

بررسی تغییر مورفولوژی بستر رودخانه پیش و پس از احداث سد با استفاده از GIS و HEC RAS (مطالعه‌ی موردی: منطقه‌ی پایین‌دست سد ستارخان اهر)

محمد عاشوری* - کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز
محمد حسین رضایی مقدم - استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز
زهرا پیری - کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز

پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۰۵/۱۷ تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۰۲/۰۱

چکیده

رودخانه‌ها از منابع عمده‌ی تأمین آب شیرین در جهان به‌شمار می‌روند. کاهش منابع آب و کمبود آب شیرین در جهان، لزوم مطالعه و بررسی تغییرات ایجادشده در ویژگی‌های آن را آشکار می‌کند. هدف از این بررسی، مطالعه‌ی تغییرات ایجاد شده در مورفولوژی بستر رودخانه و جابه‌جایی شکل گرفته در مسیر رودخانه و نیز، بررسی مقاطع عرضی رودخانه و عوامل مؤثر در ایجاد تغییرات رخ داده‌ای همچون دبی و رسوب و... به دلیل احداث سد است. در بررسی تغییرات بستر رودخانه، به دلیل احداث سد، از دو سری داده‌های زمانی برای پیش و پس از احداث سد استفاده شده است که شامل دبی و رسوب می‌شوند. داده‌های دبی و رسوب روزانه از ایستگاه‌های هیدرومتری اشدلق و تازه‌کند به‌دست آمد و مقادیر رسوب سالانه، بر اساس مدل رگرسیون خطی به‌روش کمترین مربعات محاسبه شد. همچنین مقاطع عرضی رودخانه با استفاده از نقاط کنترلی موجود در آمارهای ایستگاه‌های هیدرومتری مورد نظر، به کمک نرم‌افزار HEC RAS ترسیم و با بررسی داده‌های محاسبه شده، میزان این تغییرات مشخص شد. جابه‌جایی مسیر رودخانه در محیط نرم‌افزار ARC MAP و از طریق تصاویر ماهواره (۲۰۰۶) SPOT، عکس‌های هوایی ۱:۴۰۰۰۰ سال ۱۳۷۴ و نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری بررسی و نتایج به‌صورت نقشه ارائه شد. نتایج حاکی از کاهش میزان رسوب حمل شده پس از احداث سد، کاهش میزان دبی و ثبات تقریبی آن - که به دلیل هدایت جریان آب به داخل شبکه‌های آبرسانی برای کشاورزی و مصارف آشامیدنی بوده - پایداری تقریبی بستر رودخانه، به دلیل جلوگیری از جریان یافتن سیلاب‌های بزرگ توسط سد و نیز، جریان یافتن دبی تقریبی ثابت طی سال‌ها است.

کلیدواژه‌ها: حوضه‌ی آبریز، مورفولوژی رودخانه، مدل HEC RAS، پروفیل عرضی، سد ستارخان.

مقدمه

امروزه به دلیل افزایش جمعیت، میزان مصرف انرژی، آب، مواد صنعتی و غذایی در جهان رشد فزاینده‌ای داشته است. برای تأمین مواد غذایی بیشتر، انسان‌ها به کشاورزی نوین روی آورده که نیازمند تأمین آب بیشتر است. یکی از روش‌های بهره‌برداری از منابع آب، احداث سد است. احداث این سازه‌های آبی، محیط‌های رودخانه‌ای را با تغییرات مثبت و منفی زیادی روبه‌رو می‌کند. در برخی از موارد این آثار می‌توانند بسیار زیان‌بار بوده و روی زندگی انسان‌ها تأثیر مستقیم و غیر مستقیم داشته باشند. بنابراین برای جلوگیری از پیامدهای ناگوار بایستی تمامی آثار، پیامدها و نیز تغییرات ایجاد شده توسط سدها، بررسی شوند. رودخانه‌ی اهرچای در بخش وسیعی از دشت اهر جریان دارد و هر گونه تغییری در میزان دبی، رسوب و مورفولوژی آن، می‌تواند تأثیر به‌سزایی روی پدیده‌هایی چون حیات جانوری، گیاهی، کشاورزی و... در پایین‌دست و بالادست سد داشته باشد. بسیاری از اشکال هندسی مجرا، در نتیجه‌ی وقوع تغییرات در میزان دبی جریان ایجاد می‌شوند (بریج، ۱۳۸۷). شکل آبراهه با واکنش به حالت‌های متنوع انرژی، به اشکال مختلف تک‌شاخه‌ای (مستقیم، موجی، پیچان‌رود) یا چندشاخه‌ای (شریانی) درمی‌آید (ریچاردز، ۱۳۸۴: ۳۱۸). دگرگونی‌های تدریجی به انواع مختلف الگوهای مجرای، به متوسط اندازه‌ی ذرات بار رسوبی، دبی شکل‌دهنده‌ی مجرا (همان دبی لبریزی یا سیلابی) و شیب دره بستگی دارد. (بریج، ۱۳۸۷). با افزایش دبی آب و رسوب، الگوی مجرا از حالت مستقیم به مئاندری و گیسویی تغییر می‌یابد (همان: ۳۲۳). رستم‌زاده (۱۳۸۳) تأثیر سد را بر تغییر پوشش گیاهی منطقه بررسی کرده، اما در زمینه‌ی تغییر مورفولوژی رودخانه مطالعات زیادی انجام نشده است.

با توجه به موارد ذکر شده می‌توان اهداف این پژوهش را به شرح زیر نام برد:

۱. بررسی تغییرات میزان دبی و رسوب رودخانه پیش و پس از احداث سد؛

۲. بررسی میزان تغییرات پروفیل‌های عرضی بستر؛

۳. بررسی چگونگی جابه‌جایی عرضی بستر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در بازه‌های انتخابی.

حسین‌زاده و نوحه‌گر (۱۳۸۵) به بررسی تأثیر احداث سد بر هیدرودینامیک و تغییرات بستر رودخانه میناب پرداخته و بیان کردند که احداث سد باعث تغییر رژیم آبی و رسوبی رودخانه شده است. بیاتی خطیبی (۱۳۸۷: ۱۹۹) به بررسی نحوه‌ی تأثیر سد سهند بر تغییر مورفولوژی بستر جریان رودخانه‌ی قرنقو، بر ویژگی‌های فرسایشی و رسوب‌زایی آن پرداخته و تغییرات عمده‌ای را در مقطع عرضی، طولی بستر جریان و.. مشاهده کردند. اعلمی و همکاران (۱۳۸۷: ۱) به بررسی تأثیر احداث سد شهید مدنی بر مورفولوژی رودخانه پایین‌دست پرداخته و متوجه شدند که رهاسازی آب رسوب‌گیری شده‌ی رودخانه، پایین‌دست سد را در معرض فرسایش به‌نسبت شدید و تغییرات نیم‌رخ بستر جریان قرار داده است. الانصاری^۱ و ریماروی^۲ (۱۹۹۷: ۲۹۱) به بررسی تأثیر سدّ موصل روی بستر رسوبی و مورفولوژی رودخانه‌ی دجله پرداخته و متوجه شدند که پوشاندن بستر رودخانه در مجرای خروجی زیرین و بخش سرریز، میزان رسوب‌ها را به سمت

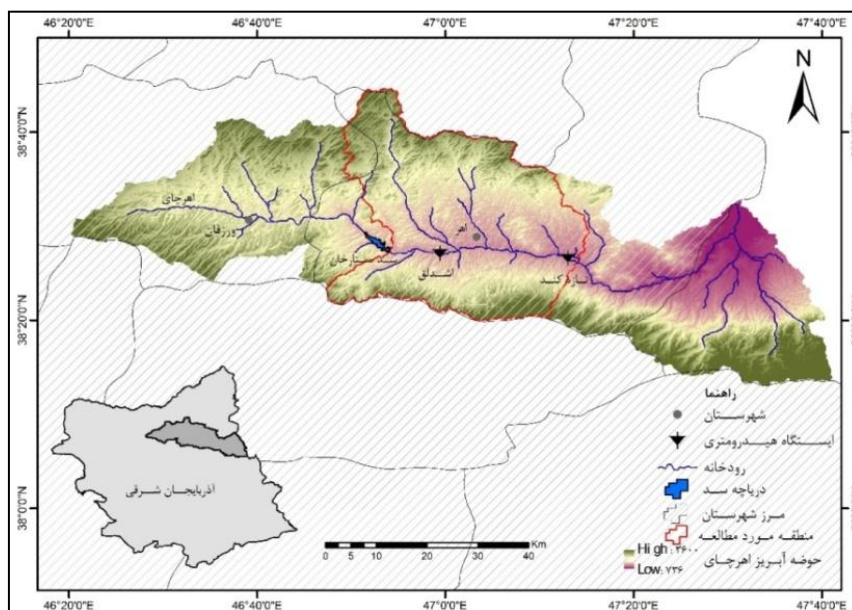
پایاب کاهش می‌دهد. سعد^۱ (۲۰۰۲: ۳) تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ی نیل به دلیل احداث سدهای آسوان^۲ در مصر را بررسی کرده است. مطالعات نشان می‌دهد که پایاب رودخانه در محل سد، الگوی آبراهه‌ای و خصوصیت‌های آبراهه‌ای خود را تغییر داده است. دیویس و همکاران (۲۰۰۳: ۱۰) به بررسی تأثیر سد اورویل^۳ روی فرایندهای مورفولوژیکی در پایاب پرداخته و تأثیر آن را بر مورفولوژی رودخانه آشکار کردند. گرت و همکاران (۲۰۰۳) برای تفسیر تأثیر ساخت سد روی نواحی پایاب رودخانه، زمین‌شناسی منطقه را مطالعه کرده و از طریق مدل‌های ذهنی و تجزیه و تحلیلی، به پیش‌بینی رفتار مورفولوژیک رودخانه نسبت به احداث سد پرداخته‌اند. صالح خان و همکاران (۲۰۰۵: ۱) به مطالعه‌ی تأثیر هیدرولوژیکی پروژه‌ی سد تپایموخ^۴ هندوستان روی بنگلادش پرداخته و در پایان، پیامدهای آن را بیان کردند. مارستون^۵ و همکاران (۲۰۰۵) تأثیر سد مخزنی جکسون^۶ روی رودخانه‌ی مار را بررسی و تأثیر تغییرات رودخانه را بر حیات وحش و پوشش گیاهی آشکار کردند. گوردن^۷ و مینت مرییر^۸ (۲۰۰۶) تأثیرات احداث سد و کاربری اراضی روی مورفولوژی رودخانه و پوشش گیاهی اطراف آن را مطالعه کرده و به این نتیجه رسیدند که میزان تغییرات پس از احداث سد ۶۰ درصد افزایش یافته است. سانچز^۹ و خاواجا^{۱۰} (۲۰۰۸: ۷۴۰) به بررسی فرایندهای رسوبی و مورفولوژی رودخانه پرداخته و در پایان راهکارهایی را برای مشکلات به‌وجود آمده ارائه کردند.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه بخشی از حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی اهرچای بوده که در عرض شمالی ۴۹° ۴۶' تا ۱۷' ۴۷° و طول شرقی ۳۸° ۲۰' و ۳۸° ۳۰' ۳۸' قرار گرفته است. محدوده‌ی مورد مطالعه، قسمت‌های غربی شهرستان اهر (بخش مرکزی) را دربر گرفته و در قسمت پایین دست سد ستارخان قرار گرفته است (شکل شماره ۱). محدوده‌ی مورد مطالعه از نظر ژئومورفولوژی به چهار واحد بخش می‌شود که به ترتیب از شمال عبارتند از: رشته‌کوه‌های قره‌داغ، واحد دشت، واحد فلات و رشته‌کوه‌های قوشه‌داغ. با استناد به نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی، می‌توان گفت که در قسمت‌های دشت و فلات، نهشته‌های جوان دوره‌ی کواترنر فراوان بوده و بخش بزرگ سازندهای منطقه را تشکیل می‌دهند. این سازندهای جوان شامل سیلت، کنگلومرا و تراورتن است. رودخانه‌ی اهرچای نیز کمابیش از میان این لایه‌ها عبور می‌کند. از نظر اقلیمی نیز منطقه دارای اقلیم سرد و خشک است. در این مطالعه برای بررسی تأثیر سد بر مورفولوژی بستر رودخانه‌ی اهرچای، فرایند پژوهش به چند مرحله تقسیم شد. در ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های توپوگرافی، عکس‌های هوایی و بررسی میدانی، آشنایی اولیه با منطقه انجام گرفت. در این پژوهش از چند

1. Saad
2. High Aswan
3. Oroville
4. Tipaimukh
5. Marston
6. Jackson
7. Gordon
8. Meentemryer
9. Sanchez
10. Khawaja

سری داده‌های جریان در سال‌های پیش و پس از احداث سد ستارخان استفاده شده است که عبارتند از: داده‌های مربوط به مقاطع عرضی رودخانه، داده‌های رسوبی و داده‌های دبی جریان. همچنین تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی، نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰ برای دو مقطع از رودخانه، در محدوده‌ی ایستگاه‌های هیدرومتری اشدلق و تازه‌کند تهیه شد.

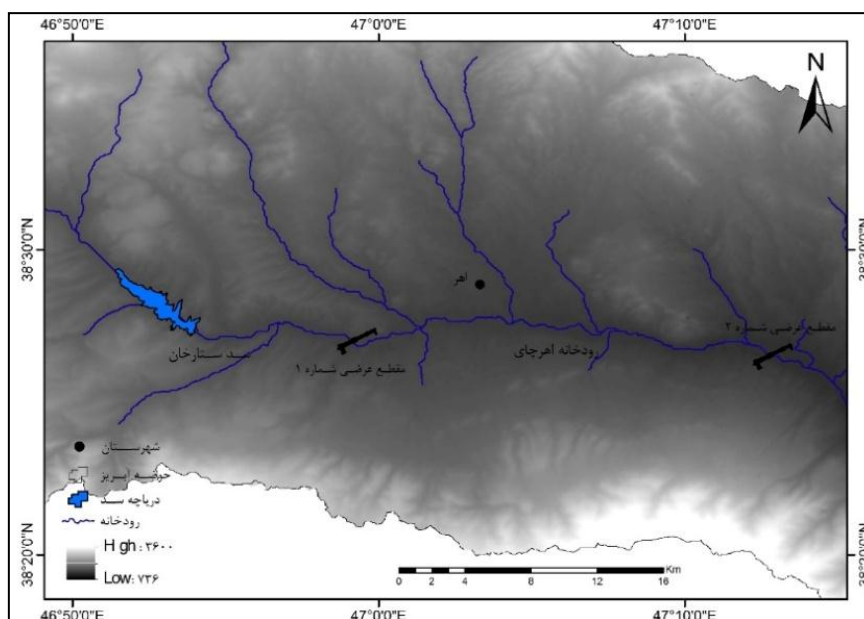


شکل ۱. نقشه‌ی موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

سال‌های بین ۱۳۶۸ تا ۱۳۷۶ و نیز ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۸، سال‌های نمونه برای مطالعه‌ی قبل و بعد از احداث سد در نظر گرفته شد و تغییرات پروفیل عرضی بستر در این سال‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه با استفاده از الحاقیه‌ی ARC HYDRO در محیط نرم‌افزار ARC MAP حوزه‌ی آبریز در امتداد دو ایستگاه هیدرومتری تازه‌کند و اشدلق مشخص شده و به‌عنوان حوزه‌ی مورد مطالعه در نظر گرفته شد. سپس با استفاده از DEM (مدل ارتفاعی رقومی)^۱ ماهواره‌ی آستر، لایه‌ی TIN^۲ (شبکه‌ی نامنظم مثلثی) منطقه را تهیه و مسیر جریان رودخانه حاصل از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ به لایه TIN افزوده شد. در ادامه باز هم در محیط نرم‌افزار ARC MAP و با استفاده از الحاقیه‌ی HEC GEO RAS^۳ (ابزار آماده‌سازی فایل‌های HEC RAS در نرم‌افزار GIS) مسیر رودخانه از روی لایه‌ی TIN رقومی شد. به این طریق مسیر رودخانه به‌صورت زمین مرجع شده، به‌همراه بانک اطلاعاتی مربوط به خود با فرمت قابل شناسایی برای نرم‌افزار HEC RAS ذخیره شد. در ادامه لایه‌ی ذخیره شده را با استفاده از نرم‌افزار HEC RAS باز کرده و داده‌های شرایط مرزی و هندسی مورد نیاز وارد نرم‌افزار شده و خروجی داده‌ها به‌صورت پروفیل‌های عرضی برای سال‌های نمونه، ذخیره شد.

1. Digital Elevation Model (مدل ارتفاعی رقومی)
2. Triangulated Irregular Network (شبکه نامنظم مثلثی)
3. RAS GIS import file

در گام بعد، میزان رسوب سالانه برای هر یک از مقاطع مورد محاسبه قرار گرفت. برای انجام محاسبات رسوبی از مدل رگرسیون خطی تک‌متغیره و روش کمترین مربعات استفاده شد. از آنجا که میزان رسوب در حوضه‌ی مورد مطالعه، علاوه بر میزان دبی از میزان بارش نیز تأثیر می‌پذیرد، هر سال به چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان تقسیم‌بندی شد. در ادامه، خط رگرسیون برای هر یک از فصول تهیه شده و معادله‌ی رسوبی آنها به دست آمد. سپس بر اساس دبی‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هیدرومتری تازه‌کند و اشدلق، میزان رسوب‌های حمل‌شده در طول سال‌های مورد نظر برآورد شد. سپس، روند تغییرات برای هر یک از متغیرهای دبی، رسوب و مقاطع عرضی مورد بررسی قرار گرفته و پس از مشخص شدن روند تغییرات هر یک، تلاش شد تا یک ارتباط منطقی بین تمامی متغیرها ایجاد شود. پس از ایجاد ارتباط منطقی بین تمام متغیرها، چگونگی تأثیر احداث سد ستارخان روی مورفولوژی بستر رودخانه مورد تحلیل قرار گرفت. در گام آخر، پس از مشخص شدن روند تغییرات بستر رودخانه، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی و نقشه‌های توپوگرافی، تغییرات مسیر جریان رودخانه به صورت نقشه تهیه شد. بدین گونه که نخست عکس‌های هوایی منطقه از سال ۱۳۷۴ تهیه و زمین مرجع شد. برای پوشش کلی مسیر رودخانه از چهار شیت عکس هوایی ۱:۴۰۰۰۰ استفاده شد. زمین مرجع عکس‌های هوایی نیز با انتخاب ۵۰ نقطه‌ی کنترل و تعیین مختصات آنها در نقشه‌های راقومی ۱:۲۵۰۰۰ انجام گرفت. پس از زمین مرجع عکس‌ها، مسیر دقیق رودخانه در سال‌های پیش از احداث سد به صورت لایه‌ی راقومی از عکس‌های هوایی تهیه شد. برای به دست آوردن مسیر رودخانه برای سال‌های پس از احداث سد، تصاویر ماهواره‌ی اسپات مربوط به سال ۱۳۸۵ انتخاب شد. سپس با انتخاب سه بازه در ابتدا، میانه و انتهای مسیر و همپوشانی مسیر رودخانه برای سال‌های قبل و بعد، میزان تغییرات به صورت نقشه تهیه شد. دلیل انتخاب سه بازه در این سه نقطه، مشخص کردن میزان و چگونگی تغییرات با فاصله گرفتن از مکان سد است. شکل شماره ۲ موقعیت دقیق سد ستارخان روی رودخانه‌ی اهرچای و مقاطع عرضی انتخابی در پایین دست آن را نشان می‌دهد.



شکل ۲. موقعیت سد ستارخان و مقاطع عرضی انتخابی روی رودخانه

یافته‌های پژوهش

میزان رسوب در هر رودخانه با توجه به شرایط مختلف، از جمله میزان دبی، میزان بارش در حوضه، شیب بستر، جنس بستر و نیز جنس زمین‌های اطراف کانال رودخانه و... متفاوت است. در اینجا به دلیل تفاوت میزان رسوب در فصول مختلف، برای هر فصل معادله‌ی رسوبی به طور جداگانه محاسبه شده است. سپس بر اساس معادله‌های به دست آمده میزان رسوب روزانه، ماهانه و سالانه محاسبه شد. میانگین دبی سالانه نیز با استفاده از اندازه‌گیری‌های ثبت شده در دو ایستگاه هیدرومتری تازه‌کند و اشدلق به دست آمد. مقادیر به دست آمده برای میانگین دبی سالانه و مجموع رسوب سالانه در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. میزان رسوب و دبی سالانه در ایستگاه‌های هیدرومتری تازه‌کند و اشدلق (سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی)

سال	اشدلق		تازه‌کند	
	دبی m ³ /s	رسوب t/year	دبی m ³ /s	رسوب t/year
۱۳۶۸	۱.۸۶۲	۵۱۲۷۶.۲۹۵۹	۳.۰۱	۱۱۵۸۸۶.۵۶۸
۱۳۶۹	۳.۰۳۷۴	۱۱۵۷۰۸.۳۶۴۷	۴.۰۱۹	۱۵۱۳۴۵.۱۶۹۹
۱۳۷۰	۲.۳۸۸	۸۴۳۱۸.۸۲۴۱۶	۳.۳۲۷	۱۳۰۴۱۴.۲۶۷۱
۱۳۷۱	۳.۲۴	۱۱۶۵۱۰.۲۶۰۷	۵.۲۱۶	۱۷۴۴۸۲.۵۲۰۱
۱۳۷۲	۷.۳۵	۲۷۵۵۹۳.۸۵۸۶	۹.۲۹۸	۲۸۷۱۲۱.۵۰۳۵
۱۳۷۳	۵.۱	۱۹۵۰۱۸.۹۲۵۵	۸.۰۳۷	۲۴۷۲۵۶.۹۰۴۵
۱۳۷۴	۲.۲۷۴	۸۱۹۱۳.۵۱۰۴۵	۳.۴۵۱	۱۳۴۴۰۴.۶۳۴۹
۱۳۷۵	۲.۵۶۶	۷۵۷۴۵.۸۸۰۷۹	۳.۱۷۱	۱۲۸۳۴۳.۰۷۲۱
۱۳۷۶	۲.۸۸	۱۰۷۶۱۱.۹۹۳۷	۲.۳۱۲	۱۰۲۶۸۱.۰۴۹۲
۱۳۷۷	۰.۹۵	۲۹۷۷۰.۱۵۷۹۶	۱.۷۱۴	۸۴۲۵۸.۰۶۰۴۹
۱۳۷۸	۱.۰۷	۱۱۴۷۱.۸۰۰۰۷	۱.۱۶	۶۹۱۷۷.۸۹۶
۱۳۷۹	۱.۱۵	۲۲۷۲۵.۳۳۴۵۲	۰.۹۰۲	۶۴۵۴۱.۹۸۲۸۵
۱۳۸۲	۴.۱۴	۵۷۸۰۱.۲۴۹۹	۴.۰۸۴	۱۳۴۲۵۹.۶۸۱۷
۱۳۸۳	۱.۳۳۴۵	۱۳۷۵۳.۲۹۸۵	۲.۰۷۵۵	۸۴۰۱۳.۲۸۷۹۱
۱۳۸۴	۰.۸۱۱	۱۳۴۷۶.۴۰۸۲۵	۱.۲۸۷	۷۰۹۵۷.۶۱۹۸۱
۱۳۸۵	۰.۱۹۴	۲۶۵۸.۰۷۱۸۰۴	۱.۰۵۴۲	۶۷۷۲۵.۶۹۸۱۴

بر اساس داده‌های رسوبی به دست آمده در ایستگاه اشدلق، میانگین رسوب‌های حمل شده برای سال‌های پیش از احداث سد، حدود ۱۲۲۶۳۳ تن در سال و برای سال‌های پس از احداث سد، حدود ۱۹۷۹۶ تن در سال برآورد شده است که به میزان ۸۳/۸۵ درصد نسبت به سال‌های پیش از احداث سد کاهش داشته است (مقدار آن به $\frac{1}{6}$ کاهش یافته است). برای ایستگاه تازه‌کند، میانگین مجموع رسوب‌های حمل شده برای سال‌های پیش از احداث سد، حدود ۱۶۳۵۴۸ تن در سال و برای سال‌های پس از احداث سد، حدود ۸۱۱۴۷ تن در سال محاسبه شده که به میزان ۵۰/۳۸ درصد نسبت به سال‌های قبل از احداث سد کاهش یافته است (میزان آن به نصف کاهش یافته است). بر اساس دبی‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هیدرومتری، میانگین دبی برای سال‌های پیش از احداث سد در ایستگاه تازه‌کند، حدود ۴/۶ متر مکعب در هر ثانیه و برای سال‌های پس از احداث سد حدود ۱/۷ متر مکعب در هر ثانیه است که حدود ۶۳ درصد کاهش یافته است.

در ایستگاه اشدلق میانگین دبی برای سال‌های پیش از احداث سد حدود ۳/۴ متر مکعب در ثانیه و برای سال‌های پس از احداث سد، حدود ۱/۳ مترمکعب در ثانیه است که به‌میزان ۶۱ درصد نسبت به سال‌های پیش از احداث سد کاهش نشان می‌دهد. در سال‌های پیش از احداث سد، مقادیر دبی و به‌دنبال آن مقادیر رسوب بالا بوده که پس از احداث سد این میزان کاهش یافته است، به‌گونه‌ای که میزان رسوب در سال ۱۳۷۷ (یک سال پس از آب‌گیری سد ستارخان) در ایستگاه اشدلق نسبت به سال ۱۳۷۶ (زمان آب‌گیری سد ستارخان) ناگهان به‌میزان ۷۲ درصد کاهش نشان می‌دهد. با فاصله‌گرفتن از محل سد در ایستگاه تازه‌کند، میزان تأثیرپذیری متغیرهای رسوب و دبی سد کاسته شده که این کاهش تأثیرپذیری، سبب ایجاد تغییر کمتر نسبت به ایستگاه اشدلق در میزان دبی و رسوب شده است. به‌گونه‌ای که در این ایستگاه میزان کاهش رسوب در سال ۱۳۷۷ نسبت به سال ۱۳۷۶، حدود ۱۷ درصد بوده است. اما در هر دو ایستگاه میزان دبی و رسوب در سال‌های پس از احداث سد، کاهش چشمگیری را نشان می‌دهد. جدول شماره ۲ متغیرهای هیدرولیکی محاسبه شده در نرم‌افزار HEC RAS را نشان می‌دهد.

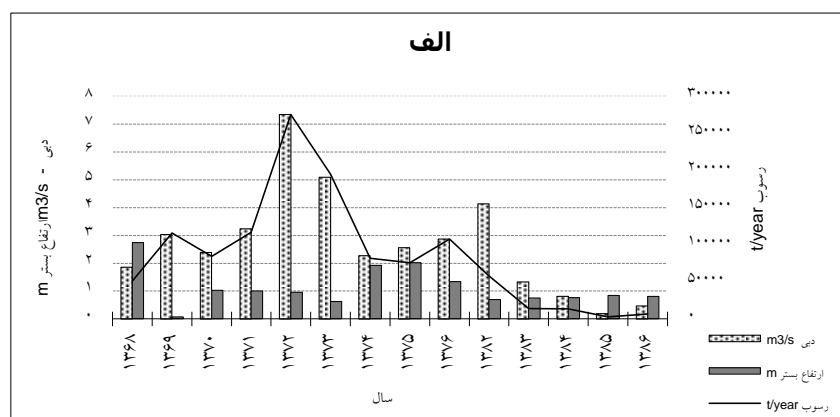
جدول ۲. داده‌های هیدرولیکی به‌دست‌آمده از مدل HEC RAS

سال	اشدلق					تازه‌کند				
	شیب بستر	دبی پیک M ³ /S	ضریب مابینگی	میانگین سرعت جریان M/S	حداکثر عمق کانال M/	حداقل ارتفاع کانال M/	شیب بستر	دبی پیک M ³ /S	ضریب مابینگی	میانگین سرعت جریان M/S
قبل از ساخت سد	۱۳۶۸	۲.۷۴	۱.۰۴	۰.۰۵	۰.۰۳۵	۱۸.۸۹	۰.۰۳۵	۰.۰۳۵	۰.۰۴	۰.۲۷
	۱۳۶۹	۰.۰۷	۱.۲۹	۰	۰.۰۰۳	۳۳.۲۲	۰.۰۳	۰.۰۴	۰.۱۲	۰.۰۷
	۱۳۷۰	۱.۰۳	۰.۸۶	۰.۰۵	۰.۰۰۲	۳۴.۰۵	۰.۰۲۵	۰.۰۴	۰.۴۵	۰.۲۷
	۱۳۷۱	۱	۰.۱۵	۰.۸۵	۰.۰۰۲	-	۰.۰۲۵	۰.۰۳۵	۱.۴۲	۰.۰۳
	۱۳۷۲	۰.۹۶	۱.۵۳	۰.۰۴	۰.۰۰۲	-	۰.۰۲۵	۰.۰۴	۰.۴۶	۰.۲۸
	۱۳۷۳	۰.۶۲	۱.۶۱	۰.۰۴	۰.۰۰۳	۵۸.۸۶۱	۰.۰۴۵	۰.۰۴	۰.۸۱	۰.۵۳
	۱۳۷۴	۱.۹۳	۰.۵	۰.۰۵	۰.۰۰۳۴	۶۱.۲۷۸	۰.۰۴	۰.۰۵	۰.۲۴	۰.۱۲
	۱۳۷۵	۲.۰۲	۰.۸۳	۰.۰۸	۰.۰۰۳۴	-	۰.۰۴	۰.۰۳۵	۰.۲۶	۰.۱
	۱۳۷۶	۱.۳۴	۱.۰۹	۰.۰۹	۰.۰۰۵	۵۷.۵	۰.۰۳	۰.۰۹	۰.۷۹	۰.۱۸
	۱۳۸۲	۰.۷	۰.۹	۰	۰.۰۰۴	۱۰.۰۳	۰.۰۴	۰.۰۴	۰.۴۳	۰.۲۶
بعد از ساخت سد	۱۳۸۳	۰.۷۵	۰.۹۳	۰.۰۳	۰.۰۰۴	-	۰.۰۴	۰.۰۲۵	۰.۷۳	۰.۲۴
	۱۳۸۴	۰.۷۶	۱.۳۴	۰.۱	۰.۰۰۴	۶.۷۸۱	۰.۰۳۲	۰.۰۳۲	۰.۸۳	۰.۳۴
	۱۳۸۵	۰.۸۴	۰.۶	۰.۰۱	۰.۰۰۵	۹.۰۷۳	۰.۰۴	۰.۰۴	۰.۳۳	۰.۲
	۱۳۸۶	۰.۸۱	۰.۵۳	۰.۰۱	۰.۰۰۴	۳.۸۹۱	۰.۰۴	۰.۰۴	۰.۲۳	۰.۲۴
	۱۳۸۷	۰.۷۸	۰.۵۷	۰.۰۳	۰.۰۰۴	۸.۳۴۸	۰.۰۴	۰.۰۴	۰.۲۶	۰.۱۶
	۱۳۸۸	۰.۸۴	۳.۲۴	۰.۳۹	۰.۰۰۹	۲۱.۷۶	۰.۰۴	۰.۰۴	۰.۶۹	۰.۶۸
	۱۳۸۹	۰.۸۴	۳.۲۴	۰.۳۹	۰.۰۰۹	۲۱.۷۶	۰.۰۴	۰.۰۴	۰.۶۹	۰.۶۸

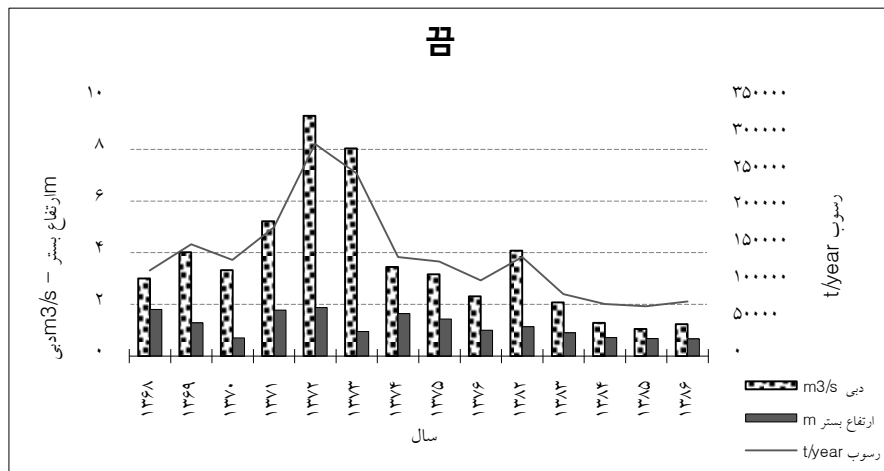
یکی از متغیرهای هیدرولیکی محاسبه شده در نرم‌افزار HEC RAS، ارتفاع بستر رودخانه است. با توجه به تأثیرپذیری مستقیم این متغیر از مقادیر دبی و رسوب، نمودارهای تغییرپذیری مقادیر دبی و رسوب و ارتفاع بستر رودخانه،

در شکل شماره ۳ برای دو ایستگاه هیدرومتری اشدلق و تازه‌کند رسم شد. در ایستگاه اشدلق با کاهش مقادیر دبی و رسوب در سال‌های پس از ساخت سد، میانگین ارتفاع بستر نیز کاهش یافته است. این مقدار در سال‌های پیش از احداث سد ۱/۳۰ متر بود که با کاهش در سال‌های بعد از ساخت سد، رقم ۰/۷۸ متر را نشان می‌دهد. در شرایط طبیعی هیچ‌گونه نظم یا روند خاصی در تغییرات مقادیر سه متغیر فوق دیده نمی‌شود، به‌گونه‌ای که در برخی سال‌ها روند مستقیم و در برخی از سال‌ها شرایط معکوس حاکم بوده است.

در برخی از سال‌ها کاهش دبی، سبب کاهش حمل رسوب‌ها شده (انجام عمل رسوب‌گذاری) و در نتیجه عمل رسوب‌گذاری، بستر بالا آمده است و برعکس در برخی از سال‌ها نیز این روند معکوس شده و سبب پایین رفتن مجدد بستر می‌شود. این حفر بستر، به دلیل افزایش میزان دبی بوده که در نتیجه آن، قابلیت حفر و حمل رسوب در آبراهه افزایش می‌یابد. اما با احداث سد و تعدیل میزان دبی جریان، با کاهش میزان رسوب آب، ارتفاع بستر نیز کاهش پیدا کرده و تغییرات این پارامترها روند منظم و یکنواختی را طی می‌کند. در شرایط طبیعی آب حاوی رسوب دارای توان فرسایش و حفر پایینی است، در حالی که در شرایط وجود سد، به دلیل تخلیه رسوبی، قدرت جریان آب افزایش یافته و با حفر شدید بستر، منجر به کاهش ارتفاع بستر می‌شود که در ایستگاه اشدلق نیز نتایج به همین شیوه بوده است. در ایستگاه تازه‌کند نیز پس از ساخت سد، شرایط از روند منظمی پیروی کرده و رودخانه به سمت ایجاد تعادل پیش می‌رود، به این صورت که مقادیر دبی و رسوب جریان، کمابیش یکنواخت شده و با کاهش این مقادیر، ارتفاع بستر رودخانه نیز کاهش یافته است، به‌گونه‌ای که از ۱/۳۹ متر در شرایط طبیعی، به رقم ۰/۸۲ متر رسیده است و حاکی از حفر بستر دارد. ملاحظه می‌شود که در سال‌های پیش از ساخت سد، در بیشتر سال‌ها با افزایش دبی، عمق بستر نیز افزایش می‌یابد. به بیان دیگر با افزایش دبی، بستر نیز بالا می‌آید. در اینجا باید یادآور شد که ایستگاه اشدلق در خروجی رودخانه از کوهستان واقع شده و رودخانه سرعت بیشتری داشته و به علاوه عرض بستر نیز در اینجا کمتر است، اما در ایستگاه تازه‌کند شرایط دیگری برقرار است. در این ایستگاه با فاصله گرفتن از کوهستان و واقع شدن در دشت و همچنین افزایش عرض بستر، هرچه دبی افزایش یابد، رسوب‌های بیشتری را با خود حمل کرده و در اینجا نهشته می‌کند. در سال‌های پس از احداث سد، روند مختلط تغییرات بستر تغییر کرده و بستر به حالت تعادل رسیده است.



شکل ۳- الف. نمودار تغییرات متغیرهای رسوب، دبی و ارتفاع بستر اشدلق

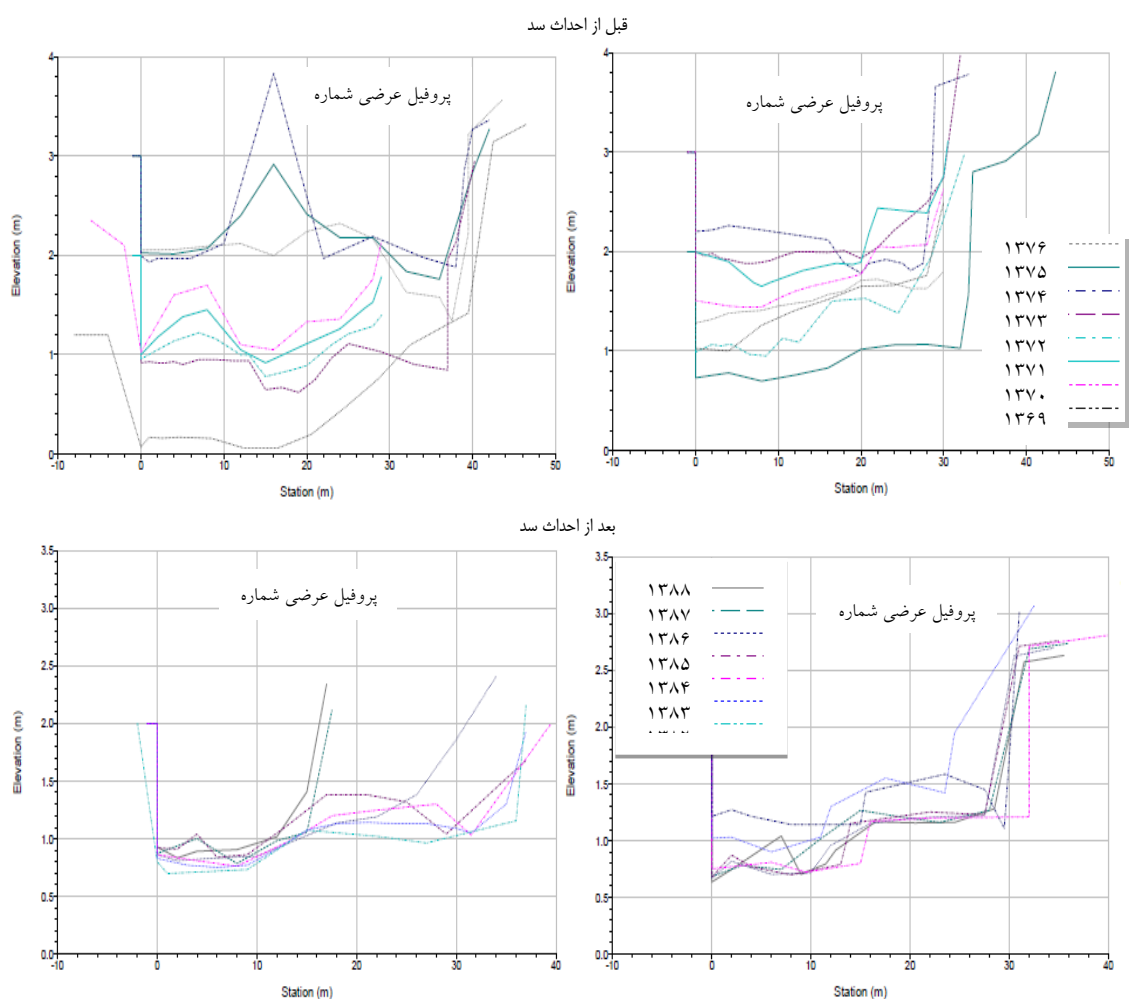


شکل ۳- ب. نمودار تغییرات متغیرهای رسوب، دبی و ارتفاع بستر تازه‌کند

یکی از مهم‌ترین اهداف احداث سدها، کاهش مقادیر دبی‌های سیلابی است. به دلیل تأثیر مهم دبی‌های پیک و سیلابی در شکل‌دهی مجرای رودخانه و نیز، تأثیر مستقیم احداث سد بر مقادیر این متغیرها، به بررسی مقادیر این متغیر و تغییرات احتمالی آن پرداخته می‌شود. در مقطع عرضی شماره ۱ که در محل ایستگاه هیدرومتری اشدلق واقع شده، میانگین دبی‌های پیک در شرایط طبیعی ۴۴ متر مکعب بر ثانیه است که پس از احداث سد، به رقم ۱۰ متر مکعب بر ثانیه کاهش یافته است. همچنین بیشترین مقدار دبی سیلابی ثبت‌شده در سال‌های پیش از ساخت سد، ۶۱/۲۷ متر مکعب بر ثانیه بوده که با اثر تعدیل‌کنندگی سد در سال‌های بعد، حداکثر دبی سیلابی ثبت‌شده به رقم ۲۱/۷۶ متر مکعب بر ثانیه رسیده است. در ایستگاه تازه‌کند نیز میانگین دبی‌های سیلابی در سال‌های پیش از ساخت سد با کاهش شدید در سال‌های بعد از ساخت روبه‌رو شده است و از مقدار ۹۷/۱۵ متر مکعب بر ثانیه، به رقم ۱۳/۲ متر مکعب بر ثانیه رسیده است. حداکثر مقدار ثبت‌شده برای این متغیر در شرایط طبیعی، ۱۹۸ متر مکعب بر ثانیه و در شرایط وجود سد ۳۰/۰۳ متر مکعب بر ثانیه است. در هر دو مقطع عرضی در سال‌های پس از ساخت سد، روند تغییرات و آشفتگی‌های شرایط طبیعی نیز با ساخت سد تعدیل شده است. همراه با تغییر دبی در یک مقطع عرضی مشخص، تغییرات دیگری نیز رخ می‌دهد که سرعت جریان و متغیرهای دیگری چون، شیب سطح آب و ضریب مانینگ نیز تغییر می‌کند. دبی با سرعت جریان رابطه‌ی مستقیم داشته و به‌دنبال آن، سبب کاهش سرعت جریان خواهد شد. مقادیر به‌دست‌آمده برای شرایط طبیعی و قبل از احداث سد در ایستگاه اشدلق، ۰/۱۴ متر بر ثانیه و پس از ساخت، سد ۰/۰۸ متر بر ثانیه بوده است که همراه با کاهش دبی جریان رخ داده است. از سویی به‌دلیل کاهش دبی و رسوب، سرعت جریان بستر حفر شده و شیب در وسط بستر اصلی، تندتر از کناره‌ها بوده و به‌افزایش شیب مقطع عرضی منجر شده است (در شرایط طبیعی ۰/۰۳ و پس از ساخت سد ۰/۰۵).

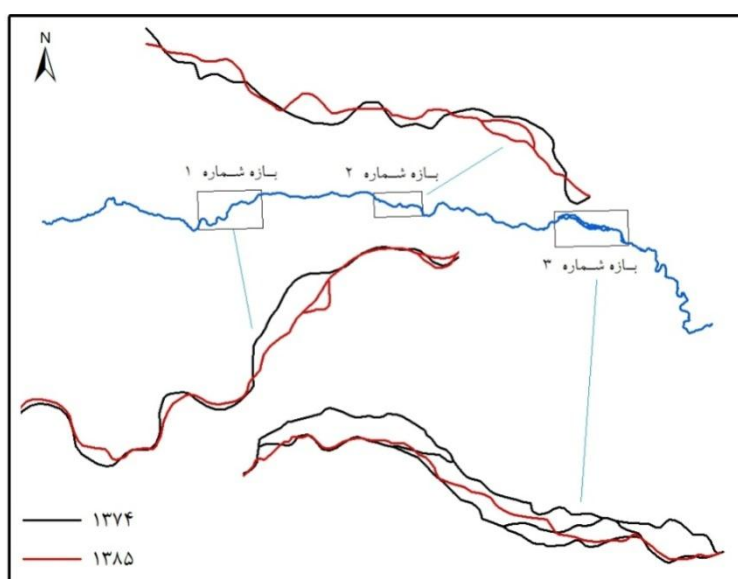
توپوگرافی بستر و زبری آبراهه‌های طبیعی ممکن است در طول آبراهه به‌شدت تغییر کند. زبری هیدرولیکی نهایی از ترکیب زبری ناشی از دانه‌بندی و زبری ناشی از شکل بستر حاصل می‌شود. زبری شکل به‌واسطه‌ی بی‌نظمی در بستر

و کناره و تغییرات در شکل پلان افزایش می‌یابد. در ایستگاه اشدلق میانگین ضریب زبری بستر در شرایط وجود سد، افزایش (هر چند اندک) داشته است - که یکی از دلایل آن می‌تواند به حفر بستر توسط آب فاقد بار رسوبی مربوط باشد - این مقدار از ۰/۰۳ به ۰/۰۴ افزایش یافته است. در شرایط طبیعی عوامل متعدّد به‌ایجاد آسفتگی در بستر و تغییرات فاحشی در سال‌های متمادی منجر شده است، در حالی که با احداث سد و تعدیل شرایط، تغییرات اندک بوده است. در ایستگاه تازه‌کند (مقطع عرضی شماره ۲) نیز، به‌واسطه‌ی کاهش مقادیر دبی و رسوبی جریان، میانگین سرعت جریان از ۰/۱۴ متر بر ثانیه در شرایط طبیعی، به رقم ۰/۰۸ متر بر ثانیه کاهش یافته است. میزان شیب با کاهش رسوب و افزایش فاصله از سد، به‌دلیل حمل رسوب از قسمت بالادست (نزدیک به سد) و رسوب‌گذاری در پایین‌دست کاهش یافته و از رقم ۰/۰۱ به ۰/۰۳ رسیده است. زبری بستر نیز با وجود تغییر اندک، حالت یکنواخت‌تری به‌خود گرفته است. درنهایت بر اساس مدل HEC RAS، پروفیل‌های عرضی برای سال‌های ۱۳۶۸ تا ۱۳۷۶ (پیش از احداث سد) و سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۸ (پس از احداث سد) تهیه شد. در شکل شماره ۴ پروفیل‌های عرضی به‌دست‌آمده با استفاده از مدل HEC RAS نشان داده شده است (این اشکال به‌ترتیب برای ایستگاه اشدلق و تازه‌کند، پیش و پس از احداث سد تهیه شده‌اند).



بررسی پروفیل‌های استخراج شده برای شرایط طبیعی و بدون وجود سد و نیز سال‌های پس از احداث آن، بیانگر تثبیت بستر اصلی و تعدیل پروفیل آن است. در شرایط طبیعی، بستر رودخانه دارای بی‌نظمی‌هایی بوده و به دلیل شرایط خاص فرسایش و رسوب‌گذاری، تغییراتی در عمق بستر قابل مشاهده است. نتایج حاکی از تغییرات فاحش در ارتفاع بستر و شکل پروفیل‌ها در سال‌های قبل از احداث سد است که دلیل عمده‌ی این تغییرات ناشی از تغییرات دبی و میزان رسوب است. اما در سال‌های پس از احداث سد، میزان تغییرات پروفیل‌های عرضی بستر کاهش یافته و میزان تغییرات از سالی به سال دیگر کمابیش نامحسوس است. از جمله دلایل اصلی این تغییرات نامحسوس، کنترل دبی و رسوب وارد شده به بستر با احداث سد ستارخان است. در ایستگاه اشدلق تغییرات یکنواخت به صورت حفر شدید بستر نمود پیدا کرده است، در حالی که در ایستگاه تازه‌کند میزان حفر بستر، به دلیل افزایش بار رسوبی در طول مسیر نسبت به مقطع شماره‌ی ۱ کمتر بوده است.

شکل شماره‌ی ۵ تغییرات عرضی رودخانه را در سه بازه نشان می‌دهد. در بازه‌ی شماره‌ی ۱ که در نزدیکی سد انتخاب شده است، در شرایط طبیعی رودخانه به صورت شریانی بوده و با کاهش رسوب و دبی در سال‌های بعد از احداث سد، حالت مئاندري به خود گرفته است و به طور کلی پیچ‌وخم‌های رودخانه از نظر تعداد کمی افزایش، اما از نظر اندازه کوچکتر شده که با توجه به بحث‌های صورت گرفته، چون در این منطقه تغییرات رسوب و دبی رو به کاهش بوده، بنابراین تغییرات الگوی رودخانه از شریانی به مئاندري و در نهایت با گذشت زمان و تثبیت بستر رودخانه، مستقیم خواهد بود که بررسی‌های منطقه نیز این مطلب را تأیید می‌کنند (شکل شماره‌ی ۴). ریچارد و ژولین (۲۰۰۳) نیز با بررسی تأثیر احداث سد کوچیتی^۱ روی رودخانه ریوگراند نتیجه گرفتند که قبل از احداث سد، رودخانه بریده بریده و پهن بود، در حالی که بعد از ساخت سد، دارای تعداد بیشتری مئاندر شده است.



شکل ۵. تغییرات عرضی رودخانه در بازه‌های انتخاب شده

بحث و نتیجه‌گیری

سدها تأثیرهای کوتاه‌مدت و بلندمدت مثبت و منفی زیادی بر محیط‌های رودخانه‌ای دارند. احداث سازه‌های مصنوعی روی جریان‌های طبیعی آب، تغییرات متفاوتی را در بالا و پایین‌دست خود ایجاد می‌کنند. با وجود مزایایی که در تنظیم جریان رودخانه‌ها و کاهش در بزرگی و فرکانس وقوع سیلاب‌ها و .. دارند، سبب ایجاد رژیم‌های مصنوعی از جریان آب در پایاب‌های رودخانه‌ها شده و در مسیر انتقال رسوب‌ها از سرآب‌ها، آشفته‌گی‌هایی ایجاد می‌کنند (بیاتی خطیبی، ۱۳۸۷). برخی از این تغییرات در پایین‌دست عبارتند از:

- تغییر در آرایش الگوی رودخانه - تغییر جریان آب و دمای آن؛
- تغییر شرایط طبیعی و تشدید فرایندهای فرسایشی بستر (بستر عمیق‌تر و باریک‌تر می‌شود)؛
- افزایش زبری بستر.

این تغییرات در منطقه‌ی مورد مطالعه نیز همانند شرایط فوق بوده است.

میانگین دبی در سال‌های پیش از احداث سد برای ایستگاه‌های اشدلق و تازکند، به ترتیب عبارتند از $3/4$ و $4/6$ متر مکعب بر ثانیه که این میزان برای سال‌های پس از احداث سد، به ترتیب با کاهش ۶۱ و ۶۳ درصدی روبه‌رو بوده است. اگرچه میزان رسوب حمل‌شده نیز کاهش داشته، اما این میزان در دو ایستگاه متفاوت از دبی بوده و به ترتیب بیان شده عبارتند از $83/85$ و $50/38$. این بدین خاطر بوده که آب رسوب‌گیری شده‌ی پشت سد، پس از جریان یافتن، بستر را حفر کرده و با افزایش فاصله از سد، رسوب بیشتری حمل شده است. تغییرات مقادیر این دو عامل به کاهش میانگین ارتفاع بستر در سال‌های بعد منجر شده و همچنین با کاهش آنومالی‌های دبی و رسوب در سال‌های بعد از احداث سد، تغییرات ژئومورفولوژیکی نیز روند ثابتی به خود گرفته‌اند. تغییر میزان دبی و رسوب روی الگوی جریان نیز تأثیر داشته است. بررسی تصاویر ماهواره‌ای حاکی از الگوی شریانی برای سال‌های قبل از احداث سد است. این الگو برای سال‌های بعد از احداث سد به الگوی مئاندری تبدیل گشته که این الگو نیز در حال تغییر است. بدین صورت که تعداد پیچ و خم‌های رودخانه از نظر کمی در حال افزایش بوده اما از نظر اندازه مئاندرها در حال کوچک شدن می‌باشند که نشان دهنده نزدیک شدن رودخانه به الگوی مستقیم است.

منابع

- اعلمی، محمدتقی و همکاران. ۱۳۸۷. تأثیر احداث سد شهید مدنی (ونیار) بر مورفولوژی پایین دست، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، ۲۳ تا ۲۵ مهر، دانشگاه تبریز، صص. ۱۰-۱.
- بریج، جان. اس. ۱۳۸۷. رودخانه‌ها و دشت‌های سیلابی، جلد اول: دینامیک و فرایندها، ترجمه‌ی محمد حسین رضایی مقدم، مهدی ثقفی، چاپ اول، انتشارات سمت، تهران.
- بیاتی خطیبی، مریم. ۱۳۸۷. بررسی نحوه‌ی تأثیر سد سهند بر تغییر مورفولوژی بستر جریان رودخانه‌ی قرقو، بر ویژگی‌های فرسایشی و رسوبگذاری آن: مطالعه‌ی موردی حوضه‌ی قرقوچای، دامنه‌های شرقی کوهستان سهند، مجله‌ی جغرافیا و توسعه، شماره‌ی ۱۱، صص. ۲۲۰ - ۱۹۹.

- حسین زاده، محمد مهدی؛ نوحه گر، احمد. ۱۳۸۵. اثرات احداث سد بر هیدرودینامیک و تغییرات بستر رودخانه‌ی میناب، نشریه‌ی علمی - پژوهشی انجمن جغرافیایی ایران، شماره‌ی ۱۰ و ۱۱، صص. ۷۶ - ۵۷.
- رستم‌زاده، هاشم. ۱۳۸۳. تأثیر احداث سدهای مخزنی بزرگ در تغییر کاربری اراضی در محدوده‌ی سد ستارخان اهرچای، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دکتر فرج زاده، جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.
- ریچاردز، کیث. ۱۳۸۴. رودخانه‌ها - اشکال و فرایندهای آبراهه‌های ابرفتی، ترجمه‌ی کریم سلیمانی، میرخالق ضیاء تبار احمدی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه مازندران، مازندران.
- Alami, M.T. & client., 2008, **the Influence of the Vaniar Dam on the Downstream Morphology of River**, the Third Confrance of Water Management of Iran, Tabriz Univercity, PP. 1-10.
- AL-Ansari, N.A., Rimawi, O., 1997, **the Influence of the Mosul Dam on the Bed Sediments and Morphology of the River Tigris- Human Impact on Erosion and Sedimentation**, (Proceedings of Rabal Symposium S6, April 1997), IAHS Publ, PP. 245-291-300.
- Bayati Khatibi, M., 2008, **the Influence of the Sahand Dam on the Morphological Changes of River Bed, Sediment and Erosion, Gharanghou Chai Catchment, East of Sahand Mountain, North West of Iran**, Journal of Geography and Regional Development Research, No 11, PP. 199-220.
- Brige, J., S., 2008, **Rivers and Flood Plains**, Translated by Rezaee Moghadam, M.H., Saghafi, M., First Edition, Samt Press, Tehran.
- Davis, G., Nicholas, M. D., Hannigan, T. M., 2003, **Effects of Project Operations on Geomorphic Processes Downstream of Oroville Dam**, Oroville Facilities Relicensing, No. 2100, PP.1-60.
- Gordon, E., Meentemeyer, R.K., 2006, **Effects of Dam Operation and Land Use on Stream Channel Morphology and Riparian Vegetation**, Geomorphology, Vol. 82, No. 3/4, PP. 412-429.
- 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, Copyright 2003 by the American Geophysical Union, Vol. 7, PP. 203-219.
- Hoseanzade, M., Nohegar, A., 2006, **the Impact of Dam Construction on Hydrodynamic and Bed Changes of Minab River**, Journal of Science and Technology of Iranian Geographical Association, No. 10/11, PP. 57-76.
- Khawaja, B.A., Sanchez, M., 2008, **Sedimentation Processes, River Morphology and Reservoir Modeling**, Xèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Sophia Antipolis, Doi: 10/5150/jngcgc, PP.739-749.
- Marstona, R.A., Millsb, J.D., Wrazienc, D.R., Bassettd, B., Splintere, D.K., 2005, **Effects of Jackson Lake Dam on the Snake River and its Floodplain, Grand Teton National Park, Wyoming, USA**, Geomorphology, Vol. 71, No. 1/2, PP.79-98.
- Richard, G., Julien, P., 2003, **Dam Impacts on and Restoration of an Alluvial River– Rio Grande, New Mexico**, International Journal of Sediment Research, Vol. 18, No. 2, PP. 89-96.
- Richard, K., 2005, **Rivers- landforms and Prosses of Aluvial Rivers**, Translated by: Soleymani, K, Ahmadi, M., First Edition, Mazandaran University Press, Mazandaran.

- Rostamzade, H., 2004, **Impact of Big Dam Construction on Land Use Change around Sattar Khan Dam on Ahar Chaie River**, M.Sc. Thesis, D.R Faraj Zade, Natural Geography, the University of Tarbiat Modares, Tehran.
- Saad, M.B.A., 2002, **Nile River Morphology Changes Due to the Construction of High Aswan Dam in Egypt**, Ministry of Water Resources and Irrigation, Egypt, PP. 1-14.
- Saleh Khan, A., Sohel Masud, M.D., Palash, W., 2005, **Hydrological Impact Study of Tipaimukh Dam of India on Bangladesh**, Institute of Water Modeling (IWM) Dhaka, Bangladesh.

*Morphologic Change Assessment of Riverbed Before and after Dam
Construction Using HEC RAS Model and GIS
(Case Study: Downstream of Satarkhan Dam)*

Ashouri M.*

Geomorphology Graduate, University of Tabriz

Rezaei Moghaddam M. H.

Prof., Dep. of Geomorphology, University of Tabriz

Piry Z.

Geomorphology Graduate, University of Tabriz

Received: 07/08/2012

Accepted: 21/04/2013

Extended Abstract

Introduction

Rivers are important sources of water supply in the world. So reduction of their water can impact on human life. This water supply is facilitated by dams as huge structures that save water and make big reservoirs behind. Dams are well known for influencing channel and vegetation dynamics downstream, but little work has focused on distinguishing effects of land use and channel responses to the impoundment. The impact of construction of dams and reservoirs on alluvial rivers extends both upstream and downstream of the dam. Downstream of dams, both the water and sediment supplies can be altered leading to adjustments in the river channel geometry and ensuing changes in riparian and aquatic habitats. Construction of large water structures such as dams across rivers may lead to considerable decrease in the flood discharge proportionate to structure size which will in turn result in lower flood probability. Assessment of the vulnerability of river boundary is of great importance due to their rich soil and easy access to irrigation water which makes such riverbank farms economically valuable especially in dry areas. The results of such assessment can be used in land use planning. In this paper, we examined the interacting effects of Satarkhan dam on downstream changes in channel morphology of Aharchai River. Satarkhan dam was constructed on the main stem of the

*E-mail: ashourim99@yahoo.com

Aharchai in 1998 for water supply, flood control and sediment retention. This dam is located between Ahar and Varzaghan city, eastern Azarbaijan, northwest of Iran.

Methodology

Base line data including mean annual sediment, mean daily discharge and cross sections data located downstream were collected from several sources. Dams influence the two primary factors—water and sediment—that settle the shape, size, and overall morphology of a river and represent fundamental interventions in the fluvial system. These data were calculated and estimated for two periods as before (1989-1997) and after (2003-2009) dam construction. To measure the cross sections changes, HEC RAS model and two hydrometric station's data (Oshdologh and Tazekand) were used to estimate mean discharge of the river and annual sediment transportation. Also satellite images SPOT 2006, aerial photos 1995 (scale, 1:40000) and 1:25000 map were used to study the changes in river path. These data were calculated in Arc map and the results represented as maps.

Results and Discussion

Prior to the construction of the Satarkhan, the total mean flow discharge measured at Tazekand and Oshdologh stations varied along the whole year, and ranged between 2.3 m³/s to 9.3 m³/s and 1.8 m³/s to 7.3 m³/s. The total annual sediment for these stations varied between 287000 to 100000 t/y and 275000 to 51000 t/y. As Satarkhan was completed, a complete control of the Aharchai River discharges was achieved and the channel has no longer been subjected to high floods. The flow rate of water also became under full control. Accordingly, the average annual discharge has been reduced by 63% and 61% at Tazekand and Oshdologh stations. Moreover, a substantial change in the sediment regime of the river downstream of the dam occurred, which in turn disturbed the stability of the hydraulic geometry of the river.

Conclusion

Changes in the release schedule for Satarkhan dam have led to a decline in the frequency and greatness of peak flows that trigger channel changes. The river is more stable some distance downstream from the sediment sources because of the decline in channel avulsion. But far from the dam, this influence is weak. On the other hand, a great change in the flow regime of the Aharchai River occurs downstream of the Dam, with it capturing all upstream flows early in the rainy season, most low flows, many larger flows and the reduction in magnitude of some floods that are released downstream. The change in flow regime is also likely to have caused a change in sediment load. Changes in the water and sediment regimes of the river resulted in channel adjustments in both the vertical and lateral dimensions. The channel pattern has shifted from a wide, braided shape with mid channel bars, to a single-thread straight and meandering planform. The channel pattern change was studied by comparing the SPOT satellite image and the aerial pictures for prior and after dam construction.

Keywords: *Catchment Area, River Morphology, HEC RAS, Cross Section, Satarkhan Dam.*