پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۸، تابستان ۱۳۸۸
صص ۱۳-۱

تغییرات ژئومورفولوژیکی ناشی از احداث سدهای سهند و ملاجیغ در بستر رودخانه‌های قرنقو و شور و دامنه‌های مشرف به دریاچه‌های سدها (واقع در دامنه‌های شرقی کوهستان سهند)

مریم بیاتی خطیبی* ـ دانشیار دانشکدهٔ علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز
فریبا کرمی ـ استادیار دانشکدهٔ علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز
معصومه رجبی ـ دانشیار دانشکدهٔ علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز
داود مختاری ـ دانشیار دانشکدهٔ علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز
پذیرش مقاله: ۱۳۸۶/۹/۱۰ تأیید نهایی: ۱۳۸۸/۳/۲

چکیده

در نواحی نیمه‌خشک، تأثیرات ژئومورفولوژیکی (ریخت‌شناسانهٔ) سدها بسیار شاخص است. این ساختارهای دست‌ساز انسانی، با وجود مزایایی که در تنظیم جریان رودخانه‌ها و کاستن از بزرگی و فرکانس وقوع سیلاب‌ها دارند، رژیم‌های مصنوعی از جریان آب در پایاب رودخانه‌ها پدید می‌آورند و در مسیر انتقال رسوبات از سراب‌ها، آشفتگی‌هایی ایجاد می‌کنند. تغییرات در عملکرد فرایندهای ژئومورفولوژیکی، با افزایش لغزش‌ها، به عمق رفتن بستر جریان و تغییر در آرایش جریان رودخانه‌ها و به‌طور کلی تغییر در فرایندهای فرسایشی و نهشته‌گذاری در پایاب و سراب سدها جلوه‌گر می‌شود. حوضه قرنقوچای (واقع در دامنه‌های شرقی سهند با مختصات جغرافیایی از '۲۷/ °۴۶ تا '۴۲/ °۴۷ طول شرقی و از '۵۸/ °۳۶ تا '۴۴/ °۳۷ عرض شمالی) که رودخانه‌های شور و قرنقو آن را زهکشی می‌کنند از حوضه‌های نیمه‌خشک با سدهای متعدد است که در دهه‌های اخیر با تغییرات عمده‌ای مواجه شده است. در این مقاله برای بررسی تغییرات ژئومورفولوژیکی رخ‌داده در اطراف سدها، آشفتگی‌های ایجاد شده در دامنه‌ها و همچنین شدت فرسایش، میزان رسوب‌دهی بخش‌های مختلف آن با استفاده از روش دومتغیرهٔ ارزیابی و با بهره‌گیری از امکانات سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، محدوده‌های حساس تعیین و پهنه‌بندی گردیده است. نقشه‌های ترسیمی نشان می‌دهند که بخش‌های بالادست حوضه از نظر شدت فرسایش، در وضعیت نسبتاً بحرانی قرار دارند و فعالیت فرایندهای مختلف فرسایشی و وقوع لغزش‌های نسبتاً بزرگ در کناره دره‌ها و در نزدیکی سدها، رسوبات زیادی را وارد آبراهه‌ها می‌کنند. بررسی‌ها همچنین حاکی از این است که واکنش‌های ژئومورفولوژیکی در اطراف سدها به‌صورت به عمق رفتن بستر جریان، ایجاد پیچان‌ها، افزایش فرسایش خطی، فرسایش کناره‌ای، لغزش‌ها و در قالب افزایش میزان رسوبات منعکس شده است.

کلیدواژه‌ها: تأثیرات ژئومورفولوژیکی، تأثیرات سدها، فرسایش، حوضه قرنقو، کوهستان سهند، پیچان، رودخانه شور، رودخانه قرنقو.

نویسندهٔ مسئول: ۰۹۱۴۴۱۵۹۴۲۱
* E- mail: m_bayati@tabrizu.ac.ir

مقدمه

با توجه به ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی محلی و همچنین شرایط اقلیمی حاکم، احداث سدها تغییرات مورفولوژیکی عمده‌ای را در بستر جریان رودخانه‌ها و در دامنه‌های مشرف به دره‌های مناطق نیمه‌خشک پدید می‌آورد. این تغییرات مورفولوژیکی که حاصل تغییر در عملکرد فرایندهای فرسایشی و نهشته‌گذاری در سامانه‌های حوضه‌های زهکشی است، چهره حوضه‌ها را در محدوده‌های نزدیک به سدهای احداث‌شده، کاملاً دگرگون کرده است (Butler & Malanson, 2005, 49). در سه دههٔ گذشته پژوهشگران کوشیده‌اند با در نظر گرفتن تغییراتی که سدها در حوضه‌های رودخانه‌ای پدید آورده‌اند، تأثیرات این ساختارها را از زوایای مختلف مورد بررسی قرار دهند (Azanon et al., 2005, 152; Fassetta et al., 2005, 42; Graf, 2005, 4). نتایج بررسی‌هایی که در محدوده‌های مختلف صورت گرفته است، نشان می‌دهد که تغییرات ناشی از احداث سدها در بخش‌های مختلف دنیا بسیار درخور اهمیت بوده است، اما مقایسه تغییرات رخ داده در قسمت‌های مختلف حاکی از این است که پیامدهای ناشی از احداث سازه‌های آبی در محدوده‌های نیمه‌خشک، به‌مراتب بیشتر از سایر مناطق است (Kroup, 2005, 169; Kuchakarsalan et al., 2005, 1083; Lorang & Aggett, 2005, 76). پیامدهای چنین ساختارهایی در مناطق خشک، به‌صورت افزایش در شدت سایش در بخشی و افزایش انباشتگی رسوبات در بخشی دیگر از مسیر جریان رودخانه جلوه‌گر شده است (رجایی، ۱۳۷۲، ۱۲۰ ;Radoane & Radoano, 2005, 113; Brandt, 2000, 376). در حوضه‌های زهکشی مناطق نیمه‌خشک، به علت واکنش‌های زمانی کوتاه‌مدت رودخانه‌ها برای انطباق با شرایط جدید، تغییرات در بستر رودخانه‌ها سریع بوده است (Amsler, 2005, 258; Petts, 2005, 4). به همین دلیل با تکیه بر شواهد موجود ناشی از بروز چنین تغییراتی در محدوده‌های نزدیک به سد، تفسیر نحوه تغییرات تا حدودی آسان گردیده است. به‌خاطر استقرار شرایط خشک و نیمه‌خشک در بخش‌های وسیعی از کشور ما و حضور سدهای بزرگ در قسمت‌های مختلف، توجه به نتایج چنین تغییراتی از ابعاد مختلف ضروری به نظر می‌رسد (ترابیان، ۲۰۰۱ و وفائیان، ۲۰۰۵).

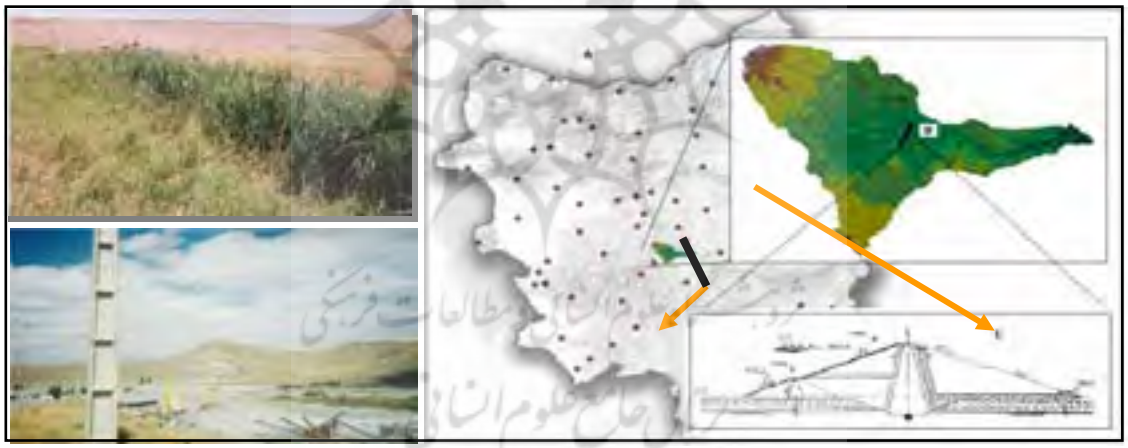
احداث سدهای متعدد در حوضه قرنقوچای (ازجمله سدهای بزرگی مانند سد سهند و سد ملاجیغ) که دارای اقلیمی نیمه‌خشک با بستر لیتولوژیکی مساعد برای بروز تغییرات سریع است، آشفتگی‌های عمده‌ای در بستر و در دامنه‌های مشرف به دره‌های اصلی پدید آورده است که در کوتاه‌مدت و بلندمدت می‌تواند تغییرات مهم دیگری نیز در محیط در پی داشته باشد.

موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های طبیعی محدودهٔ مورد مطالعه

حوضه زهکشی قرنقو به وسعت ۳۵۹۲/۵ کیلومترمربع، یکی از زیرحوضه‌های قزل اوزن است که در موقعیت جغرافیایی از ۴۶° ۲۵′ تا ۴۷° ۵۵′ طول شرقی و از ۳۶° ۵۵′ تا ۳۷° ۰۵′ عرض شمالی و در دامنه‌های شرقی کوهستان سهند (استان آذربایجان شرقی) واقع شده است (شکل ۱). این حوضه به‌وسیلهٔ رودخانه اصلی قرنقو، با جهت جریان شرقی ـ غربی و همچنین چهار رودخانه فرعی، به نام‌های کلقان چای، سر اسکندر (در شمال حوضه)، آلمالوچای، آتش بیگ، چینی بلاغ (در غرب)، شورچای و شورجه چای (در جنوب حوضه) زهکشی می‌شود، به گونه‌ای که هریک از این

رودخانه‌های فرعی در قسمت قرنقوچای میانی به هم متصل می‌شوند و رود اصلی قرنقو را تشکیل می‌دهند.

اقلیم حوضه تحت تأثیر موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های توپوگرافی محلی است. چرخندهای غربی، منبع عمدهٔ تزریق رطوبت به منطقه محسوب می‌شوند و با توجه به زمان ورود آنها ۸۵/۷ درصد بارندگی‌های منطقه، طی ماه‌های آبان تا اواخر اردیبهشت و بخش اعظم آن در ماه‌های فروردین و اردیبهشت و ۳/۴ درصد آن نیز در فصل تابستان به‌وقوع می‌پیوندد. متوسط بارندگی سالانهٔ کل حوضه ۴۰۳/۷ میلی‌متر است، که به‌طور متوسط ۳۳۲/۶ میلی‌متر آن تبخیر می‌گردد. با در نظر گرفتن میزان تبخیر و بارش، حجم آب خروجی از حوضه معادل ۲۵۰/۴ میلیون مترمکعب برآورد شده است. متوسط حداکثر، حداقل و میانگین دما در کل محدوده حوضه، به ترتیب ۱۴/۷، ۸/۳ و ۱/۸ درجه سانتیگراد است. در حدود ۹۸/۴۹ درصد از کل حوضه به‌وسیلهٔ رخسارهٔ دوران سومی پوشیده شده است. رخساره‌های متعلق به این دوره، شامل گدازه، توف و ایگنمبریت‌های ائوسن، رسوبات تخریبی الیگوسن، نهشته‌های الیگومیوسن و بالاخره رخساره‌های سنگی پلیوسن، مشتمل بر مجموعه سنگ‌های رسوبی و آتشفشانی سهند هستند. نهشته‌های قاعده پلیوسن در منطقه، شامل سنگ‌های آذرآواری ماسه‌ای و سیلتی، رس‌های ماسه‌ای به رنگ قرمز کم‌رنگ با درون‌لایه‌هایی از کنگلومرا و رس‌های سیلتی و لایه‌هایی از کنگلومرا است. این واحدها در هر نقطه از سطح زمین که ظاهر شده‌اند، بیشترین میزان مواد را در دره‌ها و آب‌های جاری رها ساخته‌اند.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه قرنقوچای و سد سهند (سمت راست) و سد ملاجیغ (سمت چپ)

به دلیل وجود جریان رودخانه‌های پرآب و همچنین نیاز منطقه به آبیاری و مهار آب‌های سطحی، سدهای متعددی در سرتاسر حوضه احداث شده است. دو سد بزرگ این حوضه سد ملاجیغ و سهند است که در بخش میانی و جنوب غربی حوضه احداث گردیده‌اند. سد سهند ـ که از نوع خاکی به‌شمار می‌آید ـ بر روی رودخانه قرنقوچای در بخش میانی حوضه‌ای به همین نام احداث شده است. سد مذکور با ارتفاع ۵۹ و ۴۵ متر از پی و بستر رودخانه در زمان آبگیری کامل، دریاچه‌ای به طول ۱۰ کیلومتر و با سطح ۱۰ کیلومترمربع را در پشت خود جای می‌دهد. از سدهای خاکی مهم دیگر، سد ملاجیغ در نزدیکی روستای ملاجیغ و لک‌لر است که بر روی یکی از شاخه‌های فرعی رودخانه شورچای احداث گردیده است. با توجه به گستردگی کشتزارها در اطراف روستاهای مذکور، حضور این سد در محدودهٔ یاد شده به‌منظور آبیاری چنین کشتزارهای گسترده‌ای اهمیت ویژه‌ای می‌یابد.

مواد و روش‌ها

در نوشتار حاضر برای بررسی تأثیرات ژئومورفولوژیکی سدها، ابتدا با پیمایش‌های میدانی و بررسی عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای، بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی، لیتولوژی و میزان بارش، شناختی از ویژگی‌های طبیعی و ویژگی‌های فرسایشی منطقه، به‌ویژه نحوه فعالیت انواع فرایندهای فرسایشی در بستر جریان رودخانه و شیب‌های مشرف به دره به دست آمده است و همچنین محدوده‌های دارای شدت رسوب‌دهی زیاد و فرسایش بالا تعیین گردیده و با شناسایی موقعیت‌شان، بر روی نقشه پیاده شده‌اند. سپس آمار رسوب و دبی و همچنین بارش ایستگاه‌های موجود در منطقه ـ به‌ویژه ایستگاه قرنقو ـ جمع‌آوری شده و تجزیه و تحلیل‌های لازم دیگر، از جمله تحلیل‌های کمّی صورت پذیرفته و روابط بین رسوب و دبی در ماه‌های مختلف سال مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی نحوهٔ سایش و میزان رسوبات حاصل از فعالیت فرایندهای فرسایشی در بالادست و پایین‌دست سدهای ملاجیغ و سهند، سعی شده است که کل حوضه بر مبنای موارد مذکور پهنه‌بندی و نقشه‌های مربوط به آن ترسیم شود. برای پهنه‌بندی شدت فرسایش و رسوب‌دهی حوضه، ابتدا حساسیت سازندهای منطقه به عوامل مختلف سایشی سنجیده شد و با استناد به مشاهدات میدانی و با تکیه بر نتایج حاصل از محاسبات رسوب (با استفاده از روش P.S.A.I.C برای برآورد رسوب) و همچنین آمار موجود در ایستگاه خروجی حوضه (ایستگاه قرنقو)، طبقات سایشی و رسوب‌دهی حوضه در بخش‌های مختلف به‌دست آمد. سپس با استفاده از نرم‌افزار ArcView و با روش وزن‌دهی مقادیر کمّی‌شده و نقشه‌های شدت فرسایش و لغزش تهیه گردیده‌اند.

برای بررسی و برآورد میزان سینوزیتهٔ رودخانه‌ها با استفاده از رابطه ۱ مقادیر سینوزیته محاسبه شده است.

$$S=C/V \quad \text{(رابطه ۱)}$$

S = میزان سینوزیته ، C = طول جریان ، V = طول دره

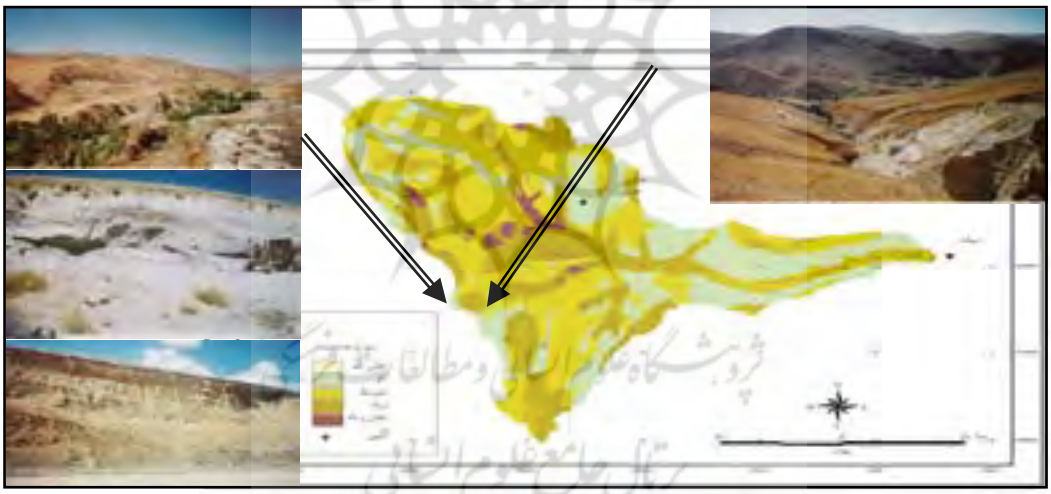
در نهایت، نتیجه‌گیری‌ها براساس مشاهدات میدانی و با استناد به تجزیه و تحلیل‌ها صورت گرفته است.

یافته‌های تحقیق

در محدوده‌های نیمه‌خشک، ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی محل احداث سدها و تأثیرات ژئومورفولوژیکی این سازه‌های آبی در محل احداث، باید از ابعاد مختلف مورد بررسی قرار گیرد. در محدوده‌های نیمه‌خشک به دلیل حساسیت شدید سامانه‌های زهکشی در برابر بروز تغییرات، تعادل در هر مقطع زمانی بسیار شکننده است و با بروز کمترین تغییر، کلیه اجزای سامانه به آن پاسخ می‌دهد. بنابراین، در سامانه‌های زهکشی وقوع هر تغییر، تغییرات دیگری را به دنبال دارد. در حوضه مورد مطالعه ـ که به خاطر فرسایش‌پذیر بودن، فعال بودن تکتونیک، حضور گنبدهای نمکی و موارد دیگر، از حساس‌ترین حوضه‌های سهند به‌شمار می‌آید ـ حضور سدهای متعدد، تغییرات عمده‌ای را در بستر جریان رودخانه‌ها و در دامنه‌های مشرف به دره‌ها پدید آورده است. در این مقاله سعی خواهد شد ابتدا شرایط ژئومورفولوژیکی حاکم و سپس تغییرات ناشی از حضور سد ملاجیغ و سهند تشریح شود.

پیامدهای احداث سدهای سهند و ملاجیغ در تغییر بار رسوبی رودخانه‌ها

حوضه قرنقوچای به دلیل جنس واحدهای لیتولوژیکی و سازندهای سطحی‌اش و نیز تغییرات کاربری و بی‌حفاظ بودن دامنه‌ها از پوشش گیاهی در بیشتر قسمت‌ها، از رسوب‌زاترین حوضه‌های سهند به‌شمار می‌آید، که این امر بر حساسیت دامنه‌ها در برابر دستکاری‌های مختلف می‌افزاید. بخش اعظم این رسوبات از وقوع لغزش‌ها و فرسایش آبراهه‌ای شدید ناشی می‌شود. با توجه به اینکه این رسوبات درنهایت در پشت سدهای احداث‌شده جمع خواهند شد، شناسایی عوامل ایجادکنندهٔ آنها نیز دارای اهمیت است. توجه به محل احداث سدها در محدوده حوضه قرنقوچای، مشخص می‌سازد که غالب سدها دقیقاً در محلی ساخته شده‌اند که در بالادست آنها لغزش‌ها و فعالیت‌های فرسایش آبراهه‌ای و خندقی در شدیدترین حالت ممکن در حال وقوع است، به همین دلیل میزان رسوب‌دهی حوضه در بالادست آنها زیاد است (شکل ۲ و ۳). بخش اعظم حوضه، به‌ویژه در محدودهٔ شاخاب‌هایی که آب آنها به سدها منتهی می‌شود، در محدوده‌ای با فرسایش آبراهه‌ای شدید قرار گرفته است. اصولاً بخش میانی و جنوب حوضه ـ که بیشتر سدها در آن قسمت واقع شده‌اند ـ از مارن، توف و مواد آذرآواری که در برابر فرسایش توده‌ای و خطی بسیار حساس هستند، تشکیل یافته است. بدین ترتیب، با کوچک‌ترین تغییر در سطح، عملکرد فرایندهای فرسایشی تغییر می‌یابد و میزان برش عمودی و یا فرسایش خطی و همچنین حرکات توده‌ای نیز ممکن است تشدید شود.



شکل ۲. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و محل وقوع لغزش‌های بزرگ و ورود مواد فراوان به آب‌های جاری

برای بررسی فرسایش‌پذیری خاک‌های اطراف سدهای ملاجیغ و سهند و همچنین بررسی میزان حساسیت آنها در برابر وقوع تغییرات، از بخش‌های مختلف این سدها نمونه‌هایی انتخاب شده و بافت خاک این بخش‌ها مشخص گردیده است (شکل‌های ۴ تا ۶). این بررسی‌ها حاکی از آن است که به‌طور کلی بخش‌هایی که نمونهٔ خاک آنها برداشت شده است، دارای خاکی با بافت رسی ـ لومی هستند که در برابر فرسایش خطی و همچنین حرکات توده‌ای (تورم ناشی از جذب رطوبت) بسیار حساس‌اند و چنانچه از سطوح این خاک‌ها حفاظت نشود، می‌توانند مواد زیادی را در اختیار آب‌های جاری قرار دهند. حال اگر در این محدوده‌ها سدی احداث شود ـ که احداث نیز شده است ـ با کمترین تغییر در سطح آب‌های جاری و یا سطح آب پشت سدها، لغزش اتفاق می‌افتد و خندق‌های عمیقی نیز تشکیل می‌شود. درواقع با توجه به وضعیت سازندهای سطحی در اثر تغییرات ناشی از سدهای احداث شده، وضعیت فرسایش در اطراف سدهای حوضه به تدریج بحرانی‌تر شده است.

یکی از فرایندهای طبیعی که پس از احداث سدها اتفاق می‌افتد، نفوذ آب دریاچه به داخل لایه‌های زمین‌های اطراف سد است. در محدوده مورد بررسی، اغلب دامنه‌های مشرف به دریاچه سدها که بعد از آبگیری کامل در تماس با آن قرار گرفته‌اند، متشکل از لایه‌های مارن، آهک و کنگلومرا هستند که با توجه به شیب تندی که دامنه‌های مشرف به دریاچه‌ها دارند، در اثر نفوذ و تماس با آب دریاچه، اصطکاک بین‌لایه‌ای کاهش یافته و پایداری شیب‌ها به هم خورده است و در اثر رانش زمین، مواد حاصل از آن مستقیماً به داخل دریاچه رها گردیده‌اند. از بین رفتن پوشش گیاهی دامنه‌ها ـ که در حین عملیات سدسازی صورت گرفته است ـ آمادگی دامنه‌ها را برای وقوع اطراف دریاچه سد سهند به چشم می‌خورد. با این یادآوری که شواهدی از وقوع لغزش‌های قدیمی بزرگ نیز در بالادست زیرحوضه قرنقو (بالادست سد سهند) مشاهده می‌شود که حضور و وقوع آنها نشان‌دهندهٔ استعداد دامنه‌ها برای وقوع لغزش‌ها و همچنین حاکی از پتانسیل بالای رسوب‌زایی حوضه در بالادست سد سهند است.

شکل ۳. پهنه‌بندی فرسایش و تشکیل آبراهه‌های نسبتاً عمیق در دامنه‌های مقابل و ورود مستقیم مواد حاصل از فرسایش به دریاچه پشت سد سهند (تصویر بالا) و تشکیل آبراهه‌های عمیق در نزدیکی سد ملاجیغ (تصویر پایین)

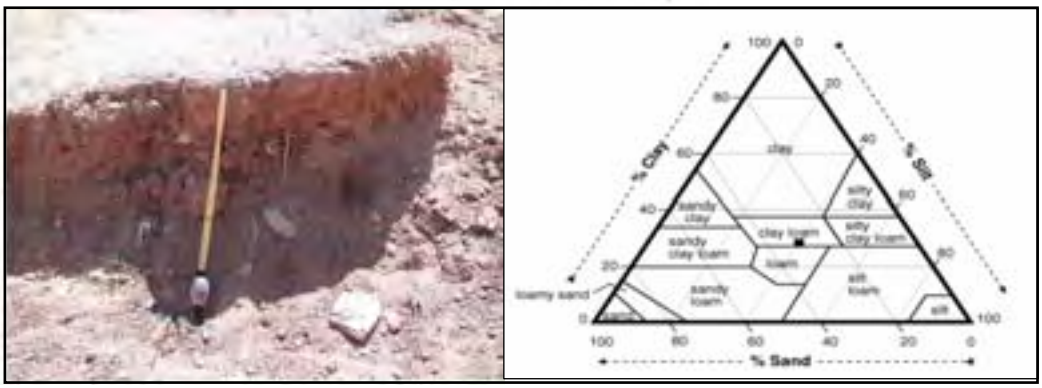
یکی از تأثیرات و پیامدهای منفی احداث سدهای حوضه از جمله سد سهند و ملاجیغ تماس دریاچه سد (و دریاچه احتمالی) با دامنه‌های مستعد به لغزش است. وقوع حرکات توده‌ای در این محدوده‌ها علاوه بر ایجاد آشفتگی در سطوح دامنه‌های منتهی به دریاچه، موجب افزایش مواد رسوب‌یافته در دریاچهٔ پشت سد شده است. معمولاً در انتخاب محل سدها، به فرسایش آبراهه‌ای بیشتر توجه می‌شود و بر همین مبنا، عمر مفید سدها و میزان رسوبات پشت آنها محاسبه می‌شود. اما وقوع حرکات توده‌ای می‌تواند عمر مفید سد را از مقدار محاسبه‌شده کمتر کند. افزون بر این، شکل حوضه قرنقو به گونه‌ای است که بخش نیم‌دایره‌ای حوضه در بخش بالادست سد سهند قرار گرفته است، به همین دلیل هنگام وقوع سیل، تمامی شاخاب‌ها به‌طور همزمان آب را به بخش میانی حوضه که عمدتاً متشکل از سازندهای مستعد به فرسایش است، منتقل می‌کنند و در این بخش آب‌هایی با قدرت بسیار زیاد، موجب فرسایش کناره‌ای و همچنین کاوش بستر می‌گردند و فقط با یک سیلاب رسوبات زیادی را به پشت سد منتقل می‌کنند. با توجه به افزایش فرسایش‌پذیری حوضه، بررسی رسوب‌دهی حوضه می‌تواند اطلاعات ژئومورفولوژیکی زیادی را به دست دهد. با این منطق، میزان دبی رسوبی حوضه نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

طبق داده‌های به‌دست آمده و تجزیه و تحلیل‌های آماری صورت گرفته (شکل ۷)، فقط در ماه‌های بهمن و آذر که شیب‌ها (شیب‌های منتهی به دره‌ها) از فعالیت‌های انسانی رها شده‌اند و این سطوح در زیر برف‌های ضخیم قرار گرفته‌اند،

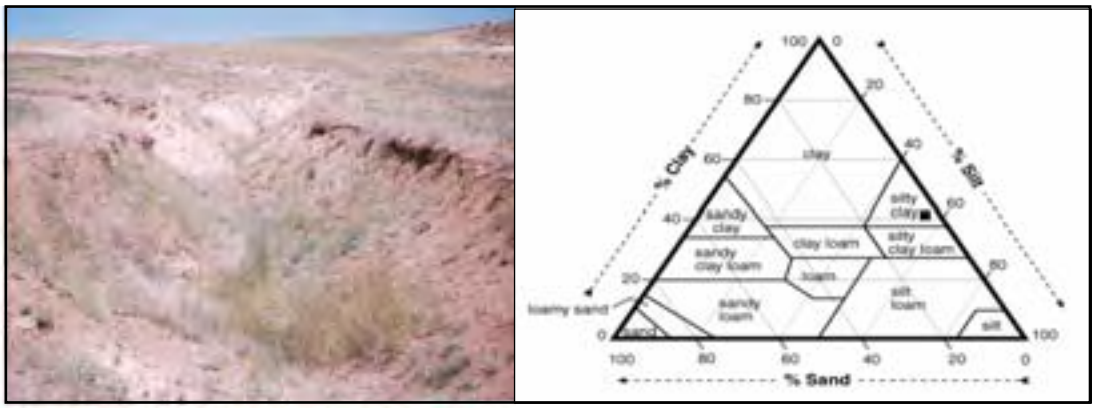
دبی با رسوب کاملاً منطبق است. بقیه ماه‌ها برحسب تغییرات فصلی و نوع و زمان ریزش و نحوه فعالیت‌های انسانی، تغییراتی را نشان می‌دهند. ماه آبان که زمین‌های تحت کشت قبلی رها شده‌اند و شیب‌ها مستعد به رها کردن مواد هستند و همچنین ماه‌هایی مانند تیر و خرداد و شهریور، که دامنه‌ها تحت فعالیت‌های شدید مرتع‌داری و کشت دیم و آبی قرار دارند، بیشترین مواد را در آب‌ها رها می‌سازند. بنابراین، بین تغییرات دبی و رسوب، انطباق کامل وجود دارد. در ماه اردیبهشت به دلیل رها شدن آب از تکه‌های برفی منطقه، شیب‌ها و تشدید فعالیت‌های ناشی از سایش برف (فرسایش برفساب) و آغاز فعالیت‌های انسانی درواقع فرایند فرسایش در سطوح دامنه‌ها فعال بوده است و به دلیل شروع بارندگی‌های مدیترانه‌ای و تحریک دامنه‌ها به وقوع لغزش‌ها، بیشترین مقدار رسوب به آبراهه اصلی وارد می‌گردد.

وقوع حرکات توده‌ای اغلب در روی شیب‌های تند که در ارتفاع بیش از ۲۰۰۰ متر واقع شده‌اند، صورت می‌گیرد. در چنین دامنه‌هایی، ماندگاری طولانی برف و وجود بستر مساعد ـ که عمدتاً از مواد آذرآواری و توف‌ها تشکیل شده است ـ باعث می‌شود که مواد دامنه‌ای در فصول بهار و پاییز به خاطر اشباع شدن در اثر بارندگی‌ها و یا آب حاصل از ذوب برف به پایین بلغزند و بار بسترِ رودخانه‌ها را افزایش دهند. علاوه بر اینکه در مقدار رسوب مرتبط با دبی در ماه‌های مختلف، تغییراتی مشاهده می‌شود، در فصول مختلف نیز مقدار رسوب مرتبط با دبی متفاوت است. این تفاوت، محاسبهٔ مقدار رسوب را دشوار می‌سازد. کل مقدار رسوب خروجی از حوضه در سال، طبق اطلاعات به دست آمده از ایستگاه انتهایی حوضه، برابر ۳۱۰۴۳۰۴ تن است که رسوب ویژهٔ آن با توجه به مساحت حوضه، معاد با ۸/۸ تن در هکتار است که نشان از بالا بودن رسوب در حوضه دارد.

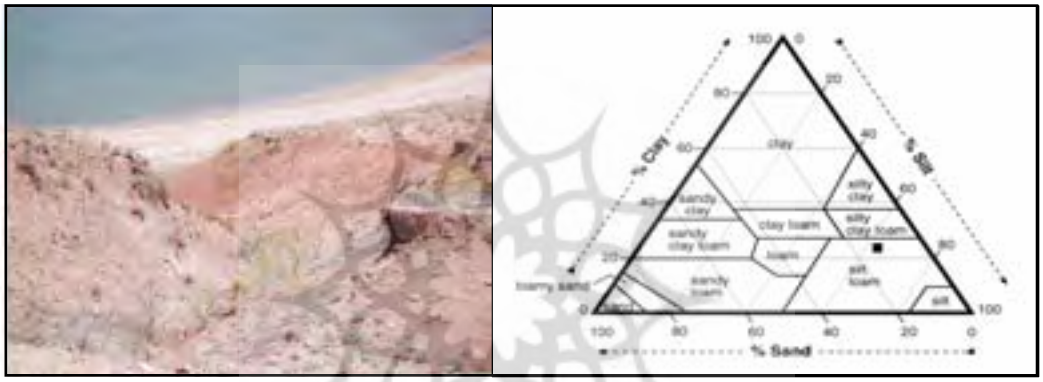
گذشته از موارد فوق که به تغییرات بار رسوبی در بالادست و اطراف سد و نیز در محل برداشت مواد اشاره دارد، تغییراتی نیز در بار رسوبی رودخانه‌ها در پایین‌دست سدها رخ می‌دهد. به‌رغم تمامی موانعی که سدها در برابر عبور و انتقال رسوبات به پایین‌دست ایجاد می‌کنند، آب‌های عبور کرده از سدها کاملاً عاری از بار رسوبی نیستند؛ اما به‌طور کلی بار رسوبی خروجی از سدها به شدت پایین است و در مقابل ظرفیت حمل آب‌های خروجی از سدها افزایش می‌یابد. آب‌هایی که بعد از عبور از سدها، در مسیر باریک‌تری جاری می‌گردند، دارای قدرت سایشی بالایی هستند و به همین دلیل در چند متری از سدها، در اثر کاوش مسیر و برای برقراری توازنِ دوباره، بار رسوبی‌شان را افزایش می‌دهند.



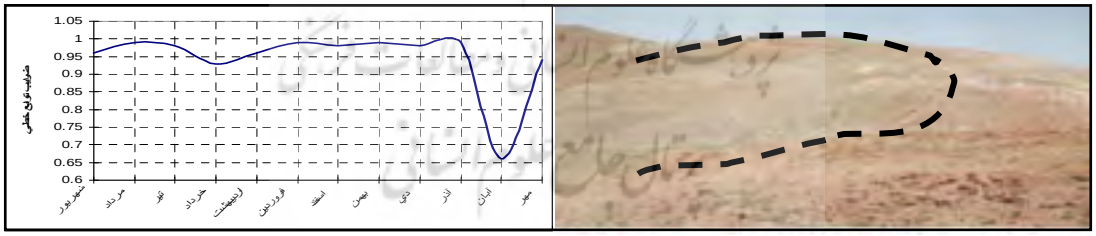
شکل ۴. بافت خاک نمونه‌برداری شده در نزدیکی سد ملاجیغ و محل برداشت نمونهٔ یک (بالادست سد ملاجیغ)



شکل ۵. بافت خاک در محل نمونه‌برداری شده و محل برداشت نمونهٔ دو (آبراهه‌های منتهی به بالادست سد ملاجیغ)



شکل ۶. بافت خاک در محل نمونه‌برداری شده و محل برداشت نمونه سه (اطراف سد سهند)

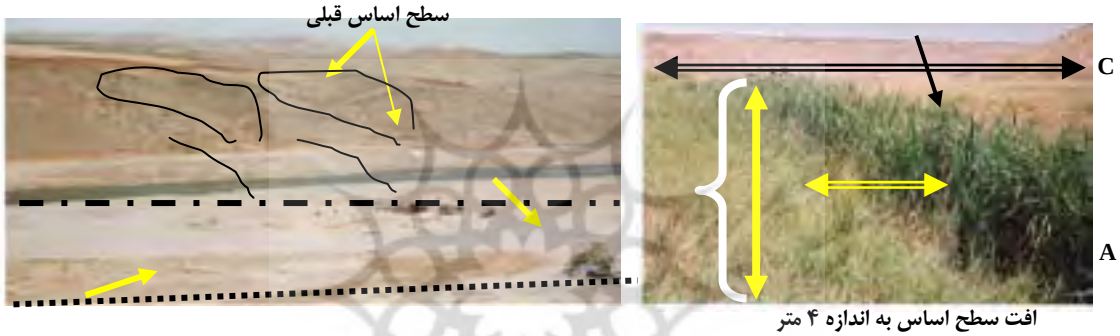


شکل ۷. لغزش قدیمی در دامنه‌های مشرف به دریاچه پشت سد سهند (تصویر سمت راست).
ضرایب رگرسیونی رابطه بین داده‌های دبی و رسوب (داده‌های ایستگاه قرنقو)

تأثیرات مورفولوژیکی احداث سدهای ملاجیغ و سهند در بستر رودخانه‌های شور و قرنقو

احداث سدها با تغییر در دبی و ظرفیت حمل بار رسوبی و درنهایت با تغییر در مورفولوژی مسیر عبور رودخانه‌ها همراه هستند. با توجه به شواهد میدانی، تمامی این تغییرات در بخش بالادست و پایین‌دست سدهای ملاجیغ و سهند مشاهده می‌شود. بعد از احداث سدهای حوضه، دبی رودخانه‌های شور و قرنقو در پایین‌دست کاهش یافته و به‌دلیل وجود تشکیلات مارنی، خاکسترهای آتشفشانی و شیل در محدوده بالادست سدها، افزایش در بار رسوبی آب‌های جاری در

بالادست بعد از احداث سدها نیز تداوم یافته است. بنابراین، انباشتگی مواد در بستر، تشکیل تراس‌ها، فرسایش در بخشی و نهشته‌گذاری در بخش دیگر، بعد از احداث سد، در حال وقوع است. با فاصله گرفتن از سدها، میزان و نحوه تغییرات در مسیر جریان رودخانه تفاوت‌هایی می‌یابد. اما به هر حال میزان تغییرات در نزدیکی سدها، به‌مراتب بیشتر از بخش‌های دیگر است. در شاخاب‌های نزدیک سد، که نیروی رودخانه، از نیروی بحرانی برای کشیدن مواد در بستر بیشتر است، معمولاً فرسایش عمودی غلبه دارد (شکل‌های ۸ و ۹). غالباً در این محدوده‌ها شاخاب‌های منتهی به سدها ـ به‌ویژه سد سهند و ملاجیغ ـ بسترشان را به عمق برده‌اند. در شاخاب‌های پایین، ممکن است جریان تحت تأثیر سطح اساس قرار گیرد و موقعیت و یا جبهه نهشته‌گذاری و یا رسوب‌زایی را نیز سطح اساسی تعیین می‌کند. در بخش پایاب هر دو سد ملاجیغ و سهند با به عمق رفتن بستر جریان و پایین رفتن سطح اساس محلی، شاخاب‌ها در حال سایش دامنه‌ها هستند (شکل ۸).

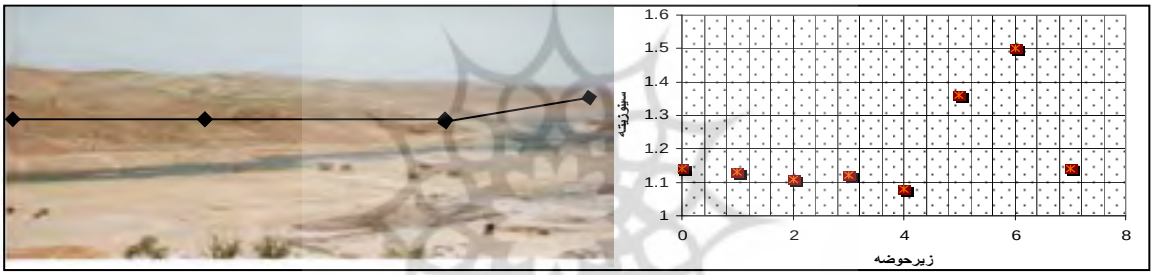


شکل ۸. تغییرات در پهنای بستر بعد از احداث سد ملاجیغ (تصویر سمت راست) و پایین رفتن سطح اساس در پایین‌دست سد سهند و شروع کاوش شاخاب‌ها در بخش اتصال به رودخانه اصلی (تصویر سمت چپ): A) سطح اساس فعلی، B) سطح اساس قبل از احداث سد، C) شاخاب‌های منتهی به رودخانه اصلی و بخش تحت کاوش

فرسایش کناری یکی از پیامدهای مهم سدسازی در مناطق نیمه‌خشک و ازجمله در حوضهٔ مورد مطالعه به‌شمار می‌آید. در بخش‌های بالاییِ مسیر رودخانه‌های منطقه، فرایندهایی مانند یخزدگی ـ ذوب و در نتیجه سایش برفسابی غالب است. در این محدوده‌ها، حجم مواد انباشته شده در پای دامنه‌های پرشیب برای حمل به قسمت‌های پایین‌دست بسیار زیاد است. در مسیرهای پایین‌دست و در پایین‌دست سدها، فرایندهای کششی مواد در طول مسیر غلبه دارد. در این قسمت‌ها به‌سبب نیروی بالای رودخانه، فرسایش بیشتر است. در بخش‌های میانی رودخانه‌های منطقه، اغلب فرسایش و گسیختگی کناره‌ها و در نتیجه فرسایش توده‌ای رخ می‌دهد که این امر، حجم مواد بالقوه مستعد برای ورود به آب‌های جاری را افزایش می‌دهد. در بخش پایین‌دست، فعالیت پیچان‌ها، که فرسایش از یک کناره را تقویت می‌کند، پهنای مسیر را نیز افزایش می‌دهد. در قسمت‌های بالادست سدها و در ارتفاعات حوضه که شاخاب‌ها سرچشمه می‌گیرند، تحت تأثیر آب‌وهوای خشن، مواد حمل و نهشته می‌شوند. فرسایش توده‌ای و ورود واریزه‌های زیاد، حجم مواد رسوبی در قسمت‌های میانی حوضه را افزایش می‌دهند. در مسیر رودخانهٔ قرنقوچای و در قسمت‌های بالادست سد و در ارتفاعات حوضه که شاخاب‌ها سرچشمه می‌گیرند، تحت تأثیر آب‌وهوای خشن، مواد زیادی در اختیار رودخانه قرار می‌گیرد که به پایین‌دست حمل و نهشته می‌شوند.

تأثیرات سدهای ملاجیغ و سهند بر الگوی جریان رودخانه‌های شور و قرنقو

یکی از پیامدهای مهم سدسازی، تأثیر بر آرایش جریان رودخانه‌های منتهی به دریاچهٔ سد است. معمولاً با بالارفتن سطح اساس و برخورد جریان‌ها با مانعی همچون دریاچه، فشار به‌وجود می‌آید و ایجاد پیچان‌ها در مسیر جریان آب‌ها ـ به‌ویـژه جریان اصلی ـ منتهی به دریاچه می‌شود. بررسی‌های میدانی در سدهای بزرگ و کوچک منطقه، حاکی از این اسـت کـه رودخانه‌های منتهی به سدها و بندها انحرافات زیادی را در مسیر اولیه پشت‌سر گذاشـته‌انـد. میـزان انحرافـات در مـسیر رودخانه‌ها به شرایط محلی نیز بستگی دارد. اگر توپوگرافی محلی امکان جابه‌جایی را به رودخانه بدهد، پیچان‌ها به‌سرعت تشکیل خواهند شد. این تغییر آرایش در الگوی جریان رودخانه‌ها محدود به بالادست سدها نیست، بلکـه در بخـش‌هـای پایین‌دست نیز سدها می‌توانند آرایش جریان رودخانه‌ها را تغییر دهند (شکل ۹ و ۱۰)



شکل ۹. میزان سینوزیته زیرحوضه‌های مختلف حوضه قرنقوچای (شکل سمت راست) و تغییر آرایش جریان طولی رودخانه قرنقو در پایاب سد سهند

با توجه به فعال بودن تکتونیک در منطقه، رودخانه‌های حوضه قرنقو برای ایجاد پیچان بسیار مستعدند. بررسـی‌هـا نشان می‌دهد که میزان سینوزیتهٔ رودخانه‌های جـاری در حوضـه بـزرگ قرنقـو بـه‌ویـژه در بخـش میـانی و جنـوبی آن (زیرحوضه‌های ۵ و ۶ در شکل ۹) بسیار بالاست. این میزان در رودخانه شور بالاتر از بقیه رودخانه‌هـا در زیرحوضـه‌هـای دیگر است (زیرحوضه ۶ در شکل ۹).

در محدوده مورد بررسی، میزان جابه‌جایی رود منتهی به دریاچه پـشت سـد سـهند (رود قرنقـو) از نظـر توپـوگرافی محلی چندان در خور توجه نیست. اما این جابه‌جایی‌ها در پشت دریاچه سد ملاجیـغ و در شـورچای و همچنـین در سـایر بندهای مستقر بر روی شورچای و قره‌آغاج‌چای نسبتاً زیاد است. بررسی نقشه‌های مربوط به توپوگرافی محلی و همچنین بازدیدهای میدانی از محل سد سهند نشان می‌دهد که رودخانه قرنقو پیش از گذر از محـل فعلـی سـد، آرایـش متفـاوتی داشته است. درواقع این رودخانه پیشتر در بستر سیلابی گسترده‌ای در انواع مختلـف آرایـش جـاری بـود، امـا در شـرایط کنونی این محدوده در زیر دریاچه قرار گرفته است. اکنون رودخانه قرنقو در یک جریان واحد و با ایجاد پیچان به دریاچـه وارد می‌شود.

شکل ۱۰. ایجاد پیچان در مسیر شورچای در بخش اتصال به دریاچه پشت سد ملاجیغ (تصویر ماهواره‌ای و زمینی از پیچان)

یکی از رودخانه‌های طویل و بزرگ حوضه که بسیار مستعد بـه ایجـاد پیچـان اسـت، شـورچای نـام دارد. بنـدها و سدهای زیادی که در مسیر این رودخانه ایجاد شده، بر تعداد پیچان‌ها و بر میزان جابه‌جایی‌ها افزوده است. شواهد برجای مانده از این جابه‌جایی‌ها دلیل قاطعی بر تأثیرگذاری سدها در ایجاد پیچان‌ها و جابه‌جـایی مـسیر جریـان رودخانـه‌هـا در حوضه مورد مطالعه است. سد ملاجیغ به عنوان سد بزرگ بسته شده در مسیر شورچای، در ایجاد پیچان‌های مذکور تأثیر زیادی گذاشته است (شکل ۱۰). با توجه به اینکه مسیر جریان این رودخانه بسیار فرسایش‌پذیر است و قدرت پیچان‌ها در افزایش میزان فرسایش بسیار بالاست، افزایش تعداد این پیچان‌ها می‌تواند تأثیر زیادی در افزایش میزان رسـوبات پـشت دریاچه سد ملاجیغ بر جای بگذارد.

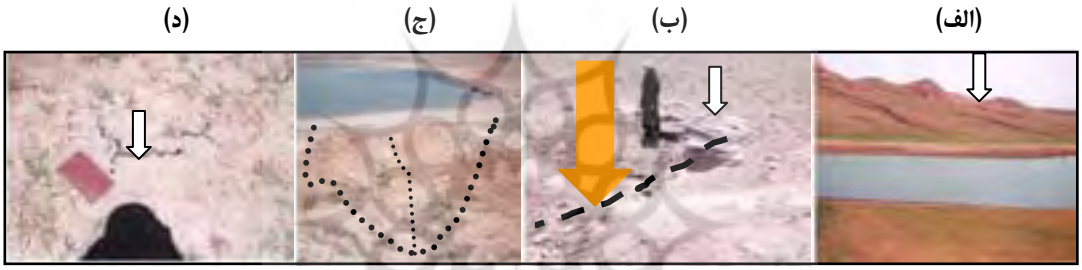
تغییرات در محدودهٔ شاخاب‌های منتهی به دریاچهٔ پشت سدها

تشکیل دریاچهٔ پشت سد، تغییراتی را در سطح اساس شاخاب‌های منتهی به دریاچه ایجاد می‌کند. پیش از تشکیل دریاچهٔ پشت سدها در سطح اساس این شاخاب‌ها رود اصلی جاری بود که در یک سطح پایین‌تر جریان داشـت. بعـد از تـشکیل دریاچه، سطح اساس بالاتر آمده و یک سطح بالاتر از سطح قبلی قرار گرفته است. این امر باعث شـده اسـت کـه جبهـهٔ برجای‌گذاری مواد رسوبی و همچنین جبههٔ کاوشی، هم در شاخاب‌ها و هم در رودخانـه اصـلی جابـه‌جـا شـود. واقعیتـی ژئومورفولوژیکی که در این مورد باید به آن توجه داشت این است که سطح اساس قبلی به کندی و در طی زمان طولانی تغییر می‌یافت (با دلایل اقلیمی و یا تکتونیکی). اما با قرارگیری سطح دریاچهٔ پشت سد به عنوان سطح اساس، نوسـانات در کوتاه‌مدت و به‌طور سریع صورت می‌گیرد که این امر باعث می‌شود جبهه‌های کاوشی و فرسایشی بـه‌طـور مـداوم در حال جابه‌جایی باشد. در محدوده‌ای مانند حوضه قرنقوچای با آب‌وهوای نیمه‌خشک که نوسانات سطح دریاچه حتی به‌طور روزانه تغییر می‌کند، جابه‌جایی جبهه فرسایشی و نهشته‌گذاری سریع خواهد بود. بررسی‌های میدانی حـاکی از ایـن اسـت که به دنبال خشکسالی‌های اخیر، به‌ویژه کمبود بارش در سال جاری، سطح دریاچه‌های پشت سدهای ملاجیـغ و سـهند چندین متر پایین رفته و با تداوم خشکی احتمال خشکی کامل آنها بسیار بالاست (شکل‌های ۱۱ و ۱۲).

خشکی محیط و پایین رفتن سطح اساس در سال‌های اخیر در پشت دریاچه‌های سدهای منطقه باعث شده است که کاوش در محل اتصال شاخاب‌ها به دریاچه‌ها شدت گیرد. این امر در اطراف دریاچه سد ملاجیغ و در انتهای شاخاب‌هـای منتهی به دریاچه، باعث شکل‌گیری خندق‌های عمیقی گردیده است. دامنه‌ها در محدودهٔ مذکور به شـدت بـرش یافتـه و مواد حاصل از برش در پای دیوارهٔ خندق‌ها انباشته شده است. با توجه به کمبود بارش و عدم تثبیت این مـواد بـه‌وسـیلهٔ پوشش گیاهی، با نزول اولین بارش رگباری این مواد مستقیماً به دریاچهٔ پشت سد ملاجیغ منتقل خواهند شد (شکل ۱۲). شیارهای اولیه که در اثر شدت خشکی محیط پدید می‌آیند زمینه را برای تـشکیل خنـدق‌هـای عمیـق‌تـر بعـدی فـراهم

می‌سازند (شکل ۱۲). با توجه به استعداد فرسایش‌پذیری مواد اطراف سد ملاجیغ، تشکیل خندق‌ها و برش شدید پیچان‌ها در بخش قوس‌ها بسیار اهمیت دارد. در نزدیکی سد ملاجیغ در بخش‌هایی که بستر شاخاب‌های منتهی به سد به ماسه‌سنگ‌ها رسیده‌اند، به‌دلیل کاهش شدت برش، بخش‌های برآمده‌ای در مسیر این شاخاب‌ها پدید آمده است و به خاطر پسروی آب دریاچه، بخش انتهای این شاخاب‌ها به‌صورت معلق و با اختلاف سطح نسبتاً زیاد (بیش از ۲ متر) با کناره دریاچه، در اطراف دریاچه سطح به چشم می‌خورند (شکل ۱۲).

شکل ۱۱.تغییرات سطح اساس بعداز تشکیل دریاچهٔ پشت سدسهند (تصویر سمت راست)**وقبل از تشکیل دریاچه** (تصویر سمت چپ)



شکل ۱۲. فرسایش‌پذیر بودن مواد دامنه‌های اطراف سد ملاجیغ

الف) ایجاد خندق‌ها در دامنه‌های مشرف به دریاچه؛ ب) معلق ماندن محل اتصال شاخاب‌ها و برونزد ماسه‌سنگ‌ها و ایجاد برآمدگی در مسیر شاخاب‌ها؛ ج) پسروی آب دریاچه و ایجاد برآمدگی‌ها در مسیر شاخاب‌ها و تشکیل خندق‌ها (به لحاظ پایین‌رفتن سطح اساس محلی)؛ و د) ایجاد شیارهای اولیه زمینه‌ساز برای تشکیل خندق

نتیجه‌گیری

احداث سدها در مسیر رودخانه‌ها ـ به عنوان مهمترین ساختارهای دست‌ساز انسانی ـ تغییرات عمده‌ای را در کارکرد سامانه‌ها پدید آورده و در بخشی حتی ویژگی‌های منطقه‌ای را نیز به‌طور کامل متحول و دگرگون ساخته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در مواردی، آسیب‌های وارد آمده به طبیعت در اثر احداث یک سد در حوضه‌های کوهستانی، تا تهدید جدی اکوسیستم‌های طبیعی رودخانه‌ها نیز پیش رفته است. میزان تغییرات و دگرگونی‌ها در مناطق نیمه‌خشک با توجه به ویژگی‌های طبیعی حاکم، به‌مراتب بارزتر از سایر نقاط است. احداث سدها در حوضه‌های کوهستانی مناطق نیمه‌خشک ـ مانند حوضه قرنقوچای، که عمدتاً با محوریت انسان و در غالب موارد یک‌سویه بوده است ـ به بروز مسائل عمده‌ای، از قبیل بحران مدیریت و تغییرات محیطی، انجامیده و چالش‌های جدی دیگری را نیز به همراه داشته است. در این مناطق، معمولاً برنامه‌ریزی‌ها و اقدامات عمرانی (عمدتاً احداث سدها و بندها) بدون نگرش سیستمی به حوضه‌ها و شبکه‌های رودخانه‌ای صورت گرفته است و اغلب در چنین اقداماتی، عملکرد چندسویهٔ سامانه‌های رودخانه‌ای مدنظر قرار نمی‌گیرد. در اثر این بی‌توجهی‌ها، انسان اجزای سیستم‌ها را به گونه‌های مختلف به چالش می‌کشد و البته نتیجهٔ منفی چنین

چالش‌هایی در درازمدت گریبانگیر خود انسان خواهد شد. حال اگر احداث سدها، بدون در نظر گرفتن نحوهٔ کارکرد فرایندهای ژئومورفولوژی و بدون مدنظر قراردادن ویژگی‌های مواد تشکیل‌دهندهٔ بستر جریان رودخانه‌ها صورت گیرد، می‌تواند پیامدهای منفی ساخت سدها را افزون سازد. یکی از نمونه‌های برجسته در این مورد، احداث سد سهند و سد ملاجیغ در حوضه قرنقوچای است. احداث دو سد مذکور، ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی بخش‌های پایین‌دست سد را با استناد به تغییرات در نمونه‌های مشابه، کاملاً دگرگون خواهد ساخت و آرایش جریان رودخانه قرنقو را تغییر خواهد داد.

منابع

Amsler, L. M., Ramonell C. G. and Toniolo H. A., 2005, **Morphologic Changes in the Parana River Channel in the Light of the Climate Variability During the 20th Century**, Geomorphology, 70: 257-278.

Azanon, J., Antonito, J., Pena V., and Carrillo J. M., 2005, **Late Quaternary Large Scale Rotational Sildes Induced by River Incision,** Geomorphology, 69: 152-168.

Brandt, S.A., 2000, **Classification of Geomorphological Effects Downstream of Dams**, Catena, 40:375-401.

Butler, D., R. and Malanson G. P., 2005, **The Geomorphology Influences of Beaver Dams and Failures of Beaver Dams,** Geomorphology, 71:48-60.

Chanson, H., 2005, **The 1786 Earthquake-triggered Landslide Dam and Subsequent Dam-break Flood on the Dadu River, Sputhwestern China,** Geomorphology, 65:173-344.

East Azarbayjan Water Company, 2005, **The Sahands Dam Researches Reports.**

Fassetta, G. A., Cossart E., and Fort M., 2005, **Hydro-geomorphic Hazards and Impact of Man-made Structures During the Catastrophic Flood of June 2000 in the upper Guil Catchment**, Geomorphology, 66:41-67.

Graf, W. L., 2005, **Geomorphology and American Dams: The Scientific, Social and Economic Contex**, Geomorphology, 71:3-26.

Korup, O., 2005, **Geomorphology Hazard Assessment of Landslide Dams in South Westland**, Geomorphology, 66:167-188.

Kucukarslan, S., Coskun, S. B., and Taskin B., 2005, T**ransient Analysis of Dam-reservoir Interaction Including the Reservoir Bottom Effects**, Journal of Fluids and structures, 20: 1073-1084.

Lorang, M.S. and Aggett G., 2005, **Potential Sedimentation Impacts Related to Dam Removal,** Geomorphology, 71:61-78.

Radoane, M. and Radoano, N., 2005, **Dams, sediment sources and Reservoir Silting in Romania,** Geomorphology, 71:112-125.

Rajaei, A., 1992, **Applied Geomorphology in Watershed Planning and Selected Suitable Site for Damming**, Geographical research, No: 28, pp 109-122.

Torabian, A. and Hashemi H., 2001, **Quantative Modeling of Surface Waters**, Tehran university publisher.

Vafaeian, M., 2005, **Theoretical and Practical Information on Eath Dams,** Arkan publisher.