که مطالعات پیشین در

1. Petts
2. William & Wolman
3. Barrow
4. Xu
5. Morris & Fan
6. Volker & Henry

مورد اثرات سدها و مخازن آبی، اغلب بر آثار عمومی فرسایش و حفر مجرای اصلی زیر سدها متمرکز بوده است. برای مثال مطالعات پیتز، ۱۹۷۹، ۱۹۸۴؛ ویلیام و ولمن^۱، ۱۹۸۴؛ کارلینگ^۲، ۱۹۸۸؛ زیرا این پژوهش‌ها مفهوم مهندسی‌ساز بودن سدها را مد نظر قرار داده‌اند؛ در حالی که بیشتر پژوهش‌های اخیر بر شرایط ویژه پایین‌دست سدها و در ورودی شاخه‌های فرعی و غیره تمرکز یافته‌اند. برای مثال می‌توان به مطالعات پیتز، ۱۹۸۰، ۱۹۸۸؛ گریگوری^۳، ۱۹۸۷؛ ژو^۴، ۱۹۹۶ اشاره کرد (Brandt, 2000: 376). ماری پوهل^۵ (۱۹۹۹)، ضمن بررسی اثرات پایین‌دست و پیامدهای حاصل از سد بر پایه نقشه‌برداری از سطح مقطع و داده‌های میدانی، نشان داد که سدها سه بخش را در رودخانه به‌وجود می‌آورند: (۱) در بالادست سد که مجرای بسیار ناپایداری دارد؛ (۲) در مخزن سد که مجرا بسیار پایدار است و (۳) در پایین‌دست سد که پایداری کمی در مجرا وجود دارد. دیوو^۶ (۲۰۰۶) اثرات مجراسازی و سدسازی بر مورفولوژی رودخانه را از دو دیدگاه مکانی و زمانی مورد توجه قرار داد و دریافت که تغییرات عرض مجرا، به‌طور معناداری در طول دوره سدسازی بیشتر از کل دوره مطالعاتی در قبل و بعد از احداث سد است و عرض مجرای اصلی، تابع ساخت سد روی رود و مجراسازی آن است. همچنین هامیلتون^۷ (۲۰۰۷) تغییرات هیدرولوژیکی و مورفولوژیکی در پایین‌دست سد را بررسی و تغییرات در مورفولوژی مجرا را به‌وسیله مقایسه عکس‌های هوایی قبل و بعد از آگیری سد ارزیابی کرد و نشان داد که پس از آگیری سد، میانگین حداقل و حداکثر دبی یک روزه و چند روزه در پایین‌دست سد کاهش یافته، در مقابل در بالادست سد حداقل جریان‌ها افزایش و حداکثر جریان‌ها کاهش یافته است.

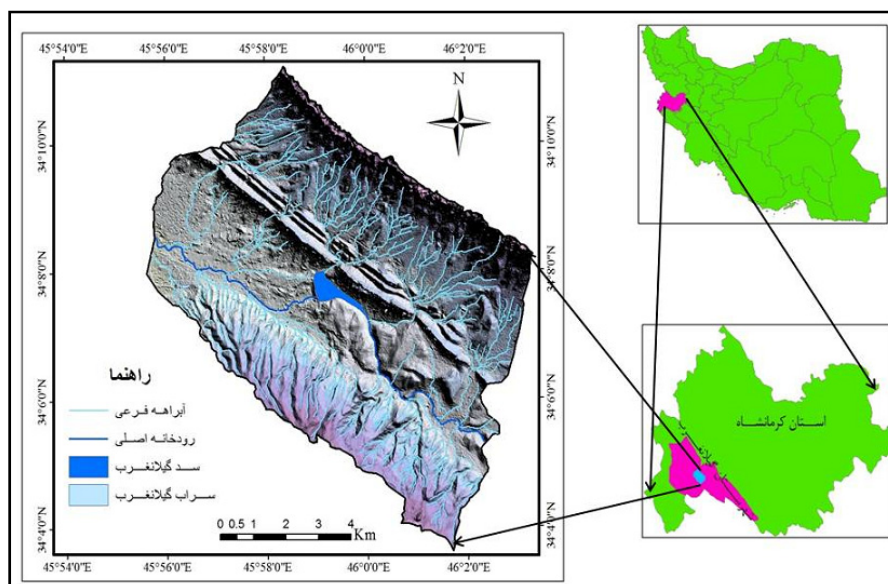
در ایران نیز از اوایل دهه گذشته پژوهش‌هایی چند در مورد اثرات ژئومورفولوژیکی سدها انجام شده است که می‌توان به این موارد اشاره کرد. حسین‌زاده و نوحه‌گر (۱۳۸۵) به بررسی اثرات سد میناب بر هیدرودینامیک و تغییرات بستر رود میناب از طریق نمونه‌گیری از رسوبات بستر و آزمایش دانه‌سنجی و میکروسکوپی آنها و استفاده از نرم‌افزارهای رایانه‌ای پرداختند و بیان کردند که احداث سد میناب و تغییر رژیم آبی این رود، منجر به تغییرات زیادی در نوع و مقدار رسوب آن شده که عملکرد فرسایشی رود را تغییر داده و حاصل آن تحول نیمرخ طولی و عرضی، الگو و پلان رود بوده است. بیاتی‌خطیبی (۱۳۸۶-الف)، اثرات احداث سد در تحول ژئومورفولوژیکی بستر جریان رود را در نه حالت مختلف، بر اساس پلان دبی، بار رسوبی، اندازه ذرات و شیب بستر طرح کرد و نتیجه گرفت که اثر سدها بر پیامدهای ژئومورفولوژیک پایاب زیادتر است. بیاتی‌خطیبی (۱۳۸۶-ب) در پژوهش دیگری، پیامدهای منفی فقدان نگرش سیستمی در احداث سد قرنق‌چای در دامنه‌های شرقی سهند را از طریق ویژگی‌های فرسایشی منطقه و تعیین محدوده‌های با شدت رسوب‌دهی زیاد و نیز، استفاده از داده‌های دبی آب، رسوب، بارش ایستگاه‌های موجود و انجام تحلیل‌های کمی، بررسی کرد. بیاتی‌خطیبی در سال ۱۳۸۷ پژوهش دیگری انجام داد و در آن، نحوه تأثیر سد سهند بر

1. Williams & Wolman
2. Carling
3. Gregory
4. Zhou
5. Marie Pohl
6. Du
7. Hamilton

تغییر مورفولوژی بستر جریان رود قرنقو را مورد بررسی قرار داد و محدوده‌های حساس به فرسایش را تعیین و پهنه‌بندی کرد. همچنین بیاتی خطی و همکاران (۱۳۸۸) تغییرات مورفولوژیکی ناشی از احداث سدهای سهند و ملاجیخ را در بستر رودهای قرنقو و شور بررسی کردند و میزان رسوب‌دهی بخش‌های مختلف حوضه را با استفاده از روش دومتغیره ارزیابی کرده و با بهره‌گیری از نرم‌افزار GIS، محدوده‌های حساس به فرسایش را پهنه‌بندی کردند. آنها نتیجه گرفتند که بخش‌های بالادست حوضه از نظر شدت فرسایش در وضعیت نسبتاً بحرانی قرار دارند. گفتنی است که در رابطه با سد مخزنی گیلان غرب مطالعات بسیار محدودی انجام گرفته که از آن دسته، می‌توان از طرح‌ها و مطالعات مربوط به سد و تأسیسات وابسته به آن یاد کرد که مهندسان مشاور آب نیرو در شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمانشاه آن را تهیه کرده‌اند. علاوه بر این، عقابی (۱۳۸۵) به تحلیل شبه‌استاتیکی شیب شیروانی‌های این سد در شرایط زمین‌لرزه پرداخت و برای پایاب سد در شرایط مختلف بارگذاری، شیب H: IV ۲/۲۵ را پیشنهاد کرد.

منطقه مطالعاتی

پهنه مورد مطالعه در این پژوهش، سد مخزنی گیلان غرب در حوضه آبریز رود الوند در ۱۶۰ کیلومتری غرب استان کرمانشاه و در ۵ کیلومتری شرق شهرستان گیلان غرب است. این سد از نوع خاکی با هسته رسی است و روی بخشی از رودخانه گیلان غرب در حد فاصل بین دو روستای کلاشک بالا و کلاشک پایین احداث شده است. این حوضه دارای عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵ دقیقه و ۵ ثانیه تا ۳۴ درجه و ۲۰ دقیقه و ۸ ثانیه شمالی و طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۵۵ دقیقه و ۳۸ ثانیه تا ۴۶ درجه و ۲ دقیقه و ۳ ثانیه شرقی است (شکل ۱).

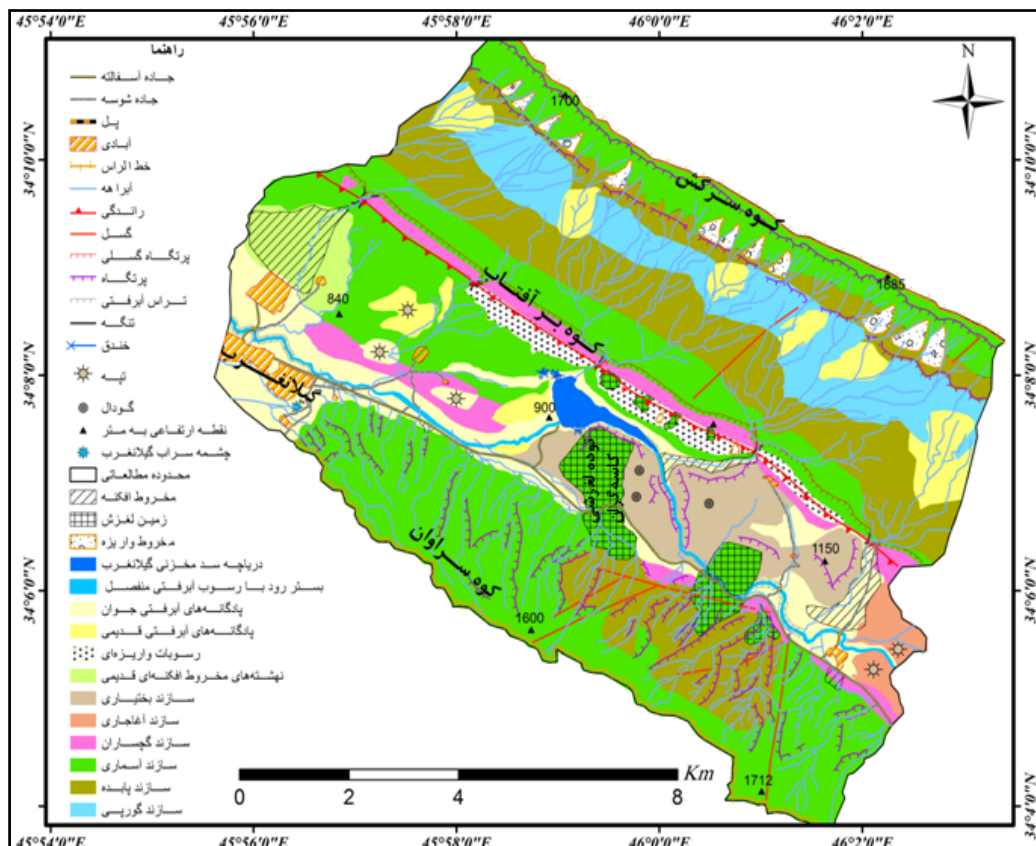


شکل ۱. موقعیت محدوده مطالعاتی (ترسیم: نگارندگان)

حجم مخزن این سد ۱۷ میلیون متر مکعب، ارتفاع سد ۴۸ متر، وسعت دریاچه آن ۹۴ هکتار و میانگین رسوب وارده به مخزن سد، ۸۰۰۰۰ متر مکعب در سال است. اهداف ساخت این سد، مهار سیلاب‌ها و ذخیره جریان آب رود مرزی

گیلان غرب و تلفیق آن با آبهای زیرزمینی چشمه‌های سراب گیلان غرب^۱ و بهره‌برداری از آنها در آبیاری اراضی دشت گیلان غرب در پایین دست سد مذکور است. منبع اصلی تأمین کننده آب سطحی سد، رود گیلان غرب با میانگین آبدهی درازمدت سالانه ۲۱/۶ میلیون مترمکعب در ایستگاه کلاشک است (مهندسان مشاور آب نیرو، ۱۳۷۹: ۴).

این منطقه آب‌وهوای گرم و خشکی دارد، متوسط ارتفاعات منطقه از سطح دریا ۸۰۰ متر است و بخشی از واحد زاگرس چین خورده (شمال غربی) شمرده می‌شود. در مورد وضعیت زمین‌شناسی این محدوده می‌توان گفت که از سازندهای گورپی، سازند پابده، آهک آسماری، سازند گچساران، سازند آغاچاری، سازند بختیاری و رسوب‌های آبرفتی و واریزه‌ای تشکیل شده است و از نظر تکتونیکی، به دلیل فعالیت‌های نئوتکتونیکی گسل راندگی گیلان غرب، منطقه‌ای فعال به‌شمار می‌رود. این گسل دارای حرکات امتداد لغز راست‌بر با روند ۶۰ درجه غربی - شمالی است (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۰). همچنین از مهم‌ترین پدیده‌های ژئومورفولوژیکی این محدوده، وجود توده زمین لغزشی کاسه‌گران در دامنه شمالی کوه سراوان، چشمه سراب گیلان غرب در خواب محوری تاقدیس سراوان و نیز دره‌های کارستی در کوه سراوان است که کمابیش همه دره‌ها در راستای عمود بر محور تاقدیس تشکیل شده‌اند (شکل ۲). شکل ۲ با استفاده از نقشه زمین‌شناسی، تصویر ماهواره‌ای IRS-P5 و DEM هشت متر حاصل از تصویر IRS و نقشه توپوگرافی انجام گرفته است.



شکل ۲. نقشه ژئومورفولوژی پهنه مورد مطالعه (ترسیم: نگارندگان)

۱. میانگین تخلیه سالانه چشمه‌های سراب، حدود ۴۳/۵ میلیون مترمکعب در سال است.

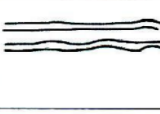
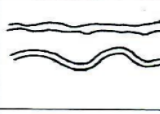
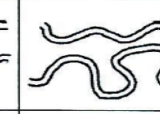
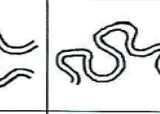
روش پژوهش

این پژوهش بر مبنای استدلال قیاسی - استقرایی و تحلیل‌های ژئومورفولوژیکی، از طریق تحلیل داده‌ها و اطلاعات کسب‌شده از محیط و با استفاده از محیط‌های نرم‌افزاری و بازدیدهای میدانی انجام شده است. داده‌های نقشه‌ای، داده‌های مورد استفاده این پژوهش را تشکیل داده‌اند که عبارتند از: نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ برگ‌های کال‌کش (شماره 5228III سری K753) و گیلان غرب (شماره 5158II سری K753)، نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ برگ قصرشیرین (شماره 1-38 I and J) و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ برگ کرنند (شماره 5258)، داده‌های سنجش از دوری شامل تصویر ماهواره‌ای IRS-P5 سال ۲۰۱۰ (با مشخصات IRS-8102303Y0801)، تصاویر ETM⁺ سال ۱۳۳۴ (با مشخصات p168r036-7t2000628) و نیز تصویر گوگل ارث. علاوه بر این، از عکس‌های هوایی سال ۱۳۳۴ با مقیاس ۱:۵۵۰۰۰ استفاده شده است. با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای ETM⁺ با توان تفکیک مکانی و زمانی متفاوت، وضعیت گذشته بستر رود در قبل و حین احداث سد بررسی و تحلیل شد، سپس با استفاده از تصاویر IRS-P5 و گوگل ارث مربوط به سال‌های بعد از احداث سد، میزان تغییرات ژئومورفولوژیک ایجاد شده سد در بازه‌های زمانی و مکانی مورد نظر، تحلیل و نیمرخ‌های مربوطه ترسیم شد. همچنین با استفاده از داده‌های دبی آب و رسوب رود، تأثیر سد بر افزایش یا کاهش میزان رسوب و همچنین، تأثیر این پارامترها بر تغییر شرایط مورفولوژیکی، تحول بستر و کناره‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. بنابراین بعد از تدوین مبانی نظری و پیشینه پژوهش و انجام بازدید میدانی از منطقه مطالعاتی، داده‌های سنجش از دوری مورد پردازش قرار گرفت. در ابتدا با استفاده از نرم‌افزار LPS^۱ که در محیط نرم‌افزاری Erdas Imagine قابل نصب است، زوج تصاویر ماهواره IRS-P5 سال ۲۰۱۰ نسبت به تصویر ماهواره‌ای گوگل ارث با تعداد ۳۷ نقطه کنترلی و با $RMS = ۰/۱۲$ ، زمین مرجع و تصحیح هندسی شدند و تصویر Ortho و سپس DEM ۸ مترمحدوده مطالعاتی، از تصویر IRS به دست آمد و با استفاده از این DEM نیمرخ طولی و همچنین نیمرخ‌های عرضی رودخانه در دوره بعد از ساخت سد و در فواصل ۵۰۰ متری از یکدیگر ترسیم شد که برای تفسیر ویژگی‌های بستر و تغییرات رخ داده در نسبت عرض به عمق بستر مورد استفاده قرار گرفته است؛ زیرا هر تغییری که در دبی آب، رسوب و مورفولوژی رود ایجاد شود، در نیمرخ‌های توپوگرافی رودخانه بروز می‌یابد.

سپس برای تحلیل ویژگی‌های مورفولوژی رود در دوره قبل از ساخت سد، عکس‌های هوایی سال ۱۳۳۴ مورد استفاده قرار گرفت و این عکس‌ها با $RMS = ۰/۰۰۱۹$ نسبت به تصویر ماهواره‌ای IRS-P5 زمین مرجع شدند. همچنین نقشه‌های توپوگرافی ورق‌های گیلان غرب و کال‌کش با هم در محیط GIS موزاییک شدند و پس از رقوم‌سازی، TIN و DEM منطقه مطالعاتی به دست آمد و سپس از روی آن نیمرخ‌های توپوگرافی در مقاطع مختلف رودخانه ترسیم شد. همچنین برای تحلیل و بررسی ویژگی‌های مورفولوژی رود در دوره ساخت سد، تصاویر ماهواره‌ای ETM⁺ ماهواره لندست مربوط به سال ۲۰۰۰ مورد استفاده قرار گرفت و با $RMS = ۰/۱۹$ نسبت به تصویر IRS-P5 زمین مرجع شد و تغییرات بستر رود، از طریق ترسیم نیمرخ‌های طولی و عرضی بررسی شد.

علاوه بر این در پژوهش پیش رو، برای بررسی الگوی رودخانه در هر سه دوره مطالعاتی، از ضریب پیچشی پیتز (۱۹۸۶) استفاده شده است. پیتز برحسب میزان ضریب پیچشی، چهار نوع رودخانه را براساس جدول ۱ تقسیم‌بندی می‌کند (دولتی، ۱۳۸۷: ۱۳۹).

جدول ۱. تقسیم‌بندی رودخانه بر حسب ضریب پیچشی (پیتز، ۱۹۸۶)

ضریب پیچشی	۱ - ۱/۰۵	۱/۰۶ - ۱/۲۵	۱/۲۵ - ۲	> ۲
شمای رودخانه				
نوع رودخانه	مستقیم	سینوسی	پیچانرودی	پیچانرودی شدید

ضریب پیچشی یا مقدار سینوسیته یک رود، نسبت طول مجرای رود به طول دره است و از رابطه ۱ به دست می‌آید.

$$S = C/V \quad \text{رابطه ۱}$$

S: سینوسیته رودخانه؛ C: طول مجرای رود؛ V: طول دره به خط مستقیم.

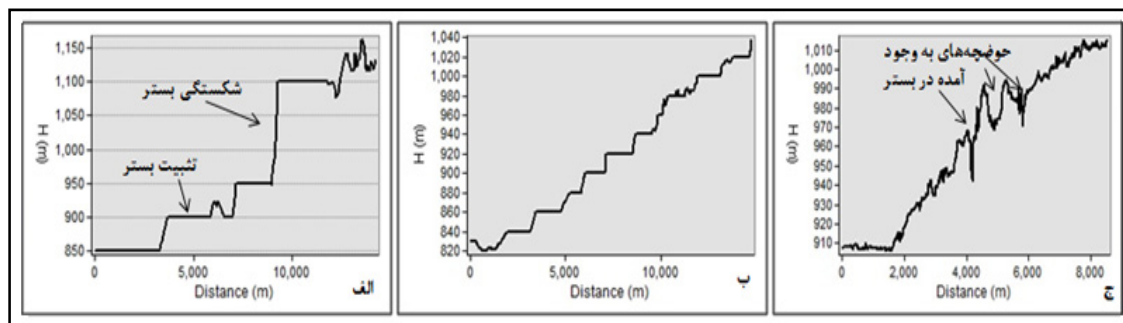
همچنین با انجام بازدیدهای میدانی، تلاش شد تا این تغییرات روی زمین نیز شناسایی، ثبت و کنترل شوند و پس از تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از انجام بازدیدهای میدانی و مقایسه تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی در محیط‌های نرم‌افزاری، نتیجه‌گیری نهایی این پژوهش ارائه شد. گفتنی است که برای سهولت در تحلیل ویژگی‌های مورفولوژیکی و بررسی تغییرات بستر رود، محدوده مطالعاتی در سه دوره قبل از ساخت سد (از سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۷۵)، حین ساخت سد (۱۳۷۵ تا ۱۳۸۲) و بعد از ساخت سد (۱۳۸۲ تا حال حاضر) مطالعه می‌شود.

یافته‌های پژوهش

در دوره قبل از ساخت سد مخزنی گیلان غرب، رود گیلان غرب در بستر خود در حالت طبیعی قرار داشته و دارای تعادل نسبی بوده است. هرچند سیلاب‌هایی که در این دوره رخ داده‌اند، تغییرات ناگهانی را در نیمرخ طولی و عرضی رود ایجاد کرده‌اند که این تغییرات باعث ایجاد فرسایش بستر و دیواره‌های کناری در مجرای رود شده و در شکل‌گیری پیچان‌های رودخانه نقش داشته‌اند؛ اما با شروع ساخت سد و احداث جاده‌های دسترسی و کارگاه‌های عملیات ساخت‌وساز، دامنه‌های اطراف سد و زمین‌های کشاورزی محدوده آن، به شدت مورد دستکاری قرار گرفته و آشفته شده‌اند. همچنین بهره‌برداری از سنگ‌های مجاور کارگاه و ایجاد پستی و بلندی‌های جدید برای احداث سد، مقدار زیادی رسوب تولید می‌کند که در نهایت تمام این رسوب‌ها در اثر جریان آبهای سطحی در پشت دریاچه سد رسوب‌گذاری می‌کند و بر عمر مفید سد تأثیرگذار است. برای تأمین منابع قرضه مورد نیاز ساخت سد، از رسوبات شن و ماسه‌ای بستر رود و خاک‌های ریزدانه دامنه‌های اطراف سد بهره‌برداری شده که بستر رود را عریض کرده و مورفولوژی دامنه‌ها و تپه‌ها را تغییر داده که عاملی در افزایش میزان تولید رسوب است.

نیمرخ طولی و عرضی بستر رود

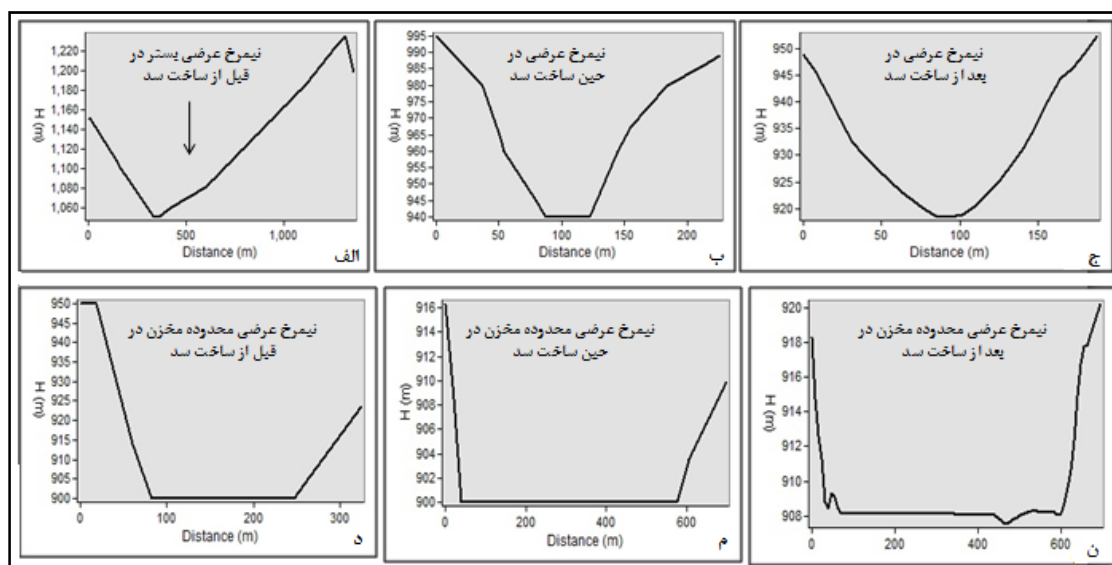
بررسی نیمرخ طولی بستر رود در دوره قبل از ساخت سد (شکل ۳ - الف) نشان می‌دهد که در ورودی حوضه، شیب بستر به دلیل وجود جبهه‌های پیاپی فرسایشی و رسوب‌گذاری، دارای تغییرات زیاد و پستی و بلندی‌هایی بوده است. آنجا که نیمرخ بالا آمده فرسایش غالب است و در مناطق گودافتادگی و تقعر، رسوب‌گذاری غلبه دارد. اما در بخش کلانی از بستر تا خروجی حوضه، در شیب بستر، بخش‌های تثبیت‌شده و شکستگی‌هایی پی‌درپی دیده می‌شود که دلیل عمده آن، فعالیت گسل راندگی گیلان غرب و نیز، وجود سازند سخت بختیاری در برخی نقاط نزدیک بستر است و با کاهش فاصله رود از خط راندگی، میزان شکستگی‌های بیشتر می‌شود؛ به گونه‌ای که بستر رود در ارتفاع ۹۵۰ متری که بزرگترین شکستگی را نشان می‌دهد، ۱/۷۰ کیلومتر از خط راندگی گیلان غرب فاصله دارد. همچنین در دوره ساخت سد، ارتفاع شکستگی‌ها و طول تثبیت‌شدگی‌های نیمرخ طولی کاهش یافته (شکل ۳ - ب) و بستر رود تحت تأثیر فرسایش شدیدی قرار گرفته و بخش‌هایی با نیمرخ تقریباً محدب و مقعر در حد واسط آنها تشکیل شده است که نشان‌دهنده شدت گرفتن فرسایش بستر در محل تثبیت‌شدگی‌ها و شکستگی‌ها بر اثر فرسایش قهقراپی در بستر رود است و دلیل آن، تغییرات ایجاد شده در بستر رود در محدوده مخزن و ایجاد سطح اساس جدید است؛ زیرا بستر رود از پایین دست به سمت بالادست تنظیم می‌شود و بخش‌های بالایی بستر رود از تغییرات بخش‌های پایین دست و نزدیک مخزن سد پیروی می‌کنند. اما نیمرخ طولی رود در بعد از احداث سد (شکل ۳ - ج) نسبت به دوره‌های قبلی کاملاً تغییر یافته و بخش‌های تثبیت‌شده بستر از بین رفته‌اند که دلیل آن، تشدید عمل فرسایش و رسوب‌گذاری بعد از ساخت سد در بستر است. در بخش‌هایی از بستر، افزایش عمق به صورت فرورفتگی‌های پی‌درپی ظاهر شده و حوضچه‌هایی را در بستر ایجاد کرده که عمل رسوب‌گذاری در آنها انجام می‌گیرد. این حوضچه‌ها در بخش بالادست سد و در بستر رود قرار دارند و در ادامه فعالیت نئوتکتونیک ایجاد شده‌اند، همچنین منطقه کارستی بوده و بستر به صورت بخش‌های فرورفته پُر آب و بخش‌های خشک نمایان شده است که عمل رسوب‌گذاری در بخش‌های پُر آب صورت می‌گیرد.



شکل ۳. نیمرخ طولی رودخانه گیلان غرب در دوره‌های قبل از ساخت سد (الف)، حین ساخت سد (ب) و بعد از ساخت سد (ج)

همچنین ترسیم و تفسیر نیمرخ‌های عرضی رود در بخش بالادست و مخزن در سه دوره قبل، حین و بعد از ساخت سد، بیان می‌کند که در دوره قبل از ساخت سد، بستر مقطع شکل V داشته و کمابیش متقارن با دیواره‌های پرشیب بوده

است (شکل ۴-الف) و از جوان بودن رود و قرار داشتن آن در مرحله حفر و کف‌کنی حکایت دارد. این نیمرخ در دوره ساخت سد عریض‌تر شده و مقطع آن در گذر زمان به شکل U تغییر یافته است (شکل ۴-ب) که این تغییر به دلیل فرسایش در کناره‌های بستر رود و نیز، برداشت بخشی از منابع قرصه ساخت سد از بستر رود ایجاد شده است. در بعد از ساخت سد (شکل ۴-ج)، نیمرخ عرضی در محدوده بالادست کاملاً U شکل، عریض‌تر و پهن‌تر شده، قدرت تخریبی آن در جهت عمقی کاهش یافته و فرسایش به کناره‌های مجرا محدود شده است که دلیل آن، تشکیل سطح اساس جدید در منطقه و کاهش سرعت رود و حتی رسوب‌گذاری در بخش‌هایی از بستر است. در بخش مخزن، نیمرخ عرضی در دوره قبل از ساخت سد دارای مقطع عریض‌تری نسبت به بخش بالادست بوده است (شکل ۴-د) که دلیل آن، قرار داشتن رود روی رسوب‌های آبرفتی سست و منفصل و تخریب کناره‌های بستر است. این مقطع از بستر به دلیل قرار گرفتن در بخش مخزن در حین ساخت سد (شکل ۴-م)، مورد حفر و پی‌کنی قرار گرفته و از جهت عمقی و عرضی عمیق‌تر و عریض‌تر شده است و روند عریض‌شدگی بستر در دوره بعد از ساخت (شکل ۴-ن) نیز، به دلیل افزایش فرسایش در کناره‌های سد ادامه خواهد داشت؛ زیرا برخورد مستقیم آب با دامنه‌های کناره سد که مورد خاک‌برداری قرار گرفته، فرسایش این دامنه‌ها را بیشتر کرده و به دلیل این فرسایش، همواره بر عرض بستر اضافه می‌شود.



شکل ۴. مقاطع عرضی بستر رود در دوره قبل، حین و بعد از ساخت سد در بخش‌های بالادست (موارد الف، ب، ج) و محدوده مخزن (سد (د، م، ن)).

شیب رودخانه

بررسی شیب رودخانه در بخش بالادست و محدوده مخزن، نشان می‌دهد که شیب در هر دو محدوده هنگام ساخت و نیز بعد از ساخت سد، کاهش یافته است (جدول ۲). دلیل کاهش شیب در محدوده مخزن (از ۰/۰۲ به ۰/۰۸)، کف‌کنی بستر در این محدوده و مهم‌تر از همه، رسوب‌گذاری کل بار رسوبی رود در مخزن است. با توجه به اینکه هیچ آبی از این سد به پایین دست منتقل نمی‌شود و تمام بار بستری و معلق آن در مخزن ذخیره می‌شود، سد دلتا تشکیل می‌شود که

علاوه بر کاهش ظرفیت ذخیره مخزن و عمر مفید سد، شیب بستر را نیز کاهش می‌دهد؛ اما چون روخانه‌ها شیب خود را از پایین دست به سمت بالادست تنظیم می‌کنند، بنابراین شیب بستر در بخش بالادست سد نیز کاهش می‌یابد. این کاهش شیب حتی بر شیب شاخابه‌های فرعی که به بستر رود اصلی می‌ریزند نیز، تأثیر می‌گذارد. به گفته‌ای، کل بستر رود از مخزن به بالادست دچار تغییر شیب می‌شود. کاهش شیب که با رسوب گذاری و بالآمدن بستر رود همراه است، سبب می‌شود که در مواقع سیلابی زمین‌های کشاورزی و سطوح بیشتری در اطراف رود سیلاب زده شود و مشکلاتی را برای سکونتگاه‌های بالادست سد ایجاد کند.

جدول ۲. تغییرات شیب بستر رود در دوره قبل، حین و بعد از ساخت سد، در بخش‌های بالادست و محدوده مخزن

شیب در محدوده مخزن	شیب در بالادست سد	بازه زمانی
۰/۰۲	۰/۰۱۹	قبل از ساخت سد
۰/۰۱	۰/۰۱۷	حین ساخت سد
۰/۰۰۸	۰/۰۱۵	بعد از ساخت سد

الگوی رود

با استفاده از ضریب پیچشی پیتز، رودخانه گیلان غرب در قبل از دوره ساخت سد در بالادست، دارای الگوی پیچانرودی و در محدوده مخزن، دارای الگوی سینوسی است (جدول ۳). ضریب پیچشی رود در بالادست و در دوره ساخت سد افزایش یافته، اما رود همچنان بر اساس ضریب پیچشی پیتز دارای الگوی پیچانرودی است. به احتمال، افزایش ضریب پیچشی در دوره ساخت سد، به دلیل دستکارهایی است که در بستر برای برداشت منابع قرضه مورد نیاز سد صورت گرفته و از سوی دیگر، این برداشت سبب ایجاد فرسایش بیشتر در بستر و کناره‌های رود شده است. به همین دلیل در دوره ساخت سد، این ضریب افزایش می‌یافته است. در محدوده مخزن تغییر الگوی رود از سینوسی به مستقیم است. هرچند که در دوره ساخت سد ضریب سینوسی، به دلیل کف‌کنی بستر و عریض کردن آن افزایش یافته، اما در بعد از ساخت سد، به دلیل در دام افتادن و ته‌نشینی بار رسوبی رود در مخزن سد، ضریب پیچشی کاهش و الگوی رود به مستقیم تغییر یافته است.

جدول ۳. ضریب پیچشی رودخانه گیلان غرب در بازه بالادست و مخزن سد در دوره‌های قبل، حین و بعد از ساخت سد

ضریب پیچشی در محدوده مخزن	ضریب پیچشی در بالادست سد	محدوده رود
۱/۰۷	۱/۲۸	قبل از ساخت سد
سینوسی	پیچانرودی	نوع الگو
۱/۲۰	۱/۷۵	حین ساخت سد
سینوسی	پیچانرودی	نوع الگو
۰/۹۸	۱/۳۳	بعد از ساخت سد
مستقیم	پیچانرودی	نوع الگو

فرسایش قهقرایی مجرا و مورفولوژی شاخه‌ها

در دوره قبل از احداث سد، سرشاخه‌ها خود را با سطح اساس جریان رود اصلی تنظیم کرده و در حرکت به سمت آن بار رسوبی خود را کاهش می‌دادند و در ناحیه پایین‌تر از شاخه‌های فرعی و محل تلاقی آنها با رود اصلی، دوره جدید فرسایش آغاز می‌شده است و در نهایت رود پس از تأمین بار رسوبی با رسیدن به منطقه کم‌شیب‌تر دشت، رسوب‌گذاری می‌کرده است. اما این وضعیت بعد از ساخت سد در سرشاخه‌ها تغییر می‌کند.

دریاچه سد به‌عنوان سطح اساس جدیدی برای رودخانه عمل می‌کند و رود مجبور به تنظیم ویژگی‌های بستر خود با این سطح اساس جدید است و با هر گونه افزایش یا کاهش در میزان سطح آب دریاچه، ویژگی‌های مورفولوژیکی بستر رود نیز تغییر می‌کند. تغییر در رود اصلی روی شاخه‌ها نیز تأثیر می‌گذارد. بنابراین شاخه‌های فرعی برای انطباق با رود اصلی و سطح اساس بالآمده، ناچار به تغییر در ویژگی‌های فرسایشی و رسوب‌گذاری بستر خود هستند و با فرسایش قهقرایی، بستر را به سمت بالادست فرسایش می‌دهند و عمل رسوب‌گذاری نیز در بخش‌های پایین بستر آنها انجام می‌شود (شکل ۵). همچنان که شاخه‌های فرعی در نهایت با سطح اساس جدید منطبق می‌شوند، بار رسوبی رود کاهش می‌یابد و از محل تلاقی شاخه‌های فرعی با رود اصلی به پایین‌تر، دوره جدیدی از فرسایش بستر در رود اصلی آغاز می‌شود.



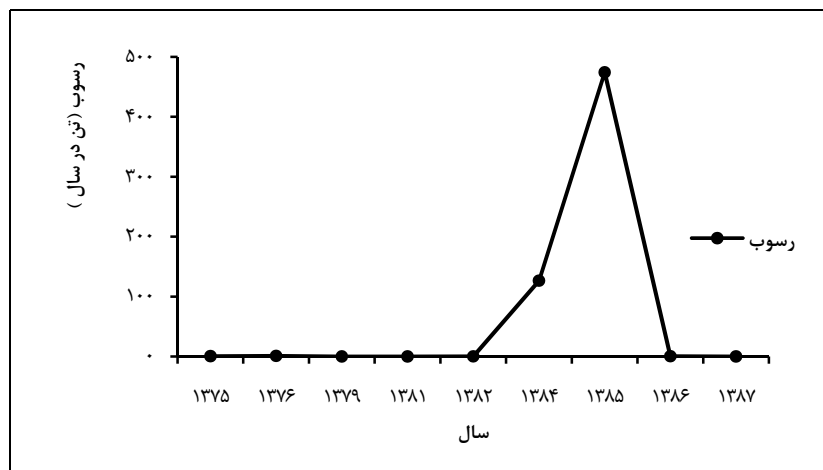
شکل ۵. رسوب‌گذاری در محل اتصال یکی از شاخه‌ها به دریاچه سد، تحت تأثیر بالآمدن سطح اساس محلی (منبع: تصویر ماهواره‌ای IRS-P5)

با توجه به اینکه بخش بسیاری از آب پشت سد در فصل تابستان، برای کشاورزی در پایین‌دست سد مصرف می‌شود و حجم زیادی نیز از طریق تبخیر (سالانه حدود ۲۱۲۳/۶ میلی‌متر) هدر می‌رود، بنابراین سطح اساس آب در این فصل به مقدار زیادی پایین می‌رود. در نتیجه سرشاخه‌ها که خود را با سطح اساس زمان پُرآبی قبلی تنظیم کرده بودند،

یکباره و در زمان وقوع بارندگی‌ها و جریان آب در آنها، برای هماهنگی با سطح اساس جدید مجبور به حفر و فرسایش مجدد در بستر خود می‌شوند، این عمل پی‌درپی و هر ساله تکرار می‌شود. به‌طور کلی رود در زمان بالابودن سطح آب مخزن، اقدام به رسوب‌گذاری و در زمان پایین افتادن سطح آب در مخزن، اقدام به فرسایش بستر می‌کند و تمام سیستم رودخانه و شبکه زهکشی آن تحت تأثیر این روند قرار گرفته و تغییر می‌یابند. تکرار فرایند فرسایش - رسوب‌گذاری، مقدار زیادی رسوب تولید می‌کند که در نهایت در مخزن سد ته‌نشین می‌شوند.

تغییر در مقدار رسوب

ساخت و بهره‌برداری از سد مقدار رسوب و ذخیره آن را تحت تأثیر قرار داده و تولید رسوب را افزایش می‌دهد. براساس برآورد مهندسان مشاور آب نیرو، سالانه به‌طور میانگین ۸۰۰۰۰ مترمکعب رسوب به مخزن سد وارد می‌شود (مهندسان مشاور آب نیرو، ۱۳۷۹: ۴). با توجه به نمودار رسوب در ایستگاه ورودی سد، مقدار بار رسوبی این رود در سال‌های قبل از احداث سد و هنگام ساخت آن بسیار کم بوده، اما با پایان احداث سد در سال ۸۲، میزان رسوب رود در سال‌های ۸۴ و ۸۵ ناگهان به مقدار زیادی افزایش پیدا کرده است (شکل ۶). دلیل این افزایش رسوب، می‌تواند بالا بودن دبی آب ورودی سد باشد که با افزایش بارش در این سال‌ها و نیز، شست‌وشوی رسوب تولید شده ناشی از عملیات ساخت‌وساز سد و خاک‌برداری و برداشت منابع قرضه سد از دامنه‌های اطراف و بخش بالادست سد، ایجاد شده است. علاوه‌بر این، دامنه‌های فرسایش‌پذیر بالادست (سازندهای گورپی، پابده و آجاجاری) نیز، منابعی برای تولید رسوب هستند که استعداد منطقه در تولید رسوب را نشان می‌دهد، به‌ویژه اینکه در حوضه مورد مطالعه و بالادست سد، عملیات آبخیزداری صورت نگرفته و در بیشتر دامنه‌های شیب‌دار شخم زمین در جهت شیب است.



شکل ۶. نمودار رسوب رود گیلان غرب در ایستگاه ورودی سد

شکل‌گیری تراس آبرفتی جدید

در مورد تشکیل تراس‌های آبرفتی، دو نظریهٔ تکتونیکی و اقلیمی از طریق تغییر در سطح اساس وجود دارد. در نظریهٔ تکتونیکی، بالارفتن ارتفاعات یا پایین‌رفتن و فروافتادگی بخش‌های انتهایی (فرونشینی)، منجر به نیمرخ تعادلی و تغییر

سطح اساس می‌شود. در این حالت، رود با سرعت بیشتری جریان یافته، بستر قبلی خود را حفر می‌کند و کناره‌های بستر سابق به صورت پادگانه، در دو طرف یا گاهی در یک طرف رودخانه باقی می‌ماند. در نظریهٔ اقلیمی، تغییر دبی رواناب‌ها یا مقدار تبخیر آب، موجب تغییر در سطح اساس جریان، نسبت انتقال و اندازهٔ مواد می‌شود. با کم شدن دبی یا افزایش تبخیر، رود در بستر کوچکتری جریان می‌یابد و پادگانه‌ها در کنار آن شکل می‌گیرند (احمدی، ۱۳۹۰: ۲۸).

با توجه به اینکه ساخت سد، سبب ایجاد سطح اساس جدیدی می‌شود، رود شیب خود را با این سطح تنظیم می‌کند، اما چون حجم زیادی از آب سد طی ماه‌های خشک سال، مورد استفادهٔ کشاورزی قرار می‌گیرد و از سویی، تبخیر سالانهٔ آب حدود ۲۱۲۳/۶ میلی‌متر است، بنابراین در فصول خشک سطح اساس به مقدار زیادی پایین می‌رود و رود برای انطباق مجدد با سطح اساس، ناچار به حفر و کاوش بستر خود می‌شود. تکرار این عمل، پادگانه‌های جدیدی در کناره‌های بستر رود ایجاد می‌کند. علاوه بر این، مطالعات انجام‌شده روی نئوتکتونیک منطقه، از فعالیت‌های شدید نئوتکتونیک و بالاآمدگی در ساحل راست رودخانه و کج‌شدگی شبکهٔ زهکشی به سمت ساحل چپ رود حکایت دارد (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۰). بنابراین مجموع این عوامل، موجب حفر و کاوش رود در رسوبات آبرفتی اولیهٔ خود در ساحل چپ شده و کناره‌های بستر سابق، به صورت پادگانهٔ جدیدی (شکل ۷- ترانس آبرفتی شمارهٔ ۳) در ساحل چپ رود باقی مانده‌اند.



شکل ۷. شکل‌گیری ترانس آبرفتی ۳ در ساحل چپ رود بر اثر تغییرات سطح آب دریاچه سد و فعالیت نئوتکتونیک گسل راندگی گیلان غرب

فرسایش کناره‌های دریاچه سد

در محدوده مخزن سد، برخورد امواج تشکیل شده در سطح آب دریاچه با کناره‌ها، موجب فرسایش کناره‌های دریاچه شده و مقدار زیادی از خاک و مواد سطحی دامنه‌ها را شسته و در مخزن سد ذخیره می‌کند. این امواج با وزش باد بر سطح دریاچه به وجود می‌آیند. میزان فرسایش در کناره‌ها، بسته به بزرگی امواج و قدرت آنها متفاوت است. بزرگی این امواج به سرعت باد و عرض دریاچه سد در مسیر وزش باد مربوط می‌شود. این موج‌ها معمولاً به صورت نامنظم و با طول موج و ارتفاع‌های متفاوت و پی‌درپی هستند. در محدوده مخزن میزان فرسایش و آبشویی ناشی از این امواج، در ساحل چپ دریاچه بیشتر از ساحل راست است (شکل ۸- الف). همچنین با کاهش سطح آب دریاچه سد در تابستان (شکل ۸- ب)، تنش مؤثر خاک کناره دریاچه کاهش می‌یابد و خاک به صورت توده‌ای به درون دریاچه ریزش می‌کند. این امر، بیشتر در بخش‌هایی از ساحل چپ دریاچه دیده می‌شود که دیواره‌های قائمی دارد.

وقوع فرسایش شیاری و خندقی و حرکات توده‌ای

روی دامنه‌های مسلط به دریاچه، شاخه‌ها میزان فرسایش خود را به دلیل شیب و تغییرات سطح اساس آب دریاچه در طول سال، بیشتر کرده‌اند و شیاری‌هایی را در بخش‌هایی از دامنه‌های شمالی و جنوبی دریاچه سد به وجود آورده‌اند (شکل ۸- ج). رشد و توسعه این شیاریها، زمینه را برای ایجاد فرسایش خندقی در دامنه‌های اطراف مهیا کرده است و سبب رخداد فرسایش خندقی شده است (شکل ۸- د).



شکل ۸. رخداد فرسایش و آبشویی در محدوده دریاچه سد و دامنه‌های مسلط به آن، تحت تأثیر تغییرات سطح اساس. تصویر الف: فرسایش و آبشویی ناشی از عمل امواج در کناره‌های ساحل چپ دریاچه سد؛ تصویر ب: نوسان و افت سطح آب در طی فصول خشک سال؛ تصویر ج: وقوع فرسایش شیاری در دامنه‌های مسلط به دریاچه سد؛ تصویر د: رخداد فرسایش خندقی در دامنه مسلط بر ساحل چپ دریاچه سد.

همچنین یکی از فرایندهای طبیعی که پس از احداث سدها رخ می‌دهد، نفوذ آب دریاچه سد به داخل لایه‌های دامنه‌های اطراف است؛ بنابراین در اثر نفوذ و تماس دامنه با آب، اصطکاک بین لایه‌ای کاهش می‌یابد و پایداری شیب به هم خورده و رانش زمین صورت می‌گیرد. با توجه به اینکه دامنه‌های مشرف به سد گیلان غرب در تماس مستقیم با دریاچه آن قرار دارند و با توجه به وقوع لغزش‌های قدیمی (از جمله توده زمین لغزش کاسه‌گران) در منطقه و دامنه‌های اطراف سد که در نقشه ژئومورفولوژیکی منطقه مشخص شده‌اند (شکل ۲)، می‌توان گفت این منطقه مستعد تکرار رخداد زمین لغزش است و نفوذ آب دریاچه سد در دامنه‌های اطراف، احتمال رخداد لغزش در محدوده سد را بالا می‌برد که سبب حمل مقدار زیادی رسوب به دریاچه سد می‌شود.

بحث و نتیجه‌گیری

عملیات سدسازی و بهره‌برداری از این‌گونه سازه‌های آبی در حوضه‌های رودخانه‌ای، تغییرات عمده‌ای را در فعالیت فرایندهای ژئومورفولوژیکی پدید آورده و تعادل سیستم‌های پویا را برهم‌زده است. این ساختار با توجه به ویژگی‌های مورفولوژیکی محلی، شرایط اقلیمی حاکم و تغییر در الگوی جریان طبیعی آبها، تغییر در مقدار رسوب‌گذاری و بار رسوبی رود، تغییر در انرژی آب هنگام عملکرد فرایندهای ژئومورفولوژیکی رودخانه‌ها، حوضه‌ها و دامنه‌های مشرف به دریاچه سدها، اثرات زیادی را بر جای گذاشته‌اند و تغییرات مورفولوژیکی را از طریق تغییر در عملکرد فرایندهای فرسایشی و رسوب‌گذاری در سامانه‌های حوضه‌های زهکشی اعمال می‌کنند که موجب دگرگونی کامل چهره حوضه‌ها در محدوده‌های نزدیک به سدهای احداث شده می‌شوند. احداث سد در مسیر رود گیلان غرب و تشکیل دریاچه و ایجاد سطح اساس جدید، تغییرات شگرفی را در محیط این رود و کل حوضه به‌وجود آورده و به‌لحاظ پویایی رود، ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی بستر جریان را تغییر داده است. با توجه به استخراج و محاسبه پارامترهایی چون شیب رودخانه، ضریب پیچشی رودخانه، ترسیم نیمرخ‌های طولی و عرضی، ویژگی‌های فرسایشی دامنه‌ها، تغییرات سطح اساس و تغییر در میزان دبی آب و رسوب، نتایج زیر به‌دست آمده است.

طی سال‌های اول بهره‌برداری از سد (سال‌های ۸۳، ۸۴ و ۸۵)، میزان بار رسوبی رودخانه در بخش بالادست و مخزن سد افزایش یافته است که دلیل آن به ایجاد سطح اساس جدید در منطقه و تلاش رودخانه برای تنظیم شدن با این سطح اساس و نیز، حمل رسوبات تولید شده در دامنه‌ها و محل مخزن در دوران عملیات ساخت سد مربوط می‌شود. درنهایت تمام این رسوب‌ها با قطع کامل جریان در پایین دست سد، در مخزن ذخیره می‌شوند و دلتایی را در آن ایجاد می‌کنند. با رشد این دلتا و بالادست سطح اساس، عملکرد فرسایشی و رسوب‌گذاری رود تغییر می‌یابد و این عامل موجب کاهش شیب رودخانه در بالادست و محدوده مخزن نسبت به قبل از احداث سد می‌شود. از سوی دیگر در فصول خشک، استفاده از آب سد در کشاورزی و تبخیر شدید آن، سطح آب دریاچه را به‌شدت پایین می‌آورد، بنابراین رود برای انطباق دوباره با سطح اساس جدید، ناچار به حفر و کاوش در رسوب‌های بستر خود می‌شود. علاوه بر این، فعالیت‌های شدید نئوتکتونیک و بالادستی در ساحل راست رودخانه و کج‌شدگی شبکه زهکشی به سمت ساحل چپ رود، سبب تشدید فعالیت حفر و کاوشی رود در رسوب‌های آبرفتی اولیه ساحل چپ‌شده و کناره‌های بستر سابق، به‌صورت پادگانه آبرفتی

جدیدی در ساحل چپ رود باقی مانده‌اند. همچنین تغییرات سطح اساس، موجب رشد و توسعه فرسایش شیاری و ایجاد فرسایش خندقی در دامنه‌های مسلط به دریاچه سد شده است. مطابق با ضریب پیشروی پیتز، الگوی رودخانه در بازه بالادست بعد از ساخت سد، از ۱/۲۸ به ۱/۳۳ افزایش داشته که حاکی از تغییر الگوی رود به سمت پیکانرودی شدید است. در محدوده مخزن نیز، الگو از سینوسی به مستقیم تغییر یافته است. همچنین با توجه به نیمرخ‌های ترسیم شده از بستر رود در دوره‌های سه‌گانه و در مقاطع مختلف رودخانه، مقطع طولی و عرضی رود در بعد از احداث سد تغییر یافته که نشان‌دهنده تغییر در عرض، عمق و شیب مجراست؛ به گونه‌ای که در قبل از احداث سد، نیمرخ عرضی در بالادست سد دارای مقطع V شکل بوده، اما در دوره بعد از احداث سد این نیمرخ به شکل U تغییر یافته است.

منابع

- Ab-Niroo Consulting Engineers, 2000, **Reservoir Dam Project and Network of Irrigation - Drainage the Gilan-e-Gharb Plain (Locating Gilan-e-Gharb Dam and Related Facilities)**, Ministry of Energy, Water Organization of West Regional.
- Ahmadi, S., 2011, **The Alluvial Terrace Evidence of the Quaternary Morphology**, Earth Science & Mineral, Vol. 6, No. 62, PP. 26-29.
- Asaeda, T., Rashid, M.H., 2012, **The Impacts of Sediment Released from Dams on Downstream Sediment Bar Vegetation**, Journal of Hydrology, Vol. 430-431, No. 1, PP. 25-38.
- Bayati Khatibi, M., 2007 a, **The Effect of Dam Construction in Geomorphological Evolution of the Rivers Bed**, Geographic Space, Vol. 7, No. 17, PP. 167-129.
- Bayati Khatibi, M., 2007 b, **Consequences of the Lack of Systematic Approach in the Construction Gharanghochay Dam in Eastern Slopes of Sahand**, Geographic Space, Vol. 7, No. 19, PP. 33-62.
- Bayati Khatibi, M., 2008, **The Review of Method Affect Sahand Dam on the Change of Bed Stream Morphology in Gharangho River on Erosion and Sedimentary its (Case Study: Gharanghochay Basin, Eastern Slopes of Sahand Mountain, North Western of Iran)**, Geography and Development, Vol. 6, No. 11, PP. 199-220.
- Bayati Khatibi, M., Karami, F., Rajabi, M., Mokhtari, D., 2009, **Review Geomorphological Changes Due the Construction of Sahand and Mallajigh Dams in the Bed of Gharangho and Shor Rivers and Dominant Slope on the Lake of Dams (in: Eastern Slopes of Sahand Mountain)**, Physical Geography Research Quarterly, Vol. 41, No. 68, PP. 1-13.
- Berger, A. R, Iams, W., 1996, **Ge indicators: Assessing Rapid in Earth Systems**, Published by A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield.
- Brandt, S. A., 2000, **Classification of Geomorphological Effects Downstream of Dams**, Catena, Vol. 40, PP. 375-401.
- Cooke, R. U., Doornkamp, J. C., 1998, **Geomorphology in Environmental Management**, Vol. 1, Translated by Shapour Gudarzinejad, Samt, Tehran.

- Csiki, S., Rhoads, B., 2013, **Influence of Four Run-of-river Dams on Channel Morphology and Sediment Characteristics in Illinois, USA**, *Geomorphology*, Vol. 206, PP. 215-229.
- Dolati, J., 2008, **The Review of Geomorphological Changes Segment Middle of Atrak (With Use of GIS and RS)**, Thesis for Masters of Science, Supervisor: Dr. Yamani, Faculty of Geography, Tehran University.
- Draut, A.E, Logan, J.B., Mastin, M.C, 2011, **Channel Evolution on the Dammed Elwha River, Washington, USA**, *Geomorphology*, Vol. 127, No. 1-2, PP. 71-87.
- Du, X., 2006, **Impact of Channelization and Dam Construction on Kaskaskia River Morphology**, Thesis for Master of Science Degree, in the Graduate School Southern Illinois University Carbondale.
- Freeland, C., 1997, **The Downstream Impacts of the Gillespie Dam Breach on the Lower Gila River**, Thesis for Degree Master of Arts, Arizona State University.
- Grant, G. E., Schmidt, J. C., Lewis, S. L., 2003, **A Geological Framework for Interpreting Downstream Effects of Dams on Rivers**, *Water Science and Application*, Vol. 7, No. 1, PP. 209-225 .
- Gupta, H., Kao, S.J., Dai, M., 2012, **The Role of Mega Dams in Reducing Sediment Fluxes: A Case Study of Large Asian Rivers**, *Journal of Hydrology*, Vol. 464-465, PP. 447-458.
- Hadley, R. F., 1988, **Reservoir Sedimentation: Impact, Extent, and Mitigation**, *Eos, Transactions American Geophysical Union*, Vol. 69, No. 37, PP. 850.
- Hamilton, J. L., 2007, **The West Branch Delaware River, New York, Downstream of the Cannonsville Dam**, Thesis the Degree of Master of Science in Geology In the Graduate School of Binghamton University, State University of New York .
- Hossinzade, M., Nohegar, A., 2006, **The Effects of Construction Minab Dam on Hydrodynamic and Changes in River Bed of Minab**, *Geography (Journal of Geographical Association of Iran)*, Vol. 4, No.10 & 11, PP. 57-76.
- Locher, H., Telfer, D., Bresnehan, S., 2002, **Downstream Meander Dam Fluvial Geomorphology Assessment**, Final report, GECO Stream & Catchment Assessment, Tasmania, Australia.
- Ma, Y., Huang, H. Q., Nanson, G. C, Li, Y., Yao, W., 2012, **Channel Adjustments in Response to the Operation of Large Dams: the upper Reach of the Lower Yellow River**, *Geomorphology*, Vol. 147-148, PP.35-48.
- Maghsodi, M., Bagheri, S., Daoodi, M., 2011, **the review Gilan -e- Gharb Thrust with use the Geomorphological of Indicators and Evidences**, *Geography and Development*, No. 21, PP. 137-158.
- Magilligan, F.J, Nislow, K.H., 2005, **Changes in Hydrologic Regime by Dams**, *Geomorphology*, Vol. 71, No. 1-2, PP. 61-78.
- Marie Pohl, M., 1999, **the Dams of the Elwha River, Washington: Downstream Impacts and Policy Implications**, Dissertation for Degree Doctor of Philosophy, Arizona State University.

- Nelson, N.C., Erwin, S.O., Schmidt, J., 2013, **Spatial and Temporal Patterns in Channel Change on the Snake River Downstream from Jackson Lake Dam**, Wyoming, *Geomorphology*, Vol. 200, PP. 132–142.
- Oghabi, M., 2006, **Analyzing the Quasi-Static of Gables Slope Gilan-e-gharb Dam in Earthquake Condition**, Thesis for Masters of Science, Supervisor: Dr. Sanaei Rad, Faculty of Post Graduate, Islamic Azad University of Arak.
- Overeem, I., Kettner, A.J., Syvitski, J.P.M., 2013, **Impacts of Humans on River Fluxes and Morphology**, *Treatise on Geomorphology*, Vol. 9, No. 1, PP. 828-842.
- Petts, G.E., Gurnell, A.M., 2005, **Dams and Geomorphology: Research Progress and Future Directions**, *Geomorphology*, Vol. 71, No. 1-2, PP. 27-47.
- Schumm, S.A., 1973, **Geomorphic Thresholds and Complex Response of Drainage Systems, in: Fluvial Geomorphology**, Proceedings of the 4th Annual Geomorphology Symposia, Binghamton, New York, ed. M. Morisawa, 299-310. Binghamton, Ny: publication in *Geomorphology*, State University of New York.
- Skalak, K.J., Bentham, A.J., Schenk, E.R., Hupp, C.R., Galloway, J.M., Nustad, R.A., Wiche, G.J., 2013, **Large Dams and Alluvial Rivers in the Anthropocene: The Impacts of the Garrison and Oahe Dams on the Upper Missouri River**, *Anthropocene*, Vol. 2, No. 1 PP. 51-64.
- Stave, J., Oba, G.S, Nils, C., Nordal, I., 2005, **Environmental gradients in the Turkwel Riverine Forest, Kenya: Hypotheses on dam-induced vegetation change**, *Forest Ecology and Management*, Vol. 212, No. 1-3, PP. 184-198.
- Sternberg, R., 2006, **Damming in River: a Changing Perspective on Altering Nature**, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.10, No. 3, PP. 165-197.
- Stevaux, J.C., Martins, D.P., Meurer, M., 2009, **Changes in a Large Regulated Tropical River: The Paraná River Downstream from the Porto Primavera Dam, Brazil**, *Geomorphology*, Vol. 113, No. 3-4, PP. 230- 238.
- Surian, N., Rinaldi, M., 2003, **Morphological Response to River Engineering and Management in Alluvial Channels in Italy**, *Geomorphology*, Vol. 50, No. 4, PP.307-326.
- Tagliaferro, M., Miserendino, M.L., Liberoff, A., Quiroga, A., Pascual, M., 2013, **Dams in the Last Large Free-flowing Rivers of Patagonia, the Santa Cruz River, Environmental Features, and Macro Invertebrate Community**, *Limnologica– ecology and Management of Inland Waters*, Vol. 43, No. 6, PP. 500–509.
- Vericat, D., Batalla, R.J., Garcia, C., 2006, **Breakup and Reestablishment of the Armour Layer in a Large Gravel-bed River below Dams: The Lower Ebro**, *Geomorphology*, Vol. 76, No. 1-2, PP. 122- 136.
- Xu, K., Milliman, J.D., 2009, **Seasonal Variations of Sediment Discharge from the Yangtze River before and after Impoundment of the Three Gorges Dam**, *Geomorphology*, Vol.104, No. 3-4, PP. 276 -283.

Yuan, W., Yin, D., Finlayson, B., Chen, Zh., 2012, **Assessing the Potential for Change in the Middle Yangtze River Channel Following Impoundment of the Three Gorges Dam**, *Geomorphology*, Vol. 147–148, No. 1 PP. 27–34.