جغرافیا و توسعه شماره ۴۴ پاییز ۱۳۹۵
وصول مقاله : ۱۳۹۴/۰۷/۲۱
تأیید نهایی : ۱۳۹۵/۰۳/۲۳
صفحات : ۸۸-۶۵

ارزیابی آثار انتقال آب بین حوضه‌ای بر مورفولوژی بستر رودخانه در حوضه‌ی مبدأ
مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی رودخانه‌ی زاب

دکتر عزت‌الله قنواتی[۱] دکتر داود طالب‌پور اصل[۲]، ، دکتر سعید خضری[۳]

چکیده

در سال‌های اخیر به منظور احیای دریاچه‌ی ارومیه و پیشگیری از بروز پیامدهای منفی زیست‌محیطی، طرح انتقال آب رودخانه‌ی زاب به دریاچه‌ی ارومیه در دست مطالعه و اجرا قرار گرفته است. در این مقاله سعی شده است تغییرات احتمالی مورفولوژی رودخانه‌ی زاب ناشی از اجرای پروژه در پایین دست سد کانی‌سیو، مورد ارزیابی قرار گیرد. روش تحقیق عمدتاً بر پایه‌ی روش تحلیلی استوار است. داده‌ها شامل نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰، عکس‌های هوایی ۱/۶۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ (سنجنده‌ی ETM)، تصاویر GDEM ماهواره‌ی ASTER با قدرت تفکیک ۱۵ متر، داده‌های اقلیمی و هیدرولوژی آب‌های سطحی منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد که به منظور گردآوری آنها از طریق روش کتابخانه‌ای و اسنادی، مراجعه به سازمان‌ها و ادارات، سایت‌های اینترنتی و مشاهدات میدانی، اقدام شده است. نتایج نشان می‌دهد که پس از آبگیری سد کانی‌سیو و انتقال آب به دریاچه‌ی ارومیه، دبی رودخانه‌ی زاب در ایستگاه هیدرومتری گرژال در پایین‌دست سد، از ۱۴۶۴/۷۲ میلیون مترمکعب در سال به ۶۵۳/۴۲ میلیون متر مکعب در سال کاهش خواهد یافت و بستر رود دچار کاهش شدید جریان خواهد شد، بطوری‌که در ماههای شهریور و مهر بستر رودخانه‌ی زاب از پای دیواره‌ی سد تا الحاق سرشاخه آبخورده تقریباً خشک می‌شود. این کاهش جریان موجب تغییر شاخص‌های مورفولوژیکی مانند نیمرخ عرضی و طولی و شاخص‌های هیدرولیکی مانند عمق آب و سرعت جریان خواهد شد. بر این اساس، در بازه‌ی الف جریان رود تنها بخش‌های عمیق‌تر بستر را مورد استفاده قرار می‌دهد که حاصل آن تشکیل تراس‌های جدید و کوچک شدن مقطع عرضی، نابودی پوشش گیاهی کناری و یا عقب نشینی آن به فواصل دورتر خواهد بود. در بازه ب قدرت جریان رود متوجه‌ی کناره‌های رود شده و آن را برش خواهد داد و چالاب‌های موجود در مسیر جریان از طریق نهشته‌گذاری پر خواهند شد و در بازه ج با افزایش فاصله از سد کانی‌سیو و افزایش بار رسوب نسبت به ظرفیت انتقال، رسوبات ته نشین شده، لذا هم عمق بستر و هم پهنای آن به دلیل تشکیل پشته‌های رسوبی در مسیر جریان و رسوبگذاری در کناره‌ها، کمتر خواهد شد.

کلیدواژه‌ها: انتقال آب بین حوضه‌ای، مورفولوژی رودخانه، دریاچه‌ی ارومیه، حوضه‌ی رودخانه‌ی زاب.

۱- دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی تهران ghanavati@khu.ac.ir
۲- کارشناس آموزشی و پژوهشی ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان (نویسنده مسؤول) d.talebpour@uok.ac.ir
۳- دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه کردستان SKhezri@uok.ac.ir

مقدمه

رودخانه‌ها به عنوان یک سیستم در واکنش به بی‌تعادلی‌های ناشی از عوامل طبیعی و یا ساخته‌ی دست انسان، مورفولوژی بستر خود را برای رسیدن به تعادل مجدد تغییر می‌دهند. آثار متقابل پیچیده‌ای بین متغیّرهای مورفولوژی رودخانه ازجمله دبی جریان، بار رسوب، پارامترهای کانال و نیمرخ طولی وجود دارد، بنابراین هر تغییری در هرکدام از این متغیّرها، مشخصاً به صورت عکس‌العمل مورفولوژی رودخانه منعکس خواهد شد. انتقال بین حوضه‌ای آب نمونه‌ای از این تغییر است *(Elizabeth, 2000: 1)*.

دو دسته از متغیّرها، در کنترل مورفولوژی رودخانه با اهمیت تشخیص داده شده‌اند. دسته‌ی اول، متغیّرهای مربوط به حوضه‌ی آبریز (در مقیاس منطقه‌ای) که رژیم رسوب و هیدرولیک رودخانه را تعیین می‌کنند و دسته‌ی دوم، متغیّرهای مکانی (مقیاس‌محلی) از جمله خصوصیات رسوب بستر و تراس‌ها و پوشش گیاهی کناره‌ای رود که ثبات و پایداری کانال را تعیین و کنترل می‌نمایند *(Rowntree, 1991: 34)*.

پروژه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای هر دوی این متغیّرها را تحت تأثیر قرار خواهد داد. میزان دبی آب و رسوب، ابعاد مجرای یک جریان را از نظر عرض، عمق، طول موج مئاندر و شیب تعیین می‌کند. ویژگی‌های هیپسومتری و هندسی مجاری رود و انواع الگوهای شریانی، پیچانرودی، مستقیم و سینوزیتی، بطور مشخص بر اثر تغییر در میزان جریان و دبی رسوب به وجود می‌آیند *(قاسم‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۱۴)*.

سدها رژیم جریانی و بار رسوبی رود را تحت تأثیر قرار می‌دهند *(Nelson et al, 2013: 133; Overeem et al, 2013: 828)*. بیشترین تغییرات در رودخانه در سال‌های ابتدایی پس از آبگیری سد رخ داده و با گذشت زمان از شدت تغییرات کاسته می‌شود و در نهایت رودخانه مجدداً به حالت تعادل می‌رسد *(سیفی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲: ۶۷)*.

در کشور ما سالانه صدها میلیارد ریال صرف اجرای پروژه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای می‌شود بدون آنکه سطح معقولی از قطعیّت وجود داشته باشد که این پروژه‌ها به شکل اساسی کیفیت زیست‌محیطی را در حوضه‌ی مبدأ یا مقصد تخریب نمی‌کنند و تعادل مورفولوژیکی حوضه‌های آبریز را به‌هم نمی‌زنند.

در سال‌های اخیر تشدید پدیده‌ی خشکسالی و مدیریت نادرست منابع آب، موجب افت شدید تراز آب دریاچه‌ی ارومیه و بروز پیامدهای منفی زیست‌محیطی شده است *(رضازاده و عباسی، ۱۳۹۲: ۲)*. لذا به منظور پیشگیری از بروز چنین مشکلاتی، طرح انتقال آب رودخانه‌ی زاب به حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ارومیه در دست مطالعه و اجرا قرارگرفته است. این انتقال علیرغم رفع برخی کمبودها در حوضه‌ی مقصد می‌تواند منشأ تغییرات زیادی در بستر جریان رودخانه از جمله نیمرخ عرضی و طولی آن در حوضه مبدأ باشد که باید از دیدگاه ژئومورفولوژی مورد ارزیابی قرار گیرد.

اوج اجرای پروژه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای از اوایل دهه‌ی ۱۹۷۰ میلادی بوده است. در اوایل دهه‌ی ۱۹۸۰ میلادی به دلیل بروز تغییراتی که این پروژه‌ها در حوضه‌های مبدأ و مقصد به وجود آوردند، محققان تلاش کردند آثار آن را از دیدگاههای مختلف مورد

بررسی قرار دهند. از جمله در کشور چین که طرح‌های بزرگ انتقال آب بین حوضه‌ای در جهت تأمین آب نواحی مرکزی، شمالی و شمال غربی آن کشور اجرا شده است، آثار این طرح‌ها مورد توجه متخصصین محیط زیست و رشته‌های مربوط با علوم زمین بوده است.

تحقیقات نشان می‌دهد در این کشور اجرای پروژه‌ی انتقال آبِ جنوب به شمال[1]، باعث کاهش شدید جریان در پایین دست رود، همراه با تغییر شدید شاخص‌های هیدرولیکی عمق آب، سرعت جریان، مساحت و پهنای جریانات سطحی شده است (*Yan et al, 2012: 2685*).

این تأثیرات نسبت به فصل و موقعیت در امتداد رودخانه متفاوت است. بطوری‌که تفاوت‌های فصلی از آبگیری و آزادسازی فصلی سدها تبعیت می‌نماید. به عنوان مثال شدت اثرات در نقاطی از رودخانه‌ی یانگ تسه نزدیک به سد تری جورج پنج‌برابر بیشتر از مقاطع دیگر در پایین‌دست است، دلیل آن "رقیق‌سازی" آثار به وسیله‌ی وارد شدن شاخه‌های فرعی در پایین‌دست به رودخانه می‌باشد (*Guo et al, 2012: 19*).

همچنین در کشور آمریکا نیز به منظور حل مشکل کم‌آبی، طرح‌های عظیم انتقال آب بین حوضه‌ای اجرا شده است و این باعث فرسایش کانال‌های انحرافی و پایین آمدن کیفیت آب رودخانه‌ی جَک فیش (مسیر انحرافی اوگوکی در امریکای‌شمالی) (*Day et al,1982: 297-305*)، واکنش جریانات گیسویی به سدهای بالادست به صورت باریک شدن کانال و واکنش کانال‌های مئاندری، کاهش نرخ مهاجرت کانال در ناحیه‌ی گریت پلن و سینترال لاولند بوده است (*Friedman et al, 1998: 625*).

در همین کشور گراف (۲۰۰۶) با مقایسه‌ی نقاط کنترل نشده در بالادست با نقاط کنترل شده در پایین دست سد با همان ساختار، اثرات هیدرولوژیکی و ژئومورفیکی ۷۲ سد بزرگ بر نواحی پایین دست رود را مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که سدهای بزرگ، بطور متوسط، دبی پیک سالانه را ۶۷ درصد (در برخی موارد استثنایی تا ۹۰ درصد)، نسبت حداکثر جریان سالانه به جریان متوسط ۶۰ درصد، نرخ دبی روزانه ۶۴ درصد و نرخ روزانه سرریز شدن آب را ۶۰ درصد کاهش می‌دهند. همچنین سدها زمان جریان حداکثر و حداقل را تغییر می‌دهند و این بر بخش‌هایی از نواحی فعال از جمله دشت سیلابی تأثیر می‌گذارد که سطوح عملکرد آنها عملاً به رژیم کنونی رودخانه وابسته است. ازطرف دیگر احداث سد بر روی رودخانه، پیامدهای قابل توجهی بر ثبات تندآب‌ها گذاشته و با کاهش پیک سرعت جریان در مسیر کانال اصلی، توان رودخانه را برای جابجایی رسوبات دانه درشت محدود می‌نماید (*Graf, 1980: 129*).

احداث سد بِنِت بر روی رودخانه‌ی پیس در کشور کانادا موجب تثبیت بستر شنی بلافاصله در پایین دست سد و رسوبگذاری ذرات ماسه در فاصله‌ی دورتر گردیده است. همچنین ریگ و شن در محل اتصال شاخه‌های فرعی متراکم شده و نیمرخ رودخانه به شکل پله‌ای درآمده است (*Church, 1995: 3*). اثرات احداث سد بر مورفولوژی رودخانه از دیدگاه مکانی و زمانی نیز قابل توجه است بطوری‌که تغییرات مقطع

1-South-North Water Transfer Project

عرضی رود، در طول دوره‌ی سدسازی بیشتر از کل دوره‌ی زمانی قبل و بعد از احداث سد است و عرض کانال‌اصلی،تابع ساخت سد روی رودخانه و مجراسازی آن است (Du, 2006: 116).

تحقیقات انجام شده در پایین‌دست سد کریِج گوچ در امتداد رودخانه‌ی دالاس در امریکا نشان می‌دهد دبی پایین دست سد در شرایطی بر ثبات طبیعی فراهم شده کانال تأثیر خواهد گذاشت که آزادسازی آب، فرکانس جریان را بر روی مواد بستر و آستانه‌ی فرسایش تراس‌ها افزایش دهد (Hey, 1986: 407).

براندت در مقاله‌ای با عنوان: طبقه‌بندی اثرات سدها بر ژئومورفولوژی پایین‌دست، اثرات ژئومورفولوژیکی احداث سد بر نواحی پایین‌دست رودخانه را بر اساس میزان دبی آب، بار رسوب، اندازه‌ی دانه‌ها و شیب بستر جریان در نه کلاس طبقه‌بندی نمود. ایشان به این نتیجه رسید که احداث سد باعث ایجاد تغییر در دبی آب و ظرفیت انتقال جریان و در نهایت تغییر در بار رسوب رودخانه می‌گردد و این تغییرات باعث تغییر مقطع عرضی و طولی رودخانه و واکنش سرشاخه‌ها به تغییرات سطح مقطع جریان اصلی خواهد شد (Brandt, 2000: 375).

الیزابت به واکنش دو بخش به هم وابسته‌ی رودخانه (ژئومورفولوژی و پوشش گیاهی حریم آن) به طرح انتقال آب بین حوضه‌ای در رودخانه‌ی اورنج-فیش- ساندِی در کشور افریقای جنوبی پرداخت. نتایج نشان داد که تغییر در رژیم هیدرولوژیکی رودخانه‌ی سکواینمکیر موجب ایجاد تغییرات چشمگیر در هر دوی ساختمان فیزیکی و پوشش گیاهی کناره‌ای در سیستم رودخانه شده است. از جمله انتقال آب بین حوضه‌ای،بیشترین تأثیر را بر نواحی بالادست‌رودخانه‌ی اصلی داشته است و با تبدیل رژیم هیدرولوژیکی، به جریان پایه‌ی بسیار قوی‌تر از جریان سیلاب‌های نرمال قبل از اجرای پروژه، بریدگی، فرسایش و تخریب شدید برای هر دو بخش بستر کانال و تراس‌های رود اتفاق افتاده است (Elizabeth, 2000: 82).

بیاتی‌خطیبی که بیشترین کارهای پژوهش را در ارتباط با اثرات ژئومورفولوژیکی سدها در ایران انجام داده است در سال ۱۳۸۶ اثرات احداث سد سهند در تحول ژئومورفولوژیکی بستر جریان رودخانه‌ی قرانقو را بررسی کرد و در این راستا اثرات سد بر بار رسوبی رودخانه، تغییر شیب بستر و تغییر مورفولوژی بستر رودخانه را ارزیابی نمود و به این نتیجه رسید که احداث سد مذکور در بخش کاملاً فرسایش‌پذیر بستر رود، ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی بخش‌های پایین-دست سد را کاملاً دگرگون کرده و آرایش جریان رودخانه‌ی قرانقو را تغییر خواهد داد. همچنین اعلمی و همکاران (۱۳۸۷) اثرات سد شهیدمدنی (ونیار) بر مورفولوژی رودخانه در پایین دست را مورد ارزیابی قرار داده و دریافتند که رهاسازی آب رسوبگیری شده، موجب فرسایش نسبتاً شدید و تغییرات نیمرخ بستر جریان در پایین دست سد می‌شود.

با وجود مطالعات انجام شده به دلیل تغییرات در فرم رودخانه، تغییرات جهانی آب و هوا و تنوع فرهنگی ساکنان حوضه‌های مبدأ و مقصد به عنوان پایه‌ای برای میزان موفقیت این طرح‌ها، پیش‌بینی دقیق تغییرات ناشی از انتقال آب بین حوضه‌ای امکان‌پذیر نیست (Gregory, 2006: 172).

در مجموع نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد، علی‌رغم رفع کمبود آب در حوضه‌ی مقصد در کوتاه

مدت، اجرای پروژه‌های انتقال آب می‌تواند چالش‌های جدی از جمله، تأثیر منفی بر مورفولوژی بستر جریان رودخانه در حوضه‌ی مبدأ، به همراه داشته باشد. بنابراین هدف از انجام این تحقیق، توسعه‌ی درک بهتر و برآورد میزان واکنش مورفولوژیکی بستر رودخانه‌ی زاب در پایین‌دست سد کانی‌سیو به تأثیرات انتقال آب بین حوضه‌ای می‌باشد.

معرفی حوضه‌ی مورد مطالعه

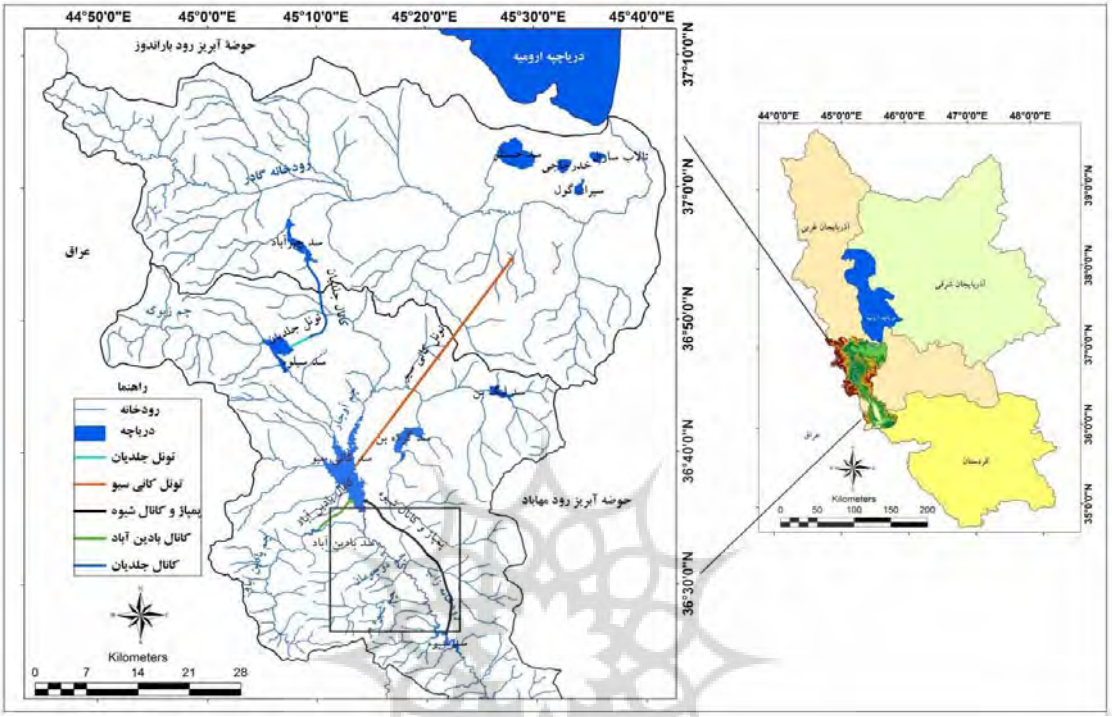
حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی زاب، به عنوان حوضه‌ی مبدأ، در جنوب غربی استان آذربایجان‌غربی قرار دارد. از نظر مختصات جغرافیایی بین ″۳۰ ′۵۹ °۳۵ تا ″۲۰ ′۵۴ °۳۶ عرض شمالی و ″۱۰ ′۵۰ °۴۴ تا ″۴۰ ′۵۰ °۴۵ طول شرقی واقع شده است. مساحت حوضه‌ی زاب تا محل تلاقی رود چومان در نزدیکی مرز عراق ۳۳۸۳/۱۱ کیلومتر مربع می‌باشد (شکل ۱).

رود زاب از ارتفاعات سیاه کوه واقع در مرز ایران و عراق به نام رود لاوین سرچشمه می‌گیرد با دریافت شاخه‌های زیوکه، تمرچین، قلعه‌تراش، آوجار، بادین-آباد، نعلین، آبخورده، پردانان و در مرز ایران و عراق در نزدیکی آبادی هرزنه، پس از دریافت شاخه‌ی پرآب چومان، وارد خاک عراق می‌شود. حداکثر جریان ماهانه رود زاب ۳۲۷/۳ مترمکعب بر ثانیه و معادل ۸۷۶/۶۴ میلیون مترمکعب در فروردین و حداقل جریان ماهانه ۲/۳ متر مکعب در ثانیه و معادل ۵/۹۶ میلیون متر مکعب در آبان در یک دوره‌ی ۴۹ ساله در ایستگاه هیدرومتری گرژال بوده است. میانگین جریان سالانه‌ی رود زاب در همین ایستگاه ۴۶/۱ متر مکعب بر ثانیه و برابر ۱۴۵۳/۸۱ میلیون متر مکعب است (جدول ۱). از نظر اقلیمی این منطقه، یکی از بیشینه‌های بارشی در غرب ایران می‌باشد میانگین بارش سالانه ۷۰۱/۵ میلیمتر و میانگین دما ۱۱/۹ درجه سلسیوس است.

جدول ۱: تغییرات دبی ماهیانه رودخانه‌ی زاب در ایستگاه هیدرومتری گرژال در یک دوره‌ی ۴۹ ساله بر حسب m^2/sec

ماه / دبی	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
میانگین	۹/۱	۱۶/۶	۲۰/۶	۲۱/۷	۲۴/۴	۵۰/۱	۱۰۸/۹	۱۳۱/۸	۹۶/۷	۴۳/۳	۱۸/۹	۱۱/۵	۴۶/۱
حداکثر	۱۶	۵۴/۵	۶۵/۶	۶۵/۹	۵۷/۲	۱۷۳/۵	۳۲۷/۳	۲۷۱/۸	۲۱۰/۱	۱۰۰/۷	۳۷/۵	۲۱/۴	۹۷/۲
حداقل	۵	۲/۳	۳/۵	۹/۸	۷/۴	۷۹/۹	۲۷/۷	۵۷/۲	۲۹/۷	۳/۲	۷	۳/۸	۲۴/۱

مأخذ: سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان غربی، ۱۳۹۳

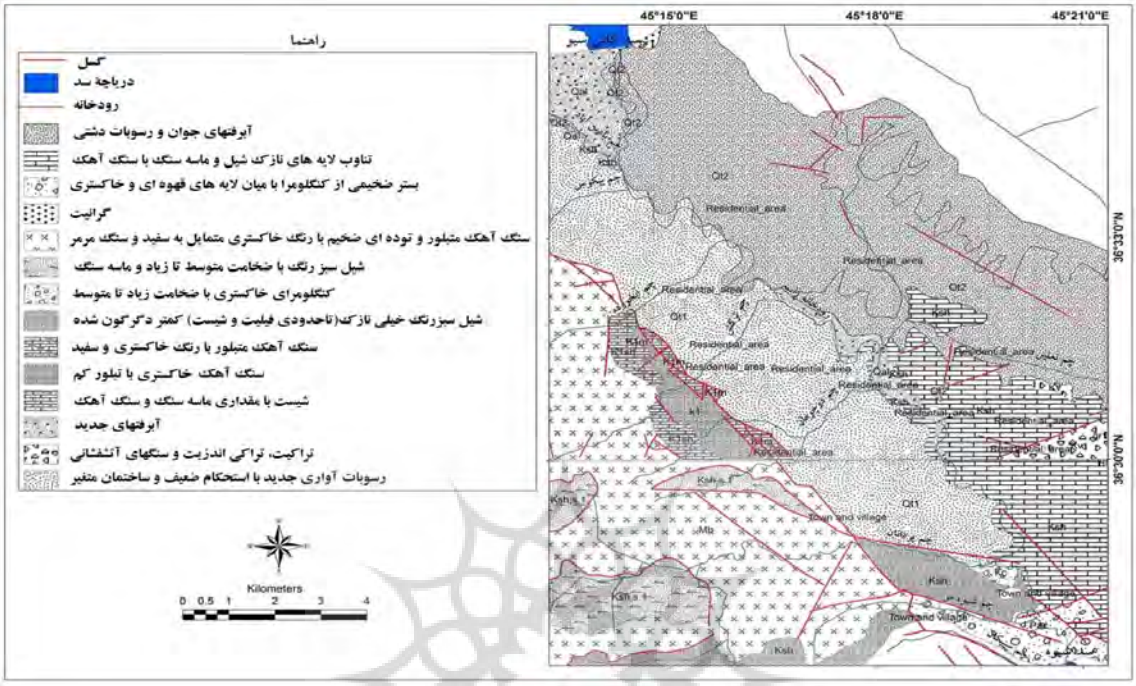


شکل۱: موقعیت جغرافیایی حوضه‌های آبریز رود زاب و محدوده‌ی مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

از دیدگاه تقسیمات واحدهای ساختمانی- رسوبی ایران، حوضه‌ی آبریز رودخانه‌های زاب در محدوده کمربند دگرگونی و افیولیتی زون سنندج- سیرجان می‌باشد. این زون یکی از فعال‌ترین و ناآرام‌ترین واحدهای ساختمانی ایران می‌باشد و مراحل مهم دگرگونی‌را تحمل کرده است*(خضری و همکاران، ۱۳۸۵: ۱۴۸)*. واحدهای کربناته و سنگ‌های ولکانیک به علت پایداری در برابر فرسایش بلندترین ارتفاعات منطقه را ساخته‌اند، حال آن که واحدهای شیلی و ماسه‌ای نقاط پست منطقه را پدید آورده‌اند. فشارهای وارده بر منطقه باعث شکستگی‌های فراوان شده است. از جمله‌ی این گسل‌ها، گسل فعال پیرانشهر می‌باشد که در واقع دنباله‌ی گسل سرتاسری زاگرس بوده و به طول ۹۰ کیلومتر از پیرانشهر تا سردشت امتداد دارد *(قهرودی تالی و همکاران، ۱۳۹۲: ۶)*.

محدوده‌ی پایاب سد کانی سیو یک دره‌ی تکتونیکی با جهت شمال‌غرب- جنوب‌شرق است که در امتداد خط گسل پیرانشهر شکل گرفته است. سرتاسر دامنه‌ی غربی رود زاب از سد کانی سیو تا سد شیوه‌ی مشتمل بر تراس‌های آبرفتی جوان تشکیل شده از مواد منفصل سطحی مربوط به دوره‌ی کواترنر (Qt_1) است و دامنه‌ی شرقی آن از سد کانی سیو تا محل تلاقی چم‌نعلین از آبرفت‌های جوان دوره‌ی کواترنر (Qt_2) پوشیده شده است که توسط رودخانه‌ی زاب رسوبگذاری شده‌اند. از آنجا تا محل احداث سد شیوه مشتمل بر تناوبی از باریکه‌های شیل و ماسه سنگ با سنگ آهک می‌باشد (شکل ۲). مقاوم و پایدار بودن رخنمون‌های ماسه سنگ آهکی، باعث شده است این بخش از دامنه‌ی شرقی به صورت دیواره‌های پرشیب مشرف بر بستر رود زاب نمایان شود.



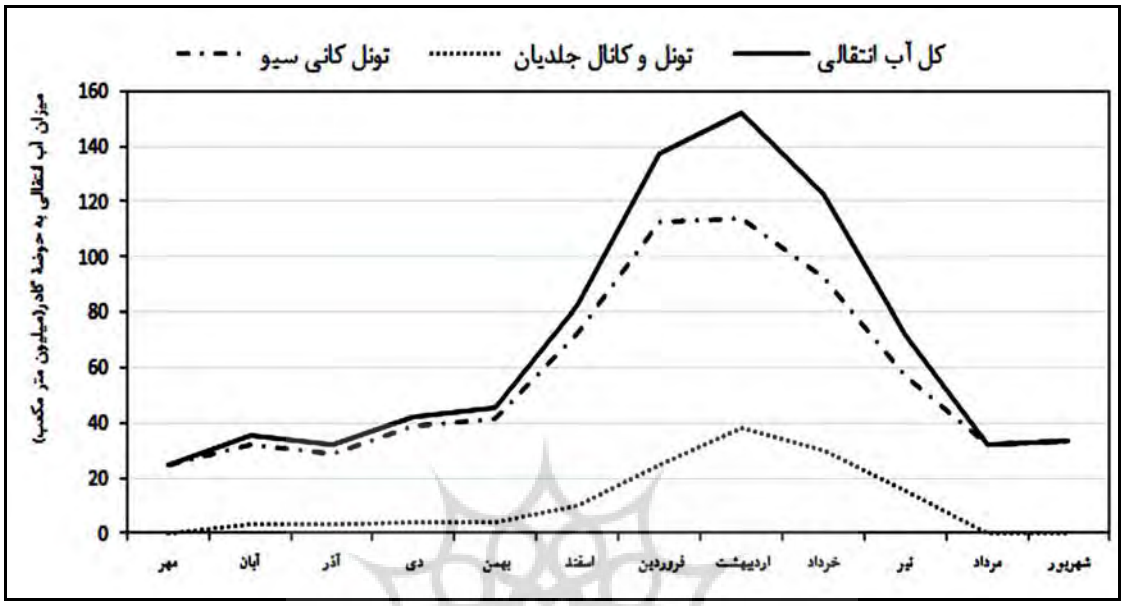
شکل ۲: نقشه‌ی زمین‌شناسی محدوده‌ی مورد مطالعه

(اقتباس از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ نقده و سردشت)

معرّفی پروژه‌ی انتقال آب بین حوضه‌ای

بطور کلی پروژه‌ی انتقال آب از حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی زاب به دریاچه‌ی ارومیه شامل مجموعه طرح‌های سیستم جمع‌آوری آب از شاخه‌های بالادست رودخانه‌ی زاب و همچنین تونل‌های انتقال از دریاچه‌ی سدهای‌مخزنی کانی‌سیو و سیلوه به‌حوضه‌ی رودخانه‌ی گادر و در نهایت دریاچه‌ی ارومیه می‌باشد (شکل ۱). بر اساس این طرح، مقدار بهینه کل آب انتقالی از حوضه‌ی زاب به حوضه گادر به طور متوسط، سالانه ۸۱۱/۳ میلیون مترمکعب است که ۶۷۸/۸ میلیون مترمکعب آن با استفاده از تونل کانی-سیو و بقیه‌ی آن از طریق تونل جلدیان انتقال داده می‌شود. در این حالت متوسط سالیانه‌ی آب خروجی از مرز ۸۱۷/۲ میلیون مترمکعب خواهد بود (*Rezapour tabari & Yazdi, 2014: 1899*) (شکل ۳). مدت زمان اجرای پروژه پنج سال تعیین شده است که در صورت جلوگیری از هرگونه اتلاف وقت و اعتباررسانی به موقع تا سال ۱۳۹۶ به بهره‌برداری خواهد رسید.

بخشی از این پروژه که موضوع مورد مطالعه‌ی این تحقیق می‌باشد شامل بستر جریان رودخانه‌ی زاب از دیواره‌ی سد کانی‌سیو تا دریاچه‌ی سد شیوه به طول ۳۰/۱۱ کیلومتر می‌باشد (شکل۱). با توجه به تراز توپوگرافی، ابتدا و انتهای واحد مورد مطالعه به ترتیب در حدود ۱۳۳۲ و ۱۲۲۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد و متوسط شیب بستر در آن در حدود ۰/۳۷ درصد می‌باشد.



شکل ۳: متوسط بلند مدت میزان بهینه‌ی آب انتقالی از حوضه‌ی رودخانه‌ی زاب به حوضه‌ی رودخانه‌ی گادَر

مأخذ: R tabari & Yazdi, 2014

داده‌ها و روش تحقیق

روش تحقیق عمدتاً بر پایه‌ی روش تحلیلی استوار بوده است. داده‌ها، لایه‌های اطلاعاتی و مدارک مورد نیاز این تحقیق به شرح ذیل می‌باشند که به منظور گردآوری آنها از طریق روش کتابخانه‌ای و اسنادی، مراجعه به سازمان‌ها و ادارات، سایت‌های اینترنتی و مشاهدات میدانی، اقدام شده است:

عکس‌های هوایی ۱/۶۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ (سنجنده‌ی ETM) مورخ ۲۰۱۴/۰۶/۱۱.

تصاویر GDEM ماهواره‌ی ASTER با قدرت تفکیک ۱۵متر که لایه‌های رستری سطوح ارتفاعی، زیرحوضه‌ها، شیب و جهت شیب دامنه‌ها در حوضه با اندازه‌ی پیکسل‌های ۲۰ متر از آن تهیه گردیده است.

داده‌های ساختمانی و لیتولوژیکی که از نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ نقده و سردشت (شماره‌های ۵۰۶۲ و ۵۰۶۳) استخراج شده است.

داده‌های اقلیمی شامل آمار بارش و دمای حوضه‌ی مورد مطالعه مربوط به ایستگاههای کلیماتولوژی پیرانشهر و سردشت در یک‌دوره‌ی۳۰ساله (۹۳-۱۳۶۴) و آمار مربوط به هیدرولوژی آبهای سطحی شامل آمار دبی رودخانه‌ی زاب در ایستگاه هیدرومتری گرژال در یک دوره‌ی ۴۹ ساله (۹۱-۱۳۴۲).

همچنین از تصاویر گوگل ارث نیز استفاده شده و برای تکمیل سایر داده‌ها و انطباق نتایج با وضع موجود، عملیات میدانی انجام شده است.

با شروع ساخت سد کانی‌سیو و آبگیری آن، رژیم هیدرولوژی و انتقال رسوب رودخانه دچار تغییر و تحول شده و سرعت شکل‌گیری رودخانه تغییر خواهد نمود (شکل ۴). لذا با توجه به رابطه‌ی تغییرات ژئومورفولوژیکی در بستر رودخانه‌ها با میزان دبی و تغییرات آن در طیّ زمان، باید میزان تغییرات دبی

قبل و بعد از احداث سد در پایین‌دست آن مورد بررسی قرار گیرد تا تحلیل تغییرات ژئومورفولوژیکی امکان‌پذیر گردد. به این منظور، آمار دبی ماهانه‌ی ایستگاه هیدرومتری گرژال بر روی رودخانه‌ی زاب در یک دوره‌ی ۴۹ ساله، با آمار دبی رود زاب بعد از اجرای پروژه مقایسه شده است. جهت برآورد درصد تغییرات میانگین دبی روزانه قبل‌وبعد از احداث سد، از معادله‌ی زیر استفاده شده است *(Brandt,2000:377)*.

$$P_c = 100\left(\frac{X_2 / X_1}{Y_2 / Y_1}\right)$$

P_c = درصد تغییرات متوسط دبی روزانه در دوره‌ی زمانی مشخص

X_1 = متوسط روزانه جریان رود در دوره‌ی قبل از احداث سد، در دوره‌ی زمانی مشخص در مکان مورد بررسی.

X_2 = متوسط روزانه جریان رود در دوره‌ی بعد از احداث سد، در دوره‌ی زمانی مشخص در همان مکان.

Y_1 = متوسط روزانه جریان رود در دوره‌ی قبل از احداث سد، در دوره‌ی زمانی مشخص در یک ایستگاه که تحت تأثیر احداث سد قرار نگرفته باشد.

Y_2 = متوسط روزانه جریان رود در دوره‌ی بعد از احداث سد، در دوره‌ی زمانی مشخص در همان ایستگاهی که تحت تأثیر احداث سد قرار نگرفته باشد.

همچنین جهت ارزیابی اثرات احداث سد کانی سیو در تغییر بار رسوبی رودخانه‌ی زاب، مسیر ۳۰/۱۱ کیلومتری پایین دست سد بر اساس فاصله از دیواره‌ی سد، میزان ورودی آب از شاخه‌های فرعی و شیب بستر که تعیین کننده‌ی نوع رابطه میان قدرت جریان و قدرت بحرانی جریان هستند، به سه بازه‌ی الف، ب و ج در امتداد نیمرخ طولی رودخانه تقسیم شده است و تأثیر آبگیری سد کانی‌سیو و کاهش جریان‌آب بر ویژگی‌های مورفولوژیکی بستر جریان در هر کدام از بازه‌ها بر اساس نوع رابطه میان بار رسوب و ظرفیت انتقال رسوب پیش‌بینی شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

شکل ۴: مدل مفهومی از رابطه‌ی سلسله مراتبی عوامل مؤثر بر مورفولوژی مجرای رودخانه

اقتباس از: Childs, 2010

بحث

بطور کلی مجرای رود توسط چهار گروه از متغیّرهای وابسته به هم کنترل می‌شود (*Rowntree & Dollar, 1996*):

۱- پروفیل طولی، که پراکندگی انرژی گرانشی در امتداد کانال رودخانه را تعیین می‌نماید.

۲- جریان رودخانه، که انرژی جنبشی را برای فرسایش و انتقال رسوب فراهم می‌آورد.

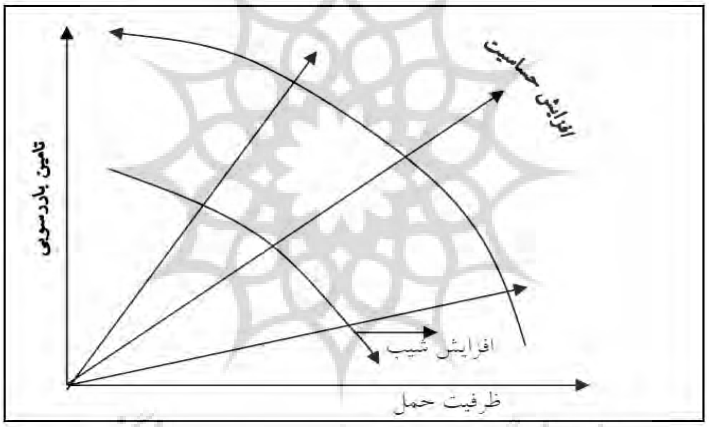
۳- آبرفت، که از طریق رسوب‌گذاری در ترکیب کانال شرکت می‌نماید.

۴- افزایش مقاومت در برابر فرسایش، برای مثال: لیتولوژی بستر و پوشش گیاهی کناری رود.

همچنین متغیّر مهم دیگر از فرم کانال، پروفیل مقطع عرضی می‌باشد، زیرا اطلاعات زیادی را می‌توان از طریق انطباق دو قسمت پهنا و عمق مقطع عرضی با تأثیر خارجی به دست آورد. پروژه‌ی انتقال آب بین حوضه‌ای هر پنج گروه از متغیّرهای فوق را تحت تأثیر قرار می‌دهد. احداث سد به منظور انحراف رودخانه جهت انتقال آب به حوضه‌ی مجاور، باعث تغییر دبی جریان و ظرفیت حمل بار رسوبی و در نهایت تغییر مورفولوژی بستر جریان رود می‌شود(شکل ۵) لذا به منظور ارزیابی تغییرات احتمالی بستر جریان رودخانه در پایین دست سد، باید به پارامترهای فوق استناد شود. در این راستا، لین *(بیاتی‌خطیبی، ۱۳۸۶: ۱۴۲)* رابطه‌ی زیر را بیان نموده است:

$$LD \sim QS$$

که در آن: D اندازه‌ی مواد بستری، L بار رسوبی رودخانه، S شیب و Q دبی آب می‌باشد.



شکل ۵: تغییرات بار رسوب و ظرفیت حمل و تأثیر آن بر شیب بستر جریان. افزایش بار رسوبی موجب کاهش ظرفیت حمل و کاهش شیب بستر می‌شود و بر عکس.

مأخذ: بیاتی‌خطیبی، ۱۳۸۶

هرچند در حال حاضر (قبل از احداث سد کانی سیو) وقوع سیلاب‌های پراکنده، تغییرات ناگهانی در نیمرخ عرضی‌و طولی رودخانه‌ی‌زاب ایجاد می‌نماید و زمینه‌ی فرسایش بستر و تراس‌های کناره‌ای رود را فراهم می‌سازند، اما این رود در بستر طبیعی خود جاری بوده و از یک حالت تعادل نسبی برخوردار است. با شروع ساخت سد کانی‌سیو و آبگیری آن، رژیم هیدرولوژی و انتقال رسوب رودخانه دچار تغییر و تحول شده و سرعت شکل‌گیری رودخانه تغییر خواهد نمود که در دنباله‌ی بحث به آن پرداخته خواهد شد:

آثار احداث سد کانی سیو در تغییر دبی رودخانه‌ی زاب در پایین‌دست

میزان و نحوه‌ی تأثیر سدها بر ویژگی‌های هیدرولوژیکی پایاب سد با مورفومتری‌حوضه‌ها، حجم سد،ویژگی‌های هندسی بستر جریان رودخانه‌ها و میزان آب رها شده از مخزن سدها در طیّ زمان، در ارتباط است *(بیاتی‌خطیبی، ۱۳۸۶: ۱۳۴)*.

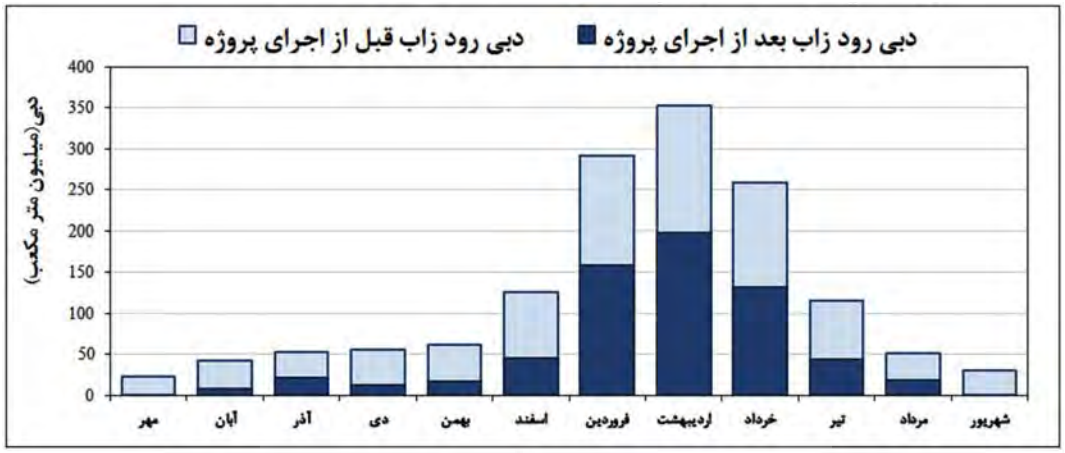
سد کانی سیو که با هدف کنترل جریان رودخانه‌ی زاب و انتقال آن به حوضه‌ی دریاچه‌ی ارومیه احداث می‌گردد، علی‌رغم مزایای آن در حوضه‌ی مقصد، تأثیرات فراوانی بر بستر و کناره‌های مسیر رودخانه‌ی زاب در پایین دست به ویژه نزدیک به دیواره‌ی سد بر جای می‌گذارد. اولین تأثیر عمده‌ی سدّ مذکور بر دبی رودخانه‌ی زاب در پایین‌دست است. براساس آمار ایستگاه هیدرومتری گرژال، متوسط دبی رودخانه‌ی زاب در یک دوره‌ی ۴۹ ساله ۱۴۶۴/۷۲ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد. مطابق طرح انتقال آب از حوضه‌ی زاب به دریاچه‌ی ارومیه، مقدار بهینه‌ی انتقال از طریق تونل کانی‌سیو ۶۷۸/۸ و از طریق تونل جلدیان ۱۳۲/۵ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد. بنابراین پس از اجرای پروژه‌ی دبی رودخانه‌ی زاب به ۶۵۶/۸۳ میلیون متر مکعب در سال کاهش پیدا خواهد نمود (جدول ۲).

جدول ۲: متوسط دبی رودخانه‌ی زاب در ایستگاه گرژال در یک دوره‌ی ۴۹ ساله و دبی آن بعد از اجرای پروژه

ماه	دبی زاب/ میلیون مترمکعب	مقدار بهینه انتقال از طریق تونل کانی سیو	مقدار بهینه انتقال از طریق تونل جلدیان	حجم جریان بعد از اجرای پروژه	درصد کاهش جریان
مهر	۲۳/۵۹	۲۴/۴	۰/۰۰	۰/۰	۱۰۰
آبان	۴۳/۰۳	۳۲/۳	۳/۰۰	۷/۷۳	۸۲/۲
آذر	۵۳/۳۹	۲۸/۷	۳/۵۰	۲۱/۱۹	۶۰/۱
دی	۵۵/۵۹	۳۸/۷	۳/۷۰	۱۳/۱۹	۷۶/۳
بهمن	۶۲/۵۱	۴۱/۷	۴/۰۰	۱۶/۸۱	۷۴/۱
اسفند	۱۲۵/۵۳	۷۲/۳	۸/۰۰	۴۵/۳۲	۶۳/۹
فروردین	۲۹۱/۶۸	۱۱۲/۳	۲۰/۰۰	۱۵۹/۳۷	۴۵/۴
اردیبهشت	۳۵۳/۰۱	۱۱۳/۸	۴۱/۳۰	۱۸۹/۸۲	۴۶/۲
خرداد	۲۵۹	۹۲/۴	۳۴/۰۰	۱۳۲/۶	۴۸/۸
تیر	۱۱۵/۹۷	۵۶/۹	۱۵/۰۰	۴۴/۰۷	۶۲
مرداد	۵۰/۶۲	۳۱/۹	۰/۰۰	۱۸/۷۲	۶۳/۱
شهریور	۳۰/۸	۳۳/۴	۰/۰۰	۰/۰	۱۰۰
سالانه	۱۴۶۴/۷۲	۶۷۸/۸	۱۳۲/۵۰	۶۵۶/۸۳	

مأخذ: سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان غربی، ۱۳۹۳

مقایسه‌ی آمار دبی رود قبل و بعد از اجرای پروژه نشان می‌دهد در ماههای شهریور و مهر بستر رودخانه‌ی زاب از پای دیواره‌ی سد تا الحاق سرشاخه‌ی آبخورده تقریباً خشک می‌شود (شکل ۶).



شکل ۶: متوسط دبی رودخانه زاب در ایستگاه گرژال در یک دوره‌ی ۴۹ ساله و دبی آن بعد از اجرای پروژه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

همچنین تعداد و بزرگی سدهای احداث شده در طول مسیر یک رودخانه در شدت تغییرات مؤثر است، بطوری‌که اثر یک سد کوچک ممکن است در طول مسیر جریان ناچیز باشد اما آثار ترکیبی چند سد کوچک قابل ملاحظه و حتی تأثیرات آن ممکن است بیشتر از آثار سدهای بزرگ باشد *(Brandt,2000:377)*.

در پروژه‌ی مورد مطالعه نیز با توجه به شکل(۱) در فاصله‌ی کمتر از ۲۴ کیلومتر دو سد مخزنی با مشخصات سد سیلوه با گنجایش ۷۴/۶۳ و سدکانی-سیو با گنجایش ۳۲۳ میلیون مترمکعب بر روی رودخانه‌ی زاب در حال احداث است و در آینده نیز سد شیوه در فاصله‌ی ۳۰ کیلومتری پایین‌دست سد کانی سیو احداث خواهد شد و این می‌تواند تغییرات مورفولوژی بستر جریان در پایین دست سد را تشدید نماید.

از آنجا که سد کانی سیو در مرحله‌ی احداث قرار دارد و هنوز آبگیری نشده است، اندازه‌گیری متوسط دبی رود در دوره‌ی بعد از احداث سد در ایستگاهی که تحت کنترل سد نباشد، امکان‌پذیر نیست. لذا به منظور محاسبه‌ی درصدتغییرات متوسط دبی روزانه، متوسط روزانه‌ی جریان در دوره‌ی قبل و بعد از احداث سد در چنین ایستگاهی را ثابت در نظر می‌گیریم، بنابراین با توجه به داده‌های جدول ۱:

$$P_c = \left(\frac{1799534 / 4012931}{1} \right) = \%45$$

$X_1 = ۴۰۱۲۹۳۱$ مترمکعب در روز

$X_2 = ۱۷۹۹۵۳۴$ مترمکعب در روز

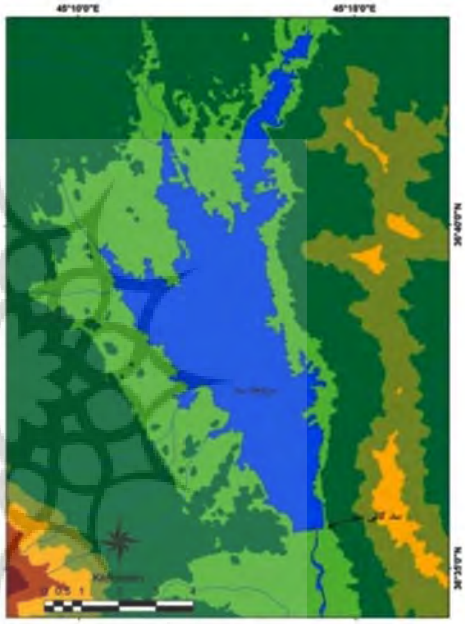
لذا میزان تغییر در دبی رودخانه‌ی زاب در پایین دست سد کانی سیو در حدود ۴۵ درصد خواهد بود و این می‌تواند منشأ تغییرات عمده‌ای در مورفولوژی کانال در پایین‌دست سد باشد.

از طرف دیگر سد کانی‌سیو با ارتفاع ۵۱ متر از بستر رودخانه در زمان آبگیری کامل، دریاچه‌ای به طول ۱۴/۵ کیلومتر و با مساحت ۲۳/۵ کیلومترمربع در رقوم نرمال ۱۳۸۰ متر از سطح دریای آزاد و حجمی معادل ۳۲۳ میلیون مترمکعب را در پشت خود جای خواهد داد (شکل ۷). برای پر نمودن

حجم دریاچه‌ای به این وسعت، در مراحل اولیه‌ی آبگیری دریاچه، آزادسازی آب به بخش‌های پایین دست سد کانی سیو شدیداً کاهش خواهد یافت. روند افزایش دما و کاهش بارش در سال‌های اخیر مزید بر علت شده و زمان آبگیری کامل سد را طولانی‌تر و در نتیجه تغییرات ناشی از کاهش دبی در پایین‌دست را تشدید خواهد نمود. دیو (۲۰۰۶) نیز بر این نکته تأکید نموده است که تغییرات مقطع عرضی رود، در طول دوره‌ی سدسازی بیشتر از کل دوره‌ی زمانی قبل و بعد از احداث سد است.

نوع سد	خاکی با هستهٔ رسی
ارتفاع از بستر رودخانه	۵۱ متر
طول تاج	۷۷۶ متر
رقوم تاج سد	۱۳۸۶ متر از سطح دریای آزاد
رقوم نرمال آب	۱۳۸۰ متر از سطح دریای آزاد
رقوم بستر رودخانه	۱۳۳۵ متر از سطح دریای آزاد
رقوم حداقل تراز آب	۱۳۶۸/۳ متر از سطح دریای آزاد
مساحت مخزن در رقوم نرمال	۲۳/۵ کیلومتر مربع
حجم کل مخزن در تراز نرمال	۳۲۳ میلیون متر مکعب

مأخذ: شرکت آب منطقه ای آذربایجان غربی



شکل ۷: مشخصات سد کانی سیو و محدوده‌ی گسترش دریاچه‌ی آن

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

آثار احداث سد کانی سیو در تغییر بار رسوبی رودخانه‌ی زاب

سدها نه تنها در دبی آب، بلکه در مقدار بار رسوبی رودخانه‌ها نیز تغییرات عمده‌ای ایجاد می‌کنند و این تغییرات، گاه آرایش مسیر رودخانه‌ها را بطور کلی متحول می‌نماید*(بیاتی‌خطیبی،۱۳۸۶: ۱۳۸)*.

سرشاخه‌های رودخانه‌ی زاب که از نواحی کوهستانی مرز ایران و عراق و ترکیه سرچشمه می‌گیرند از قدرت سایشی بسیار بالایی برخوردار هستند و بار رسوبی زیادی را از بالادست به پایین‌دست منتقل می‌نمایند. احداث سد کانی‌سیو در مسیر رودزاب در میزان این انتقال اختلال ایجاد نموده و بخش بزرگی از آن را به تله می‌اندازد. طبق نظر ویلیامز و والمن، در حدود ۹۰ درصد از بار رسوبی رودخانه‌ها در پشت سدهای بزرگ به تله می‌افتد *(بیاتی‌خطیبی، ۱۳۸۶: ۱۳۸)*.

جدول ۳: متوسط دبی رسوب رودخانه‌ی زاب در ایستگاه گرژال در یک دوره‌ی ۴۷ ساله (۹۰-۱۳۴۳)

	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
متوسط دبی روزانه/ تن در روز	۳۲/۷۳	۶۲/۷۵	۸۴/۳۱	۲۱۷/۳	۵۸۰/۳۶	۱۰۳۶/۶۵	۳۹۴۵/۵۶	۳۷۲۳/۵۴	۱۱۷۱/۵۹	۲۲۷/۵۶	۴۷/۱۴	۶۱/۶۴

مأخذ: سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان غربی، ۱۳۹۳

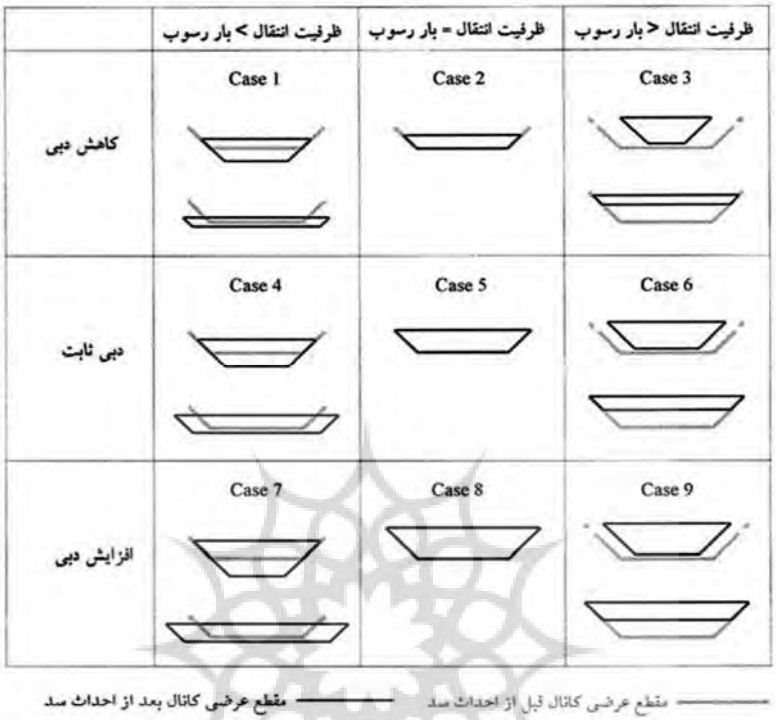
بنابراین کاهش بار رسوب موجب افزایش ظرفیت انتقال توسط آب خروجی از سد می‌شود که حاصل آن افزایش قدرت سایشی رود در بخش‌های نزدیک به دیواره‌ی سد در پایین دست و در نتیجه حفر بستر و تخریب پشته‌های رسوبی خواهد بود.

در پروژه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای، آنچه از دیدگاه ژئومورفولوژی در ارتباط با تغییر بستر اهمیت دارد، کاهش دبی غالب یا جریان مورفوژنیک(دبی لازم برای حمل رسوب) است. پس از آبگیری سد کانی‌سیو و انتقال آب به حوضه‌ی مجاور، معمولاً دبی غالب در پایین‌دست مسیر جریان رودخانه‌ی زاب مشاهده نمی‌شود و اثرات این عدم جریان در کارکرد فرآیندهای ژئومورفولوژیکی و بیولوژیکی و در شکل نیمرخ عرضی رودخانه منعکس می‌شود.

شکل ۸: مکان احداث سد کانی‌سیو بر روی رود زاب در ۱۳ کیلومتری جنوب پیرانشهر

مأخذ: شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۳

پس از احداث سدها با توجه به تغییراتی که در ویژگی‌های مورفولوژیکی و هیدرولوژیکی رودخانه‌ها به وجود می‌آید، ۹ حالت مختلف در بستر رودخانه در پایین‌دست سدها، مخصوصاً در مقطع عرضی آنها، قابل پیش‌بینی است *(Brandt, 2000: 383)*.



شکل ۹: نمونه‌ی شماتیک از تغییرات احتمالی مورفولوژی مقطع عرضی رودخانه، پس از تغییر در دبی آب و نسبت بار رسوب به ظرفیت انتقال رسوب
مأخذ : Brandt, 2000

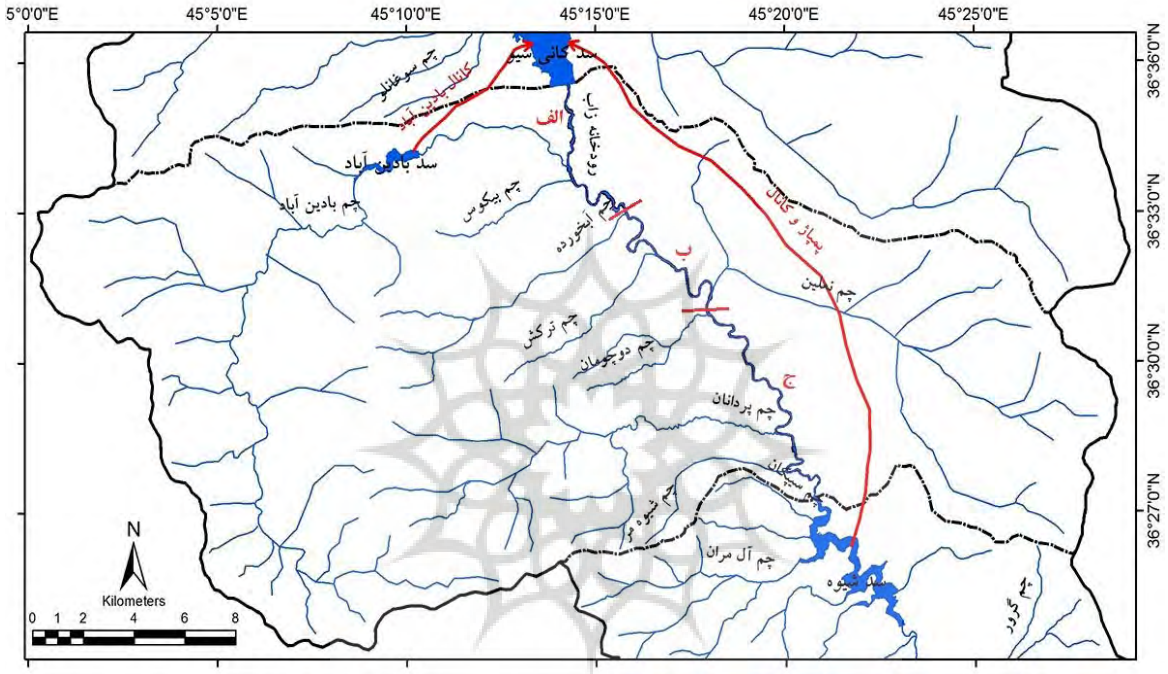
از آنجا که در پروژه‌ی یاد شده بیش از ۵۵ درصد از حجم دبی رود به حوضه‌ی مجاور منتقل می‌گردد، بنابراین در پایین دست سد کانی‌سیو قطعاً کاهش دبی اتفاق خواهد افتاد و به تبع از آن تنها حالت‌های ۱ و ۲ و ۳ قابل پیش‌بینی خواهد بود(جدول ۴) که در دنباله‌ی بحث به آن می‌پردازیم.

جدول ۴: پیش‌بینی تغییرات مورفولوژیکی کانال رودخانه در پایین دست سد

	کاهش دبی، Q		
	حالت ۱ ظرفیت انتقال> بار رسوب (L < K)	حالت ۲ ظرفیت انتقال= بار رسوب (L = K)	حالت ۳ ظرفیت انتقال< بار رسوب (L > K)
مقطع عرضی کانال	کاهش	کاهش	کاهش
پهنا	افزایش/کاهش	کاهش	افزایش/کاهش
عمق	افزایش/کاهش	کاهش	افزایش/کاهش
سطح بستر	برهنگی بستر	عدم تغییر سطح بستر	انباشتگی در بستر
تراس رودخانه‌ای	تشکیل تراس	تشکیل تراس	تشکیل تراس
پشته‌های رسوبی	فرسایش	فرسایش	فرسایش/ رسوب‌گذاری
تالاب‌ها	فرسایش/رسوب‌گذاری	رسوب‌گذاری	رسوب‌گذاری

مأخذ: Brandt, 2000

به منظور بررسی آثار تغییر در میزان دبی آب و دبی رسوب ناشی از انتقال آب از حوضه‌ی زاب به دریاچه‌ی ارومیه بر ژئومورفولوژی کانال رودخانه در پایین‌دست سد کانی‌سیو، مسیر ۳۰/۱۱ کیلومتری پایین‌دست سد بر اساس فاصله از دیواره‌ی سد، شیب و میزان ورودی از شاخه‌های فرعی به سه بازه در امتداد طولی رودخانه تقسیم شده است:



شکل ۱۰: شبکه‌ی هیدروگرافی محدوده‌ی مورد مطالعه

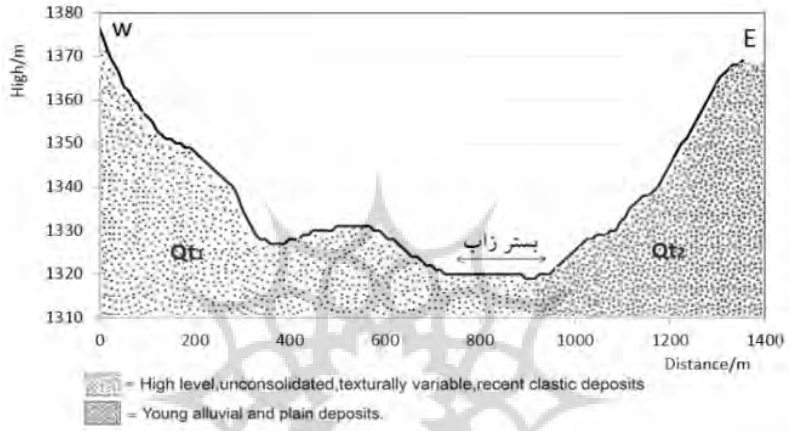
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

بازه‌ی الف :

بازه الف ← بار رسوب < ظرفیت انتقال

این بخش از مسیر رود از پای دیواره‌ی سد کانی سیو تا محل الحاق چم آبخورده به طول ۹/۱۵ کیلومتر را شامل می‌گردد. شیب بستر در این مقطع از رودخانه در حدود ۰/۴۹ درصد می‌باشد. در حال حاضر جریان رود زاب پس از عبور از دره‌ی تنگ و باریکی که محل احداث سد کانی‌سیو خواهد بود به دلیل کاهش شیب شکل گیسویی به خود گرفته است (شکل ۸)، سپس در فاصله‌ی ۳ کیلومتری از دیواره‌ی سد شیب افزایش یافته و جریان رود وارد دره‌ی پرپیچ وخمی خواهد شد. از آنجا که در این مقطع هیچ شاخه‌ی پرآبی به رود زاب ملحق نمی‌گردد و تنها شاخه‌ی پرآب، بادین آباد نام دارد که آن نیز از طریق سد بادین آباد و حفر کانال و پمپاژ به سمت سد کانی‌سیو منحرف می‌گردد (شکل ۱۰)، دبی رود زاب شدیداً کاهش می‌یابد و حتی در ماههای شهریور و مهر تقریباً خشک‌می‌شود (جدول۲). با کاهش‌دبی در

پایین‌دست، جریان رود تنها بخش‌های عمیق‌تر بستر را مورد استفاده قرار می‌دهد که حاصل آن تشکیل تراس‌های جدید و کوچک شدن مقطع عرضی در این بخش از رودخانه خواهد بود. فریدمن و همکاران نیز در سال ۱۹۹۸ با تجزیه و تحلیل‌فضایی واکنش هندسه کانال به ۳۵ سد درگریت پلن و سنترال لاولند، در ایالات متحده آمریکا ثابت نمودند که واکنش اصلی یک جریان گیسویی به سد بالادست، باریک شدن کانال خواهد بود.



شکل ۱۱: نیمرخ عرضی رودخانه‌ی زاب در فاصله‌ی یک کیلومتری از دیواره‌ی سد کانی‌سیو (بازه‌ی الف)

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

از طرف دیگر، این جابجایی جریان به بخش‌های عمیق‌تر باعث می‌شود که پوشش گیاهی واقع در بخش‌های دیگر بستر سیلابی و تراس‌های قدیمی‌تر نتوانند از آب موجود استفاده نمایند بنابراین، یا از بین می‌روند و یا به کناره‌های رود عقب‌نشینی می‌نمایند.

شکل ۱۲: رود زاب در پایین دست سد کانی‌سیو. هم اکنون بستر رود در این مکان بیش از ۸۰ متر پهنا دارد، پس از احداث سد و آبگیری آن، مقطع عرضی کوچک شده و پوشش گیاهی کناری آن به آب دسترسی نخواهد داشت.

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

از آنجا که طبق نظر والمن و ویلیامز [1] به‌نقل از بیاتی خطیبی، در حدود ۹۰ درصد از بار رسوبی رودخانه‌ها در پشت سدهای بزرگ به تله می‌افتد- برای مثال بار رسوب رودخانه‌ی نیل پس از احداث سد اسوان در پایین دست آن از $100 \times 10^6\ tyr^{-1}$ تقریباً به صفر کاهش پیدا نمود (*Petts & Gurnell, 2013: 99*) درحالی‌که مطابق داده‌های جدول (۲)، در ماههای فروردین، اردیبهشت و خرداد کمتر از ۵۰ درصد از حجم جریان رود زاب کاهش می‌یابد لذا بار رسوبی کمتر از ظرفیت جریان خواهد بود، از طرف دیگر چون به لحاظ لیتولوژی رسوبات این‌قسمت از مسیر رودخانه مشتمل بر رسوبات جوان آبرفتی دوره‌ی کواترنری بوده و از نظر بافت ریزدانه و فرسایش‌پذیر هستند (شکل ۲)، حاصل آن فرسایش بستر رود و برهنگی مسیر کانال در نزدیکی دیواره‌ی سد خواهد بود. از جمله پشته‌های رسوبی موجود در بستر رودخانه فرسایش یافته و از بین می‌روند (شکل ۱۳).

شکل ۱۳: پشته‌های رسوبی در بستر رودخانه‌ی زاب در فاصله‌ی ۳/۵ کیلومتری پایین‌دست سد کانی‌سیو
مأخذ: شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۳

بازه‌ی ب :

بازه ب ← بار رسوب = ظرفیت انتقال

این بخش از مسیر رود از محل الحاق چم آبخورده تا محل ورود چم دوچومان به رود زاب به طول ۸/۴۶ کیلومتر را شامل می‌گردد (شکل ۱۰). شیب بستر در این مقطع از رودخانه در حدود ۰/۳۴ درصد می‌باشد. کاهش حجم جریان ناشی از احداث سد کانی سیو، باعث پایین رفتن سطح اساس شاخه‌های فرعی از جمله سرشاخه‌های بیکوس، آبخورده، ترکش و نعلین خواهد شد، این امر جبهه‌ی فرسایشی را در جهت بالادست سرشاخه‌ها جابجا نموده و در نتیجه سطح اساس جدیدی را در اختیار عوامل فرسایشی به ویژه فرسایش آبی و فرسایش توده‌ای قرار می‌دهد. [1] در واقع با این جابجایی جبهه‌ی فرسایشی، سطح وسیع‌تری نسبت به قبل در اختیار عوامل فرسایشی قرار می‌گیرد و به این ترتیب، وسعت سطوح بالقوه تأمین‌کننده‌ی بار رسوبی افزایش می‌یابد. بیاتی خطیبی (۱۳۸۶) نیز در ارزیابی تأثیر سد قرانقوچای بر نواحی پایین دست در دامنه‌ی شرقی کوه سهند بر این موضوع تأکید نموده است. بنابراین در محل اتصال شاخه‌های بیکوس، آبخورده، ترکش و نعلین ریگ و شن متراکم شده و نیمرخ طولی رودخانه‌ی زاب به شکل پله‌ای در خواهد آمد. همچنین با فاصله گرفتن از دیواره‌ی سد و

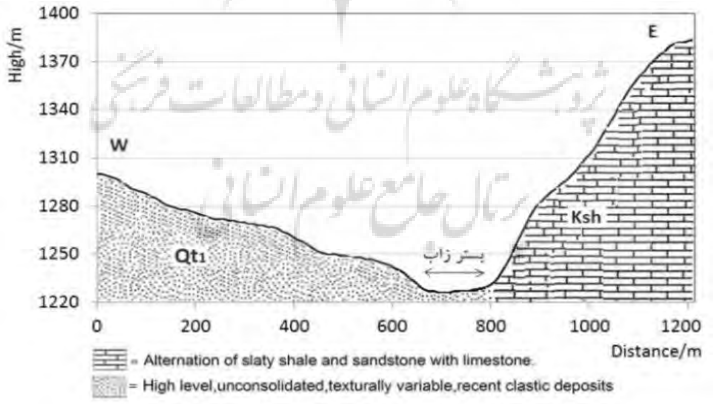
1-Wolman and Williams, 1984

انتقال رسوب حاصل از بازه‌ی الف و سرشاخه‌های فوق، بر بار رسوبی رودخانه افزوده می‌شود. افزایش بار رسوبی منجر به کاهش ظرفیت انتقال رودخانه‌ی زاب و برقراری تعادل میان بار رسوب و ظرفیت انتقال در این بخش از بستر رودخانه خواهد شد (حالت دوم در شکل ۹). در این شرایط رودخانه دیگر قادر به حفر بستر نخواهد بود لذا بستر جریان دچار برهنگی و یا سفت‌شدگی نخواهد شد در حالی‌که قدرت جریان رود متوجه‌ی کناره‌های رود شده و آن را برش خواهد داد. همچنین پشته‌های رسوبی مورد سایش قرار نمی-گیرند اما چالاب‌های موجود درمسیر جریان از طریق نهشته- گذاری پر خواهند شد.

بازه‌ی ج :

بازه ج ← بار رسوب > ظرفیت انتقال

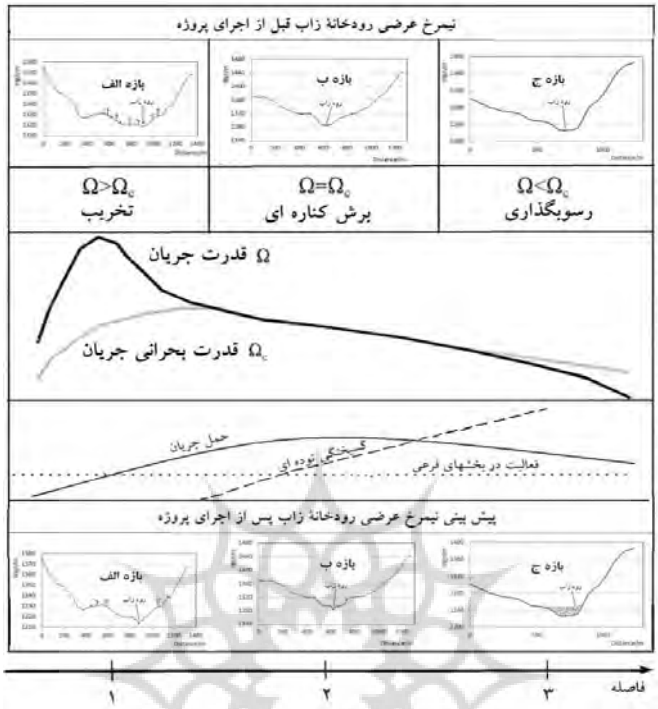
این بخش از مسیر رود از محل الحاق چم دوچومان تا محل ورود چم سیپکان به رود زاب (دریاچه‌ی سد شیوه پس از احداث سد) به طول ۱۲/۵ کیلومتر را شامل می‌گردد(شکل ۱۰). شیب بستر در این مقطع از رودخانه در حدود ۰/۳۱ درصد می‌باشد. با افزایش فاصله از سد کانی‌سیو و افزایش رسوب، بار رسوب بیش از ظرفیت انتقال خواهد شد(حالت سوم در شکل ۹) بنابراین رودخانه دیگر توان انتقال رسوبات را نخواهد داشت و این بار اضافی نهشته شده و مقطع عرضی رود را تغییر خواهد داد. به عبارت دیگر هم عمق بستر در اثر فرآیند رسوبگذاری کاهش خواهد یافت و هم پهنا آن به دلیل تشکیل پشته‌های رسوبی در مسیر جریان و رسوبگذاری در کناره‌ها و در بخش قدیمی بستر، کمتر شده و مسیر جریان تنگ تر خواهد شد. تفاوت در میزان مقاومت لایه‌های زمین‌شناسی در برابر فرسایش بر روی دامنه‌های مشرف به رودخانه باعث تمایل جریان به سمت دامنه‌ی غربی و در نهایت نامتقارن شدن شکل دره خواهد شد(شکل ۱۴).



شکل ۱۴: نیمرخ عرضی رودخانه‌ی زاب در فاصله‌ی ۲۵/۳ کیلومتری از دیواره‌ی سد کانی‌سیو (بازه‌ی ج)

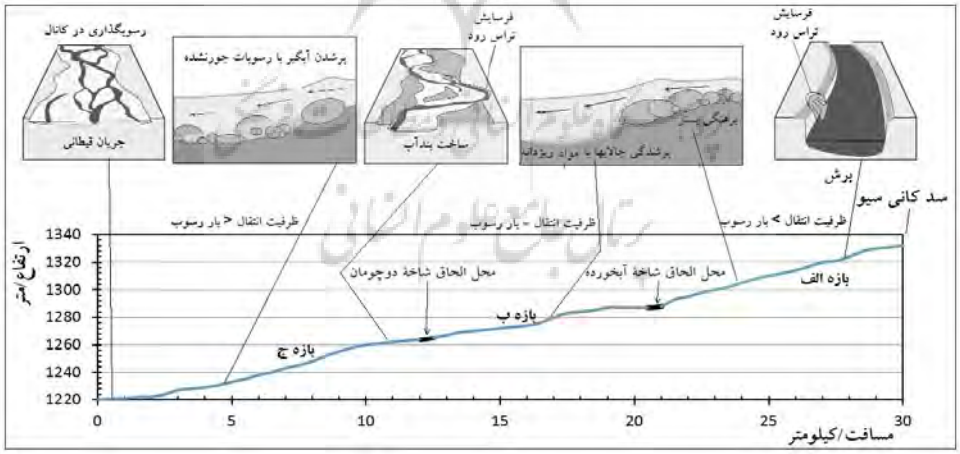
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

یکی دیگر از اثرات احداث سد کانی سیو بر این بخش از رودخانه دانه‌بندی رسوبات نهشته شده بر اساس قطر ذرات است، با توجه به سرعت بیشتر جریان، مواد دانه درشت بر روی بستر در بخش‌های مرکزی مسیر جریان رود و مواد دانه ریز در کناره‌های بستر رسوبگذاری می‌شوند.



شکل ۱۵: نمایشی از تغییرات قدرت جریان و توان بحرانی رود در پایین دست سد کانی‌سیو و اثرات پروسه‌ی حمل بر فرسایش تراس‌های کانال

تهیه و ترسیم: نگارندگان (Lawler, 1992)



شکل ۱۶: نیمرخ طولی رودخانه‌ی زاب در پایین دست سد کانی سیو و پیش‌بینی تغییرات ایجاد شده در مورفولوژی کانال پس از اجرای پروژه‌ی انتقال آب و کاهش دبی جریان

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۴

شکل (۱۶) تغییرات احتمالی ایجاد شده در مسیر رودخانهٔ زاب در پایین‌دست سد کانی‌سیو تا مسافت ۳۰ کیلومتری از دیواره‌ی سد، پس از اجرای پروژه‌ی انتقال آب را نمایش می‌دهد.

نتیجه

با توجه به یافته‌های تحقیق با احداث سدهای کانی‌سیو و سیلوه بر روی رودخانه‌ی زاب و انتقال بیش از هشت صد میلیون متر مکعب آب در سال به دریاچه‌ی ارومیه، حجم دبی رود زاب در پایین‌دست سد کانی سیو در حدود ۵۵ درصد کاهش پیدا خواهد کرد. لذا ظرفیت انتقال و بار رسوب رودخانه در پایین‌دست سد تغییر خواهد نمود و به تبع آن ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی کانال جریان در این بخش از رود دگرگون خواهد شد. ازجمله جریان رود تنها بخش‌های عمیق‌تر بستر را مورد استفاده قرار خواهد داد که حاصل آن تشکیل تراس‌های جدید و کوچک شدن مقطع عرضی، نابودی و یا عقب‌نشینی پوشش گیاهی کناری در این بخش از رودخانه خواهد بود. از طرف دیگر کاهش حجم جریان ناشی از احداث سد کانی‌سیو، باعث پایین رفتن سطح اساس شاخه‌های فرعی از جمله سرشاخه‌های بیکوس، آبخورده، ترکش و نعلین خواهد شد، این امر جبهه‌ی فرسایشی را در جهت بالادست سرشاخه‌ها جابجا نموده لذا سطح وسیع‌تری نسبت به قبل در اختیار عوامل فرسایشی قرار خواهد داد و وسعت سطوح بالقوه تأمین‌کننده‌ی بار رسوبی افزایش خواهد یافت. لذا با توجه به تغییرات اشاره شده در متن مقاله که این پروژه در بستر رود زاب ایجاد خواهد نمود و انطباق نتایج با تحقیقات انجام شده توسط *Graf (1980)*، *Day et al. (1982)*، *Hey R.D (1986)*، *Elizabeth (2000)*، *Guo et al. (2012)*، *Yan & et al (2012)*، بیاتی‌خطیبی (۱۳۸۶) و اعلمی و همکاران (۱۳۸۷) می‌توان پیش‌بینی کرد علیرغم مزایایی که در اهداف این پروژه تعریف شده است، علاوه بر آثار انکارناپذیر زیست-محیطی از جمله کاهش قدرت خودپالایی رود زاب، کاهش آب قابل دسترسی برای ساکنان نواحی پایین دست و به تبع زیان‌های بهداشتی برای جمعیّت ساکن در محدوده‌ی رودخانه، باعث تغییرات عمده‌ای در ویژگی‌های هیدرولوژیکی و مورفولوژیکی بستر رودخانه در نواحی پایین‌دست سد خواهد شد.

تعادل رودخانه‌ی زاب به عنوان یک سیستم در اثر کاهش ورودی به هم خواهد خورد و رودخانه در تلاش برای رسیدن به تعادل جدید تغییرات اساسی در شکل بستر و تراس‌های کناری آن به وجود خواهد آورد که این تغییرات می‌تواند با ایجاد خسارت‌های مالی در قالب یک مخاطره‌ی ژئومورفولوژیکی ظاهر گردد.

در پایان پیشنهاد می‌شود در راستای جلوگیری از بر هم زدن موازنه‌ی محیط زیست، که حاصل برقراری تعادل میان تأثیرات متقابل فرآیند و فرم در مدت زمان طولانی است، علاوه بر رعایت معیارهای سازمان یونسکو برای اجرای طرح‌های انتقال آب (مصوب سال ۱۹۹۹ میلادی در پاریس) و معیارهای انتقال‌آب بین‌حوضه‌ای از دیدگاه توسعه پایدار، باید در نحوه‌ی نگرش و برداشت ما از آب تغییر اساسی به وجود آید و مدیریت جامع آب به عنوان یک مسؤولیت منطقه‌ای و ملّی با قدرت تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی قوی اعمال گردد، با توجه به حساسیت کانال و واکنش آن به شرایط آستانه، تغییرات جهانی آب و هوا باید در نظر گرفته شود و در طراحی و اجرای پروژه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای، دیدگاه‌های ژئومورفولوژی در کانون توجه قرار گیرد. همانگونه که گریگوری (۲۰۰۶) در ارتباط با نقش انسان در تغییر کانال رودخانه یادآور می‌شود به دلیل ماهیّت و میزان تغییرات احتمالی در یک مکان خاص، پیش‌بینی قطعی امکان‌پذیر نیست، و این عدم قطعیت ناشی از تغییرات در فرم رودخانه است و برای کاهش عدم اطمینان،مدل‌سازی موردنیاز است،لذا پیشنهاد می‌شود به منظور کامل‌تر نمودن تحقیق حاضر، محققین گرامی در این راستا اقدام نمایند.

منابع

- اعلمی، محمدتقی؛ مهتاب احمدیان؛ محمد حسین‌زاده. (۱۳۸۷). اثرات احداث سد شهید مدنی (ونیار) بر مورفولوژی رودخانه پایین‌دست. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه تبریز .
- بیاتی‌خطیبی، مریم (۱۳۸۶). اثرات احداث سدها در تحول ژئومورفولوژیکی بستر جریان رودخانه‌ها، فصلنامه فضای جغرافیایی. شماره ۱۷. صفحات ۱۹۷- ۱۲۹.
- خضری، سعید؛ شهرام روستایی؛ عبدالحمید رجایی (۱۳۸۵). پهنه‌بندی و تحلیل سلولی ناپایداری دامنه‌ای در بخش مرکزی حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی زاب، نشریه‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی. شماره ۲۲. صفحه ۱۴۸.
- رضازاده، علیرضا؛ مهدی عباسی (۱۳۹۲). تونل انتقال آب گلاس جهت احیای دریاچه‌ی ارومیه، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره‌ی بین‌المللی تخصصی علوم زمین. تهران.
- سیفی‌زاده،مینا؛علیرضاعمادی؛رامین‌فضل‌اولی(۱۳۹۲). تغییرات مورفولوژی رودخانه پلرود در پایین‌دست سد، قبل و بعد از احداث سد در مقیاس کوتاه‌مدت. فصلنامه مهندسی‌آبیاری‌وآب، شماره دوازدهم. صفحات۷۰-۵۹.
- شرکت مدیریت منابع آب ایران. (۱۳۹۳). سد مخزنی در حال اجرای کانی سیو. سامانه‌ی اطلاع‌رسانی معاونت طرح و توسعه (http://www.tarh-agrw.ir/).
- قاسم‌نژاد، مریم؛ سیاوش شایان؛ مجتبی یمانی (۱۳۹۲). اثرات احداث سد مخزنی گیلان غرب بر مورفولوژی بستر رود گیلان‌غرب (در محدوده‌ی بالادست و مخزن سد)، مجله‌ی پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. سال دوم. شماره ۱. صفحه ۱۱۴.
- قهرودی تالی، منیژه؛ محمدرضا ثروتی؛ رسول حسنی قارنایی (۱۳۹۲). تحلیل ناپایداری‌های حاصل از نهشته‌های یخچالی در حوضه‌ی رود زاب کوچک. فصلنامه‌ی فضای جغرافیایی. شماره ۴۳. صفحه ۶.
- Brandt S. A (2000). Classification of geomorphological effects downstream of dams, journal of Catena, No: 40, PP: 375–401.
- Childs, M (2010). the impacts of dams on river channel geomorphology, The Department of Geography, The University of Hull, United Kingdom.
- Church, M (1995). Geomorphic response to river flow regulation: case studies and time-scales, Regulated Rivers: Research & Management, Vol. 11, PP: 3-22.
- Day, J.C., Bridger, K.C., Peet, S.E. & Friesen, B. F(1982).Northwestern Ontario RiverDimensions. Water Resources Bulletin 18(2): 297-305.
- 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.
- Elizabeth, A. J (2000). The response of the two interrelated river components, geomorphology and riparian vegetation, to inter basin water transfers in the ORANGE-FISH-SUNDAYS River inter basin transfer scheme. Thesis submitted in fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Science, Rhodes University, Grahamstown.
- Friedman. J. M., Osterkamp. W. R., Scotl. M. L. And Auble G. T., (1998). Downstream effects of dams on channel geometry and bottomland vegetation: Regional patterns in the Great Plains. Wetlands, Vol. 18. PP: 619-633.
- Graf, W. L., (1980). The Effect of Dam Closure on Downstream Rapids, Water resources research, VOL. 16, NO. 1, PP. 129-136.
- Graf. W. L., (2006). Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers,journal of Geomorphology,No.79,PP:336-360.
- Gregory, K.J(2006). The human role in changing river channels, Journal of Geomorphology, No: 79, PP: 172–191.
- Guo, H., Hu, Q., Zhang, Q., Feng, S., (2012). Effects of the Three Gorges Dam on Yangtze River flow and river interaction with Poyang Lake, China: 2003–2008, Journal of Hydrology, No: 416–417, PP: 19–27.

- Rezapour Tabari, M. & Yazdi, A., (2014). Conjunctive Use of Surface and Groundwater with Inter-Basin Transfer Approach: Case Study Piranshahr, Journal of Water Resource Management, Vol: 28, Pp.: 1887-1906.
- Rowntree K.M. and Dollar, E. S. J (1996). Contemporary channel processes, In, Lewis, C.A., (Ed.), The geomorphology of the eastern Cape, South Africa, Grocott and Sherry, Grahamstown, 33- 51pp.
- Rowntree, K.M (1991). An assessment of the potential impact of alien invasive vegetation on the geomorphology of river channels in South Africa, South African Journal of Aquatic Science, 17, 1/2, 28-43.
- Yan, D. H., Wang, H., Li, H. H., Wang, G., Qin, T. L., Wang, D. Y. & Wang, L. H (2012). Quantitative analysis on the environmental impact of large-scale water transfer project on water resource area in a changing environment. Journal of Hydrology and Earth System Sciences, Vol. 16, PP: 2685–2702.
- Hey R.D., (1986). River response to inter basin water transfers Craig goch Feasibility study, Journal of Hydrology (Amsterdam), No. 4, PP:407-422.
- L awler, D.M (1992). Process dominance in bank erosion systems, In: Carling, P.A., Petts and G. E.- Eds, Lowland Floodplain Rivers: Geomorphological Perspectives. Wiley, Chichester, PP: 119–141.
- 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.
- 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. and Gurnell, A. M (2013). Hydrogeomorphic Effects of Reservoirs, Dams, and Diversions, Treatise on Geomorphology, Vol. 13, PP. 96–114.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی