نشریه علمی

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

سال شانزدهم- شماره ٥٦- بهار ١٤٠١

Vol. 16, No. 56, Spring 2022

شبیه‌سازی تغییرات ریخت‌شناسی رودخانه در شرایط حذف سد وشمگیر-گرگانرود

سامان غفاری[1]، مهدی یاسی[2] و جواد فرهودی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۲۲

چکیده

حذف سد از روش‌های احیاء زیست‌بوم رودخانه است. در پژوهش حاضر، حذف سد وشمگیر بر روی رودخانه گرگانرود در استان گلستان، به‌دلیل حجم بالای رسوبات درون مخزن و پایان عمر مفید آن موردنظر قرار گرفت. سه سناریو جهت حذف سد وشمگیر انتخاب شد: ۱- حذف کامل (مشابه شکست ناگهانی سد در روز آفتابی با مخزن پر از آب)؛ ۲- حذف پله‌ای سرریز؛ و ۳- حذف با رسوبات پایدار. مدل‌سازی سه سناریو حذف سد مدل یک‌بعدی HEC-RAS برای جریان ناپایدار با انتقال رسوب در شش بازه با طول ۱۲۸ کیلومتر (از سد وشمگیر تا دهانه دریای خزر) انجام یافت. نتایج نشان داد که سناریو اول بیشترین میزان فرسایش و رسوب‌گذاری را در بازه‌های رودخانه ایجاد می‌کند. بیشترین رسوب‌گذاری در بازه اول (۲۱ کیلومتر پائین‌دست سد وشمگیر) و بیشترین فرسایش در بازه ششم (به‌سوی دریا) است. در سناریو دوم، شدت تغییرات بستر رودخانه کمتر شده؛ و بیشترین رسوب‌گذاری و فرسایش به ترتیب در بازه اول و پنجم روی خواهد داد. نتایج مدل‌سازی سناریو سوم، به دلیل شدت‌های کم فرسایش و رسوب‌گذاری، با عدم قطعیت همراه بود. سناریو دوم (حذف پله‌ای سرریز) به‌دلیل شدت تغییرات کمتر بستر و قابلیت بازتوانی تدریجی زیست‌بوم رودخانه، به‌عنوان بهترین گزینه پیشنهاد می‌گردد.

کلیدواژه‌ها: **تغییرات رودخانه، ساماندهی رودخانه، شکست سد، مدل‌سازی مرفولوژیکی رودخانه**

مقدمه

نقش انسان در فرآیندهای کره زمین، به‌ویژه در حوزه مدیریت پیکره‌های آبی به‌طور ویژه‌ای آشکارشده و بسیاری از دانشمندان و پژوهشگران علوم اجتماعی، محیط‌زیست، سیاست‌گذاران، در حال تحقیق بر روی موضوعاتی همچون مدیریت منابع آب و توسعه پایدار می‌باشند [۸]. این افراد در تلاش هستند تا راهکاری مناسب، جهت مقابله با چالش‌های متعدد در روابط بین علوم اجتماعی و آب، ارتباط آب با غذا و انرژی، کمبود آب، امنیت آبی و مسائل هیدروپلیتیک[4] بیابند [۱۶]. جوامع بشری به‌تدریج در کنار رودخانه‌ها شکل گرفته و برای تأمین آب، مواد غذایی، حمل و نقل، وجود خاک حاصل‌خیز کشاورزی و دفع مواد زائد، از رودخانه و موجودات آبزی و کنارزی آن استفاده کرده است. چنین بهره‌برداری علاوه بر اینکه نقش حیاتی رودخانه‌ها در جامعه را برجسته می‌کند، تأثیرات انسانی و منفی بر سامانه زیستی رودخانه‌ها را نیز نمایان می‌سازد. رابطه پیچیده بین انسان‌ها و رودخانه‌ها نتیجه وابستگی ریشه‌ای عمیق به رودخانه‌ها است که در نتیجه منجر به تبدیل مناظر طبیعی رودخانه‌ها به مناظر انسان‌ساخت و تغییریافته است. در حال حاضر، شناسایی سامانه‌های رودخانه‌ای که توسط سدها و دیگر مخازن ذخیره‌سازی آب، تحت تأثیر قرار نگرفته‌اند، دشوار است. بر اساس داده‌های مرکز جهانی مخازن و سدها، بیشترین تعداد مخازن و سدها[5] در جهان در کشور آمریکا قرار دارد و پس از آن کشورهای روسیه، هند و چین به ترتیب دارای بیشترین تعداد سدها می‌باشند [۵]. در بیشتر رودخانه‌ها، اقدامات انسان‌ساخت برای کنترل رژیم جریان (آب، رسوب و کیفیت)، کاهش خطرات و تغییرات رودخانه‌ای و بهره‌برداری از مناطق ساحلی و سیلاب‌دشت‌ها انجام یافته است. این اقدامات، فرآیندهای هیدرولوژیکی، ژئومورفیک و یا اکولوژیکی را در حوزه آبخیز برهم زده و کارکرد سامانه طبیعی رودخانه آسیب‌دیده یا به خطر افتاده است [۱۷]. تعدادی از محققان و متخصصان به مباحثی پیرامون ریخت‌شناسی رودخانه‌ها، بازتوانی و احیای اکولوژیکی-اجتماعی سامانه‌های آبی، به‌ویژه رودخانه‌ها و حوضه‌های آبخیز توجه فراوانی کرده‌اند [۱۵]. اولین اقدامات در زمینه بهره‌برداری از رودخانه‌ها که به‌نوعی در محدوده کارهای مهندسی رودخانه قرار می‌گیرد [۵]. اصلاح و تنظیم رودخانه در مقیاس بزرگ در ۵۰۰۰ سال پیش، در رودخانه‌های نیل، دجله و فرات و سند صورت گرفته است [٤]. قانون حمورابی پادشاه بابل که حدود ٤۰۰۰ سال قبل

۱ - دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، ایران
۲- نویسنده مسئول و دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، ایران. پست الکترونیک: m.yasi@ut.ac.ir
۳ - استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، ایران

4. Hydropolitics
5. Global Reservoir and Dam (GRanD)

به‌عنوان قانون پادشاه خوانده شد، شامل هشدارهایی در برابر باز کردن دریچه‌های آبگیر که سبب آب‌گرفتگی سیلاب‌دشت رودخانه می‌شد، بوده است [۱۶]. شاید آبگذرها آشکارترین آثار باقیمانده اروپاییان در قرون گذشته باشد. آبگذر متز پلی به طول بیش از یک کیلومتر و ارتفاع بیش از ۳۰ متر از رودخانه موزل عبور می‌کرده است [۸]. افزایش تقاضا برای آب سبب پیدایش دانش مهندسی سدها و همچنین ساخت سدهای بزرگ برای مصارف کشاورزی، آشامیدنی، صنعت و همچنین کنترل سیلاب، تولید برق و استفاده تفریحی و گردشگری و غیره شده است. سدهای مخزنی عامل قطع پیوستگی طولی سامانه رودخانه برای مهاجرت آبزیان گردیدند. همچنین با تغییر رژیم طبیعی جریان آب و رسوب، تنوع و تراکم جوامع بومی گیاهی و جانوری را در پائین‌دست از بین بردند. اثرات منفی محیط‌زیستی در برخی رودخانه‌ها، شرایط را برای حذف سد و احیای پایدار سامانه زیستی رودخانه را فراهم نمود. علاوه بر دلایل محیط‌زیستی، محدودیت عمر مفید سدها که با ایمنی و پایداری و اهداف اولیه ذخیره سازی آب در مخزن یا کنترل سیلاب پیوند دارد، از مهم‌ترین دلایل حذف یک سد بوده است. بطورکلی، مشکلات محیط‌زیستی و ایمنی مهم‌ترین عواملی هستند که یک سد در گذر زمان پیدا کرده و ممکن است که سبب حذف آن شود [۱۲]. کشورهای پیشتاز درزمینه‌ی حذف سدها را می‌توان ایالات‌متحده آمریکا، کانادا و فرانسه دانست [۷]. تا پایان سال ۲۰۱۷ نزدیک به ۵۰۰۰ سد در قاره‌های آمریکا و اروپا حذف‌شده است [۳]. شناخته‌شده‌ترین مورد از حذف سد مربوط به سد الوا با ارتفاع ۳۳ متر است که در سال ۲۰۱۲ و در ایالت واشنگتن تخریب شد (شکل ۱). رشد فزاینده حذف سدها در ایالات‌متحده از سال ۱۹۹۰ گزارش گردیده است [۱۲]. شرایط، اهداف و مالکیت ازجمله مسائل مهمی هستند که فرایند سیاسی و قانونی را برای حذف سد تعیین می‌کنند. در ایالات‌متحده آمریکا عموم سدهای حذف‌شده مربوط به سدهای کوچک و دارای مالکیت خصوصی بوده است. همچنین به این نکته می‌پردازند که فرانسه به‌عنوان کشور پیشرو در اتحادیه اروپا در زمینه حذف سد است. بر اساس تحقیقات تا سال ۲۰۲۰ بیش از ۸۰٪ سدهای ایالات‌متحده آمریکا عمر مفیدشان بیش از ۵۰ سال شده است [٤].

شکل ۱- سد الوا در قبل و بعد از حذف [۹]

Fig 1. Elwha Dam before and after of removal

مک‌بروم و همکاران نحوه مدیریت رسوب در پروژه‌های حذف سد را بر اساس چارچوب خود موردبررسی قراردادند. در پژوهش آن‌ها روشی عملی برای ارزیابی و انتخاب استراتژی‌های مدیریت رسوب در پروژه‌های حذف سد بر اساس تجارب به‌دست‌آمده از ۲۰ پروژه حذف سد، در طی یک دهه گذشته ارائه‌شده است. نمونه‌هایی از استراتژی‌های مدیریت رسوب برای انواع پروژه‌ها در این پژوهش موردبحث قرار گرفت [۷]. مدیریت رسوب در حذف سد به‌طورمعمول شامل چهار مرحله است [۱٤]: ۱) ارزیابی اولیه که شامل تخمین ویژگی‌های رسوب و حجم آن است، ۲) تخمین فرسایش احتمالی رسوب، ۳) ارزیابی تأثیرات رسوب در بالادست و پایین‌دست در بوم‌سازگان طبیعی و انسانی و ٤) ارزیابی تکنیک‌های مدیریت رسوب برای به حداقل رساندن میزان فرسایش. متزک با استفاده از تصاویر ماهوارهای و فناوری لیدار[1]، اثرات حذف سد مارتوت در سال ۲۰۰۷ بر روی رودخانه سندی در ایالت اورگان را بررسی نمود. نتایج حاصل از بررسی و بازدیدهای میدانی در هنگام مراحل اولیه حذف سد، نشان داد که ۱۲۵۰۰۰ مترمکعب از حجم رسوب در مدت‌زمان ٦۰ ساعت در پایین‌دست رودخانه رها شد [۱۳]. در طرح حذف سد، مدل‌سازی عددی در ارزیابی روند انتقال و ته‌نشینی رسوبات به پایین‌دست مخزن در وضعیت‌های متفاوت ازنظر سرعت و مدت‌زمان آزادسازی رسوبات ضروری است. سد وشمگیر بر روی گرگانرود، به دلیل به اتمام رسیدن عمر مفید آن و حجم بالای رسوبات درون مخزن، کارائی لازم را برای اهداف بهره‌برداری و کنترل سیلاب ندارد. هدف اصلی پژوهش حاضر شبیه‌سازی اثرات حذف سد وشمگیر در گرگانرود است. اهداف خاص پژوهش عبارت‌اند از: ۱) بررسی سناریوهای حذف سد وشمگیر با توجه به شرایط گرگانرود در پایین‌دست سد، ۲) مدل‌سازی یک‌بعدی جریان آب و انتقال رسوب گرگانرود در بازه مطالعاتی برای سناریوهای منتخب حذف سد و ۳) تحلیل تغییرات ریخت‌شناسی گرگانرود در صورت حذف سد وشمگیر.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

در این پژوهش رودخانه گرگانرود از سد وشمگیر تا مصب دریای خزر با طول ۱۲۸ کیلومتر بررسی گردید (شکل ۲). سد وشمگیر در شهرستان آق‌قلا در حدود ٤۵ کیلومتری شمال شرقی شهر آق‌قلا و حدود ۲ کیلومتری شمال شرقی روستای یلمه سالیان بر روی گرگانرود احداث گردیده است (شکل ۲). ساخت این سد در سال ۱۳٤۵ آغاز و در سال ۱۳٤۹ افتتاح شد. عمر مفید سد ۳۰ سال در نظر گرفته‌شده بود. ارتفاع سد ۲۰ متر و طول تاج سد ٤۳۰ متر بوده و سرریز سد قابلیت عبور ۹۳۵ مترمکعب در ثانیه سیلاب را دارد. محدوده مطالعاتی ازنظر تغییرات شیب طولی به ٦ بازه تقسیم‌شده است: ۱) از صفر تا ۵/۸ کیلومتر (از سد وشمگیر تا روستای یلمه

1. LiDAR

سولیان)؛ ۲) از ۵/۸ تا ٤٤ کیلومتر (از روستای یلمه‌سولیان تا ابتدای روستای قرنجیک پورامان)؛ ۳) از ٤٤ تا ۵۵ کیلومتر (از ابتدای روستای قرنجیک پورامان تا انتهای روستای سلاق یلقی)؛ ٤) از ۵۵ تا ۷۵ کیلومتر (از روستای سلاق-یلقی تا روستای دوگونچی)؛ ۵) از ۷۵ تا ۱۰۷ کیلومتر (از روستای روگونچی تا روستای سالک) و ٦) از ۱۰۷ تا ۱۲۸ کیلومتر (از روستای سالک تا دریای خزر).

شکل ۲- سد و سرریز سد وشمگیر
Fig 2. Voshmgir Dam and Spillway

داده‌های ریخت‌شناسی مورد نیاز

داده‌های این پژوهش عبارت‌اند از:۱) نقشه‌های پلان و مقاطع طولی و عرضی مخزن سد وشمگیر و گرگانرود، ۲) هیدروگراف‌های زمان بهره‌برداری سد وشمگیر، ۳) گزارش‌های فنی مطالعات گرگانرود، ٤) داده‌های آب‌سنجی (سری بده جریان)، سری آماری سیلاب‌ها، رسوب سنجی (بده جریان- رسوب معلق و بستر) در سه ایستگاه آب‌سنجی، ۵) داده‌های "بده- تراز آب" و یا "منحنی سنجه آب" گرگانرود در ایستگاه‌های آبسنجی موردنظر [۱۰]. جدول ۱ خلاصه‌ای از مشخصات ریخت‌شناسی گرگانرود در شش بازه مطالعاتی را ارائه می‌دهد [۱۰].

انواع سناریوهای حذف سد

در منابع موجود، تعداد پنج سناریو حذف سد معرفی شده است [۱۲و۱٤]. با توجه به شرایط خاص سد وشمگیر، سه سناریو قابل اجرا تشخیص داده شد. سه سناریو حذف سد وشمگیر عبارت است از: ۱) حذف کامل در روز آفتابی با مخزن پر، ۲) حذف پله‌ای از تاج سرریز، ۳) حذف با رسوب پایدار. در این تحقیق، مدل‌سازی هیدرودینامیکی برای سه سناریو منتخب انجام گردید.

حذف کامل در روز آفتابی و مخزن پر: در این رویکرد، روش مدل‌سازی به این‌گونه است که از افزونه‌های موجود مربوط به شکست سد[1] استفاده می‌شود. به این‌گونه که شرایط در پایین‌دست کنترل‌شده است. همچنین این شکست در روز آفتابی اتفاق افتاده و حجم آب داخل مخزن مشخص است. در این روش مدل‌سازی حجم مخزن پر در نظر گرفته می‌شود تا بیشترین حجم رسوبی که از مخزن تخلیه می‌شود را بتوان به دست آورد. هیدروگراف خروجی از سد نیز با توجه به محاسبات مدل‌سازی شکست سد به دست می‌آید و برای مدل‌سازی این روش حذف سد، نیازی به واردکردن هیدروگراف به مدل نمی‌باشد.

جدول ۱- مشخصات ریخت‌شناسی گرگانرود [۱۰]
Table 1. Morphological features of Gorganrud River

بازه Reaches	فاصله از دریای خزر Distance from Caspian Sea		محل Location	شیب متوسط Average slope	درجه ناهمواری Degree of roughness	ضریب زبری مانینگ Manning roughness coefficient
	شروع Start	پایان End				
1	128 (محل سد Dam location)	107	بستر Bed کناره Bank	0.00038	0.005 0.01	0.045 0.080
2	107	75	بستر Bed کناره Bank	0.00024	0.005 0.01	0.045 0.078
3	75	55	بستر Bed کناره Bank	0.00016	0.005 0.01	0.045 0.104
4	۵۵	44	بستر Bed کناره Bank	0.00016	0.005 0.01	0.045 0.065
5	44	5.8	بستر Bed کناره Bank	0.00012	0.005 0.01	0.040 0.086
6	5.8	0	بستر Bed کناره Bank	0.0001	0.005 0.01	0.040 0.065

از مزایا این روش، تخلیه حجم زیادی از آب و رسوب در مدت‌زمان بسیار کوتاه و مدل‌سازی آن ساده‌تر است. از معایب این روش نیز می‌توان به عدم کنترل بر حجم آب خروجی از سد اشاره کرد و اگر در پایین‌دست سد شهر، روستا، سازه‌های مهم و یا تأسیساتی وجود داشته باشد، به علت احتمال بروز خطرات جانی و مالی فراوان، امکان استفاده از این روش وجود ندارد. از این روش در شرایطی می‌توان استفاده نمود که: ۱) حجم مخزن سد بزرگ نباشد؛ ۲) رودخانه پایین‌دست سریع به یک رودخانه بزرگ‌تر، دریا

1. Dam failure

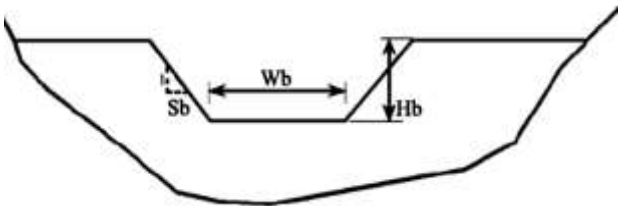
یا دریاچه بریزد؛ ۳) عدم وجود شهر، روستا و یا سازه‌های مهم در پایین‌دست سد و ٤) عدم تخریب در فصل تخم‌گذاری ماهی‌ها [۱۱]. در این سناریو فرض می‌شود که سد وشمگیر به‌صورت تدریجی شکسته می‌شود. بدین‌صورت که ابتدا یک شکاف کوچک در بدنه آن ایجادشده، و به‌تدریج گسترش می‌یابد. برای توصیف شکاف از پارامترهای ارتفاع شکاف (Hb)، عرض شکاف (Wb)، شیب دیواره‌های جانبی شکاف (Sb) و مدت‌زمان گسترش کامل شکاف، استفاده‌شده است (شکل ۳).

حذف پله‌ای از تاج سرریز: یکی پرکاربردترین رویکردها برای حذف سد، حذف پله‌ای از تاج سرریز است. در این سناریو حذف سد به‌صورت پله‌ای و از سرریز (تاج سرریز) شروع به حذف می‌شود و از ارتفاع سرریز به‌صورت پلکانی کاسته می‌شود. در این روش هیدروگراف تولیدشده باید به‌گونه‌ای باشد که حجم زیر هیدروگراف با مجموع حجم مخزن و حجم آب ورودی به مخزن در مدت‌زمان تخریب برابر باشد تا مدل‌سازی قابل‌اطمینان باشد. برای یافتن هیدروگراف از فرضیاتی استفاده شده است. در این روش به علت کنترل بیشتر روی حجم خروجی آب و رسوب از بروز اتفاقات پیش‌بینی‌نشده جلوگیری می‌شود. در این روش با دستگاه‌های مکانیکی به‌صورت پله‌ای تاج سرریز را تخریب نموده تا به پایین‌ترین سطح سرریز دست یافته شود. پس از تخریب تاج سرریز، ایجاد آبراهه در داخل رسوبات مخزن و تخلیه رسوبات، می‌توان بدنه سد را تخریب کرد. نکته مهم، حجم تخلیه رسوب بوده اما این امر در حالی است که مدت‌زمان تخلیه رسوب طولانی می‌باشد. در برخی از موارد حذف سد، به علت حساسیت پروژه و خطرات احتمالی، فرآیند تخریب تا چند سال نیز می‌تواند به طول بینجامد که در این مدت به‌آرامی بوم‌سازگان رودخانه در پایین‌دست احیاء می‌شود (شکل ٤).

مخزن خشک و ایجاد کانال (رسوب پایدار): این روش از روش‌های پرکاربرد حذف سد بوده و به علت خالی بودن مخزن سد در هنگام حذف، از نظر اجرا آسان‌تر می‌شود. این روش زمانی استفاده می‌شود که در بالادست سد یا سازه‌ای جهت انحراف آب ورودی به سد وجود داشته باشد. زمانی که جریان ورودی به سد به‌طور کامل تخلیه شد، باید فرصت خشک شدن رسوبات درون مخزن داده شود. پس‌ازآن اقدام به ایجاد مسیری جدید برای رودخانه و تثبیت رسوبات می‌شود (شکل ۵). بدنه سد در این روش برای کمک به تثبیت بهتر رسوبات در جای خود حفظ می‌شود. برای مدل‌سازی در این روش، هیدروگراف خروجی حذف سد همان هیدروگراف موجود در ایستگاه آبسنجی بالادست سد می‌باشد و نیازی به ایجاد هیدروگراف جدید نمی‌باشد. از مزایای این روش عبارتند از: ۱) امکان استفاده در سدهایی که رسوبات سمی در پشت سد وجود دارد ۲) ملاحظات فنی کمتر، ۳) حجم خروجی کمتر رسوبات، ۳) کنترل بر روند حذف سد و ٤) احیاء سریع‌تر بوم‌سازگان رودخانه. از معایب این روش نیز می‌توان به حجم زیاد خاک‌برداری و مشکلات تثبیت رسوبات اشاره کرد. از فضای ایجادشده بر روی رسوبات تثبیت‌شده می‌توان جهت ایجاد پارک، فضای آموزشی، ساخت نیروگاه‌های خورشیدی و یا کاشت درختان بومی و ایجاد منطقه محافظت‌شده نیز استفاده کرد.

واسنجی مدل

برای مدل‌سازی مدل HEC-RAS، از داده‌های سه ایستگاه آب‌سنجی پایین‌دست سد وشمگیر (وشمگیر، آق‌قلا و بصیرآباد) استفاده‌شد. جانمائی ایستگاه‌های آب‌سنجی بر روی گرگانرود در شکل ٦ نشان داده شده است. مشکل اساسی در این سه ایستگاه، نبود داده پس از سال‌های ۸٦–۸۷ بوده است. به همین دلیل بازه زمانی ۸۱–۸۲ تا ۸٦–۸۷ برای واسنجی مدل ریاضی انتخاب گردید. در خصوص ایستگاه بصیرآباد نیز داده‌های موجود تا سال ۸۲–۸۳ به‌طور کامل موجود بوده است. با توجه به موقعیت میانی ایستگاه بصیرآباد در بازه ۱۲۸ کیلومتری گرگانرود، از داده‌های موجود در دوره ۸۳–۸۱ ایستگاه بصیرآباد برای تدقیق واسنجی مدل ریاضی استفاده گردید. به‌طور نمونه، درصد اختلاف بین تراز آب محاسباتی و مشاهداتی در ایستگاه آب‌سنجی سد وشمگیر در جدول شماره ۲ ارائه‌شده است.



شکل ۳- پارامترهای سناریو حذف کامل سد

Fig 3. Parameters in fully dam removal scenario

شکل ٤- حذف سد به روش پله‌ای بر روی سرریز سد وشمگیر

Fig 4. Stepped dam removal of Voshmgir Dam spillway

شکل ۵- حذف جزئی سد از سرریز سد وشمگیر

Fig 5. Cutting location of the Vashmgir Dam spillway

شکل ٦- موقعیت ایستگاه‌های آب‌سنجی بر روی گرگانرود

Fig 6. Voshmgir, Aq-Qala, and Basirabad Stations

جدول ۲- اختلاف تراز سطح آب محاسباتی و مشاهداتی در ایستگاه سد وشمگیر

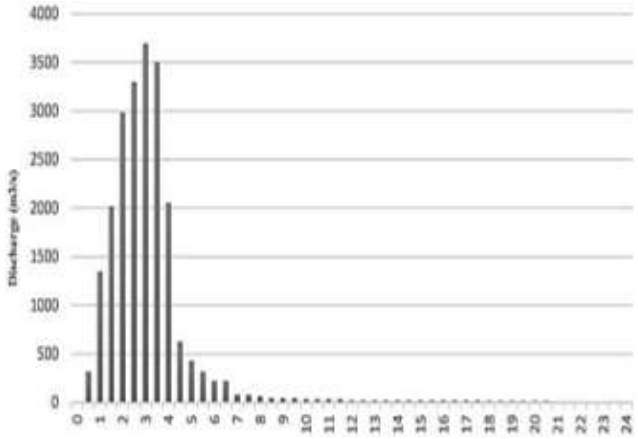
Table 2. Difference between computed and observed water levels at Voshmgir Dam Station

سال آبی Year	بده Discharge	مشاهداتی Observed	محاسباتی Computed	درصد خطا Error (%)
81-82	5.1	1.30	1.60	18.7
81-82	3.6	1.13	1.15	1.7
82-83	1.3	0.72	0.7	-2.8
82-83	80.0	4.40	4.65	5.3
82-83	2.3	0.89	0.87	-2.3
82-83	6.0	1.31	1.60	18.1
86-87	19.9	2.70	2.95	8.4

نتایج

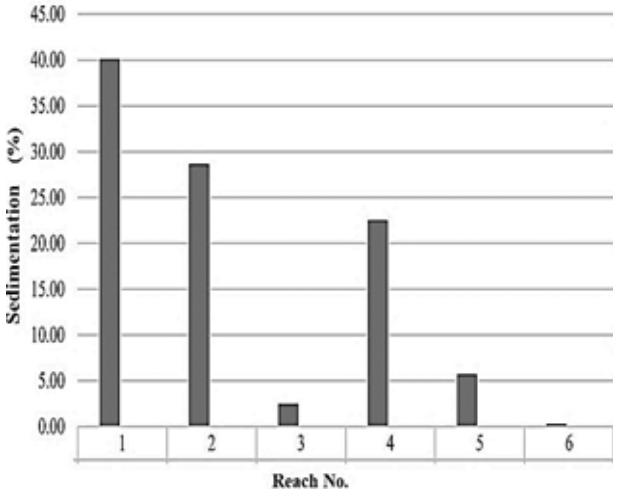
حذف سد وشمگیر (سناریو اول: حذف کامل سد)

در این سناریو، مدل‌سازی حذف سد بر اساس شکست سد وشمگیر انجام شده است. در ابتدا شکست سد توسط مدل HEC-RAS اجرا شده است و هیدروگراف مستخرج از آن در مدل حذف سد استفاده گردید (شکل ۷). در سناریو اول درصد رسوب‌گذاری هر کدام از بازه‌ها به کل میزان رسوب‌گذاری در طول مسیر رودخانه در شکل ۸ مشاهده می‌شود. بر اساس این شکل، بیشترین درصد از رسوب‌گذاری در بازه اول (از سد وشمگیر: کیلومتر ۱۲۸ تا ۱۰۷) مشاهده شده و کمترین میزان رسوب‌گذاری در بازه‌های سوم، پنجم و ششم دیده می‌شود. دلیل آن که در این سناریو در بازه‌های اول و دوم رسوب‌گذاری بیشتری نسبت به دیگر بازه‌ها دیده می‌شود آن است که نوع حذف سد در این سناریو که بر اساس شکست سد می‌باشد که سبب انتقال و آزادسازی حجم عظیمی از رسوبات به یک‌باره بوده که این میزان از رسوبات در بازه‌های ابتدایی ته‌نشست می‌کنند. به دنبال رسوب‌گذاری که در طول رودخانه به دلیل آزادسازی رسوبات پشت مخزن سد وشمگیر اتفاق می‌افتد، عمل فرسایش نیز در بازه‌های اول تا ششم با مقادیر متفاوت را می‌توان شاهد بود. در شکل ۹ میزان فرسایش در هر کدام از بازه‌های مطالعاتی در سناریو اول را نشان می‌دهد. بیشترین میزان فرسایش بر اساس این سناریو در بازه ششم اتفاق افتاده است و به ترتیب در بازه‌های اول، چهارم، دوم، پنجم و سوم فرسایش از بیشترین تا کمترین رخ داده است. با توجه به آن که مدل‌سازی این سناریو در زمان حذف صورت گرفته است، نتایج میزان رسوب‌گذاری و فرسایش را در مدت زمان حذف نشان می‌دهد. درحالی‌که در یک رودخانه، پس از مدتی، فرسایش در بازه‌های ابتدایی (بازه‌های پایین‌دست سد وشمگیر) رخ داده و رسوب‌گذاری نیز در بازه‌های انتهایی (بازه‌های نزدیک به مصب دریای خزر) به دلیل شیب بسیار کم منطقه در نزدیکی مصب دریا، رخ می‌دهد. در این سناریو در بازه‌های مطالعاتی ششم فرسایش بیشترین میزان را نسبت به دیگر بازه‌ها داشته و پس از بازه ششم میزان رسوب‌گذاری کاهش یافته و در بازه پنجم تا سوم (کیلومتر ۱۰۷ تا ٤٤) فرسایش رخ داده است. بیشترین میزان فرسایش در این سناریو در بازه‌های انتهایی دیده می‌شود.



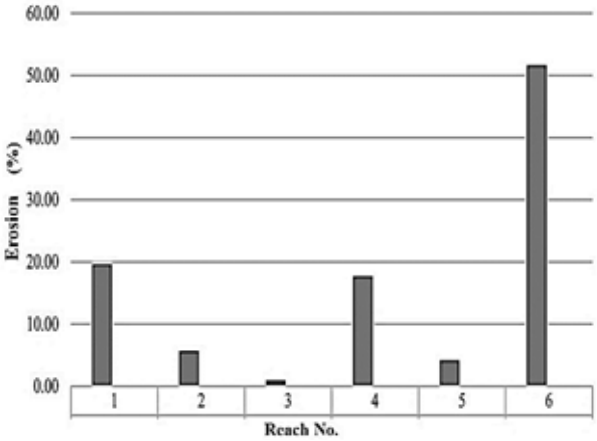
شکل ۷- هیدروگراف خروجی سد وشمگیر در سناریو اول

Fig 7. Outflow hydrograph of Voshmgir Dam in the first scenario



شکل ۸ – رسوب‌گذاری در شش بازه رودخانه در سناریو اول

Fig 8. Sedimentation in the six river reaches in the first scenario

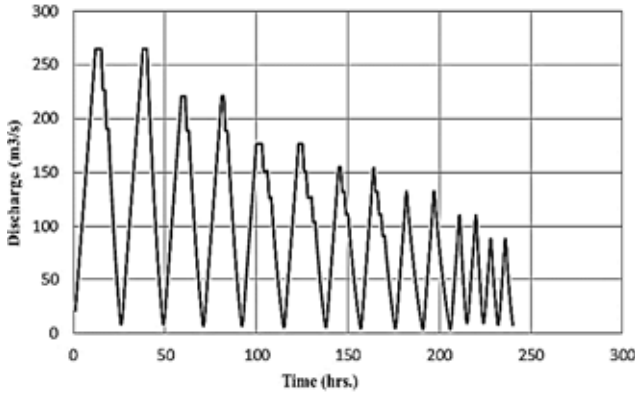


شکل ۹ – فرسایش در شش بازه رودخانه در سناریو اول

Fig 9. Erosion in the six river reaches in the first scenario

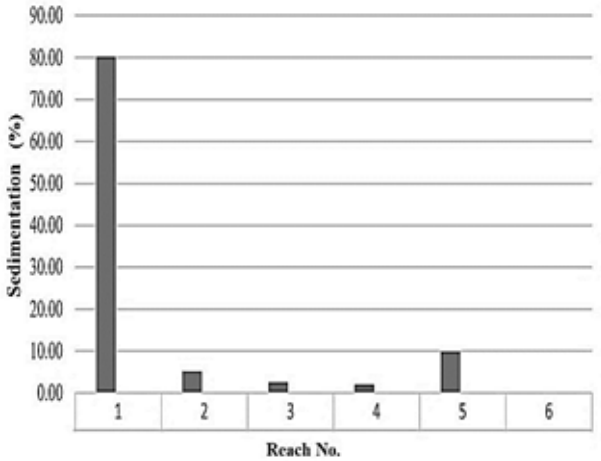
حذف سد وشمگیر (سناریو دوم: حذف پله‌ای سرریز)

در این سناریو، شکل سرریز سد مستطیلی فرض شده است. در ابتدا هیدروگراف موردنظر تولید شد که در شکل ۱۰ نمایش داده‌شده است. در سناریو دوم درصد رسوب‌گذاری هرکدام از بازه‌ها به‌کل میزان رسوب‌گذاری در طول مسیر رودخانه در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود. بر اساس این شکل بیشترین درصد از رسوب‌گذاری در بازه اول (از سد وشمگیر: کیلومتر ۱۲۸ تا ۱۰۷) مشاهده شده و کم‌ترین میزان رسوب‌گذاری در بازه‌های دوم، سوم، چهارم، پنجم و ششم دیده می‌شود. دلیل آن‌که در این سناریو در بازه اول رسوب‌گذاری بیشتری نسبت به دیگر بازه‌ها دیده می‌شود آن است که نوع حذف سد در این سناریو که بر اساس حذف پله‌ای سد می‌باشد، سبب انتقال و آزادسازی حجم عظیمی از رسوبات به‌یک‌باره بوده که این میزان از رسوبات در بازه اول انباشته‌شده و سپس در دیگر بازه‌ها نشست می‌کنند.



شکل ۱۰- هیدروگراف خروجی مخزن در سناریو دوم حذف سد

Fig 10. Reservoir outlet hydrograph in the second scenario

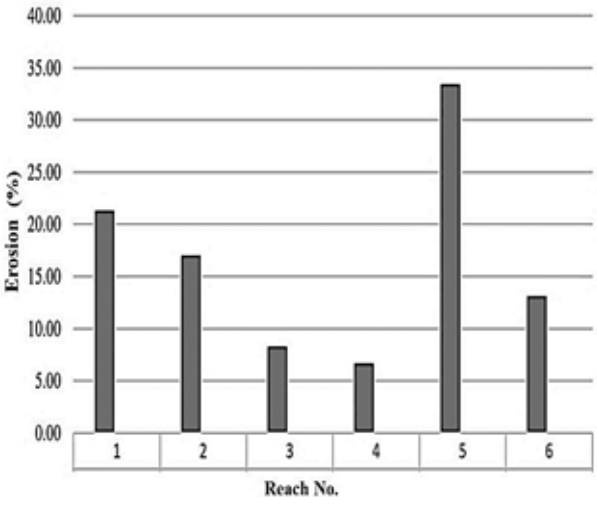


شکل ۱۱- رسوب‌گذاری در شش بازه رودخانه در سناریو دوم

Fig 11. Sedimentation in the six river reaches in the second scenario

پس از رسوب‌گذاری، فرسایش در بستر رودخانه نیز رخ داده است. عمل فرسایش که در طول رودخانه به دلیل آزادسازی رسوبات پشت مخزن سد وشمگیر اتفاق می‌افتد، در بازه‌های اول تا ششم، مقادیر متفاوتی را دارد. در شکل ۱۲ می‌توان فرسایشی که در هرکدام از بازه‌های مطالعاتی در سناریو اول اتفاق افتاده است مشاهده کرد. بیشترین میزان فرسایش بر اساس این سناریو در بازه پنجم اتفاق افتاده است و به ترتیب در بازه‌های اول، دوم، چهارم و سوم، از بیشترین تا کمترین میزان فرسایش رخ‌داده است. با توجه به آن‌که مدل‌سازی این سناریو در زمان حذف صورت گرفته است، نتایج میزان رسوب‌گذاری و فرسایش را در مدت‌زمان حذف نشان می‌دهد. این امر در حالی است که با توجه به ماهیت ریخت‌شناسی یک رودخانه، پس از مدتی، فرسایش در بازه‌های ابتدایی (بازه‌های پایین‌دست سد وشمگیر) رخ‌داده و رسوب‌گذاری نیز در بازه‌های انتهایی (بازه‌های نزدیک به مصب دریای خزر، به دلیل شیب بسیار کم منطقه) در نزدیکی مصب دریا، رخ می‌دهد. در این سناریو

تنها در بازه ششم بیشترین میزان رسوب‌گذاری رخ‌داده است. در دیگر بازه‌ها نسبت به سناریو اول میزان رسوب‌گذاری کمتر بوده و فرسایش بستر در حد متوسط و تا انتهای مسیر وجود داشته است.

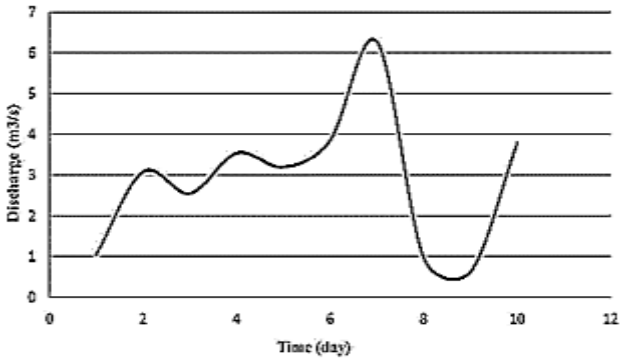


شکل ۱۲- فرسایش در شش بازه رودخانه در سناریو دوم

Fig 12. Erosion in the six river reaches in the second scenario

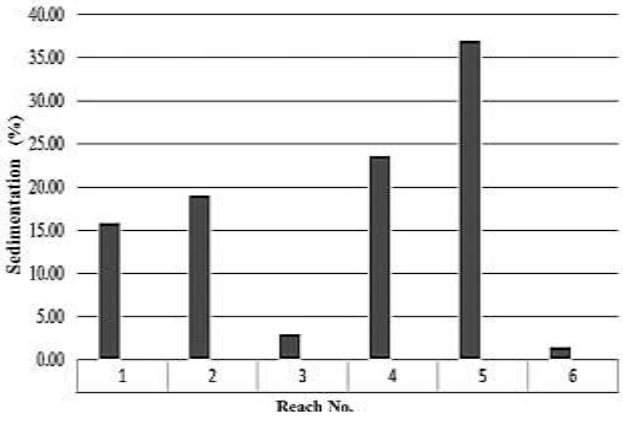
حذف سد وشمگیر (سناریو سوم: رسوب پایدار)

این سناریو که شرط اجرای آن خالی بودن مخزن سد از آب در هنگام حذف است، به لحاظ فنی آسان‌تر است. در این روش با ایجاد کانالی درون سرریز سد و هدایت آن به آبراهه اصلی در پایین‌دست جریان آب سد از آن تخلیه‌شده که با این کار مانع از ورود رسوبات به پایین‌دست می‌شود. هیدروگراف مورد استفاده در مدل‌سازی در این روش، هیدروگراف موجود در ایستگاه آب‌سنجی بالادست سد بوده، درنتیجه نیازی به ایجاد هیدروگراف جدید نمی‌باشد. جهت مدل‌سازی این روش هیدروگراف آب خروجی ایستگاه آب‌سنجی بالادست سد وشمگیر (ایستگاه آب‌سنجی قزاقلی) استفاده شد. جریانی که از بالادست به پایین‌دست می‌آید ذخیره نشده و درنتیجه هیدروگراف آب خروجی از محل سد وشمگیر همان هیدروگراف بالادست می‌باشد. در مدل‌سازی این سناریو، حجم ذخیره سد، صفر در نظر گرفته شده و به‌تبع از هیدروگراف ورودی به سد استفاده می‌شود. در شکل ۱۳ هیدروگراف ایستگاه بالادست سد (ایستگاه قزاقلی) در بازه زمانی ۸۶-۸۷ نمایش داده‌شده است. اجرای این سناریو که در آن مخزن سد در هنگام حذف از آب خالی است، از نظر فنی و اجرا آسان‌تر است. در این روش با ایجاد کانالی درون سرریز سد و هدایت آن به آبراهه اصلی در پایین‌دست جریان آب سد از آن تخلیه‌شده که مانع از ورود رسوبات به پایین‌دست می‌شود. در مدل‌سازی این سناریو، حجم ذخیره سد صفر در نظر گرفته‌شده و از هیدروگراف ورودی به سد استفاده می‌شود. لذا برای شرایط مرزی بالادست از هیدروگراف ایستگاه بالادست سد (ایستگاه آب‌سنجی قزاقلی) استفاده شد. در سناریو سوم، میزان رسوب‌گذاری (درصد) هرکدام از بازه‌ها به‌کل میزان رسوب‌گذاری در طول مسیر رودخانه در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود. بر اساس این شکل بیشترین درصد رسوب‌گذاری در بازه پنجم مشاهده شده و کمترین میزان رسوب‌گذاری به میزان تقریباً برابر در دیگر بازه‌ها مشاهده می‌شود. در این سناریو به دلیل آن که مقدار بسیار کمی از رسوب به پایین‌دست منتقل می‌شود، نسبت به دو سناریو اول و دوم تغییرات رسوب‌گذاری وجود ندارد و بر اساس آنچه در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود، میزان فرسایش نیز برابر با میزان رسوب‌گذاری می‌باشد. عدم نوسانات دو عمل رسوب‌گذاری و فرسایش در این سناریو، پایدارسازی رسوب در پشت مخزن سد می‌باشد. در این سناریو در بازه‌های مطالعاتی ششم فرسایش بیشترین میزان را نسبت به دیگر بازه‌ها داشته و پس از بازه ششم میزان رسوب‌گذاری کاهش‌یافته و در بازه پنجم تا سوم (کیلومتر ۱۰۷ تا ٤٤) فرسایش رخ‌داده است. بیشترین فرسایش در این سناریو در بازه‌های انتهایی دیده می‌شود.



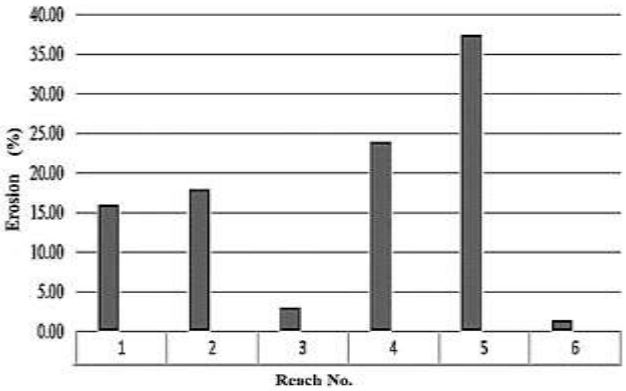
شکل ۱۳- هیدروگراف بالادست سد وشمگیر در سناریو سوم

Fig 13- Hydrograph of the upstream of Vashmgir Dam in the third scenario



شکل ١٤- رسوب‌گذاری در شش بازه رودخانه در سناریو سوم

Fig 14. Sedimentation in the six river reaches in the third scenario



شکل ۱۵- فرسایش در شش بازه رودخانه در سناریو سوم

Fig 15. Erosion in the six river reaches in the third scenario

تفاوت سناریوهای حذف سد

تفاوت سناریوهای حذف سد از دو منظر انتقال رسوبات و تغییرات خط‌القعر مورد بررسی قرار گرفته است.

انتقال رسوبات: سه سناریو حذف سد وشمگیر شامل (سناریو حذف کامل، سناریو حذف پله‌ای و رسوب پایدار) بررسی گردید. هر سناریو در صورت اجرا ازنظر میزان بار ورودی به بستر پایین‌دست، میزان رسوب‌گذاری در مقاطع و میزان فرسایش نیز با یکدیگر متفاوت می‌باشند. هر سناریو دارای مزایای و معایب مخصوص به خود است. در سناریو دوم به دلیل آن‌که حذف به‌صورت پله‌ای صورت گرفته، اجازه رسوب‌گذاری و نشست رسوبات در هر مقطع حذف پله‌ای به رسوبات داده می‌شود. درنتیجه حجم بسیاری از رسوبات در طول مسیر رودخانه در پایین‌دست نشست کرده و تفاوت بسیاری با سناریو دیگر (سناریو اول و سوم) دارد. همچنین در سناریو اول مشاهده شد که به دلیل شکافت یک‌باره و حذف کامل سد (مشابه شکست سد) حجم بسیاری از رسوبات مخزن به پایین‌دست منتقل می‌شود. درنتیجه میزان رسوب‌گذاری در طول مسیر رودخانه و در بازه‌های اول تا چهارم پخش‌شده است. در مقایسه با سناریو دوم، میزان رسوبات در مقطع اول کمتر نیز بوده است (بار بستر در مقطع اول بر اساس سناریو دوم: ٤٥٧٢٤٦ تن بار بستر در مقطع اول بر اساس سناریو اول: ۳۷۹۶۲ تن). در سناریو سوم، به دلیل خشک شدن بخش بزرگی از رسوبات در پشت مخزن، انتقال رسوبات به پایین‌دست بسیار اندک است. اثر آن در تغییر ریخت‌شناسی گرگانرود در صورت حذف سد کم است. پس از افزایش میزان بار بستر در سه سناریو میزان تغییرات بار بستر به تعادل می‌رسد.

تغییرات ارتفاعی خط‌القعر: در سه سناریو به دلیل آن‌که نوع روش حذف سد متفاوت بوده، درنتیجه تغییراتی که در خط‌القعر بستر اتفاق می‌افتد نیز متفاوت می‌باشد. در سناریو اول میزان تغییرات ارتفاعی خط‌القعر نسبت دو سناریو دیگر بسیار بیشتر است که به دلیل آزادسازی ناگهانی رسوبات پشت مخزن به دلیل حذف ناگهانی (بر اساس شکست سد) می‌باشد. در سناریو دوم، در اولین مقطع رسوب‌گذاری بسیار زیادی نسبت به دو سناریو دیگر صورت گرفته است که دلیل آن حذف پله‌ای سرریز سد می‌باشد؛ به‌طوری‌که با شروع تخریب سرریز به‌صورت پلکانی، حجم عظیمی از رسوبات همراه با جریان از مخزن آزادشده و در ابتدای مسیر نشست می‌کنند و رفته‌رفته میزان تغییرات ارتفاعی خط‌القعر کاهش می‌یابد. در سناریو سوم که اساس آن پایداری و نگهداشت رسوب در پشت مخزن است، میزان تغییرات ارتفاعی خط‌القعر بسیار نامحسوس بوده و تغییراتی در بستر رودخانه در کل مسیر مشاهده نمی‌گردد. دلیل این امر نگهداشت حجم عظیمی از رسوب در پشت مخزن سد است که کمترین تأثیر را در پایین‌دست رودخانه می‌گذارد. در سناریو اول (حذف کامل سد در روز آفتابی با مخزن پر) میزان رسوب‌گذاری نسبت به فرسایش، در بازه‌های شش الی چهار (کیلومتر ۱۲۸ تا ۵۵) بیشتر بوده است. در این سناریو با توجه به آزادسازی یک‌باره جریان و رسوب به دلیل تخریب کامل سرریز، در بازه‌های ابتدایی از سد وشمگیر تغییرات چشم‌گیری در ریخت‌شناسی رودخانه رخ می‌دهد. در سناریو دوم (حذف پله‌ای سد) برخلاف سناریو اول، میزان فرسایش و رسوب‌گذاری کمتر بوده و به دلیل آن که در مقاطع زمانی مشخص، سرریز سد به‌صورت پلکانی تخریب می‌شود، درنتیجه جریان و رسوب آزادشده زمان ته‌نشینی در طول مسیر را پیدا کرده و با هر مرحله از تخریب سرریز به‌صورت پله کانی به رسوبات فرصت ته‌نشینی در بازه‌های ابتدایی از سد داده می‌شود. درنتیجه رودخانه زمان رسیدن به تعادل ریخت‌شناسی را پیدا می‌کند. در مقایسه سناریو دوم با سناریو اول، تغییرات ارتفاعی خط‌القعر رودخانه در این سناریو از روند منظم‌تری برخوردار است. در سناریو سوم (رسوب پایدار)، با توجه به آن‌که در پشت مخزن رسوبات انباشته و به رودخانه پایین‌دست انتقال پیدا نمی‌کند، نسبت به دو سناریو دیگر، کمترین میزان فرسایش و رسوب‌گذاری را شاهد هستیم. در برخی از مقاطع که فرسایش و رسوب‌گذاری اتفاق افتاده است، به دلیل آزادسازی جریانی است که از طریق حفر مجرایی در بدنه سرریز انتقال‌یافته‌اند. با توجه به میزان فرسایش و رسوب‌گذاری در بازه‌های شش‌گانه صورت گرفته، سناریو دوم (حذف پله‌ای) به دلیل میزان تاثیرات از منظر تغییرات خط‌القعر و ایجاد تنش‌های متعادل در یک بازه زمانی طولانی مدت، به عنوان بهترین سناریو انتخاب می‌گردد؛ زیرا در سناریوهای اول (حذف کامل سد در یک زمان) و سوم (رسوب پایدار)، تنشی که به رودخانه وارد می‌شود خارج از کنترل است (بسیار زیاد است یا بسیار کند و زمان‌بر است)، به همین دلیل سناریو دوم، سناریو برتر است.

به طور کلی سناریو حذف کامل سد بر اساس مبانی شکست سد صورت می‌گیرد و از هیدروگراف خروجی از شکست سد در مدل‌سازی استفاده گردید. در این سناریو، بیشترین تغییرات ارتفاعی در کف بستر، تراز سطح آب و آورد رسوب اتفاق می‌افتد. با توجه به جایگاه سد وشمگیر و شرایط اقلیمی منطقه مطالعاتی، امکان حذف

سد وشمگیر بر اساس این سناریو نسبت به دو سناریو دیگر تبعات بیشتری از نظر حجم بیشتر رسوب‌گذاری و فرسایش بیشتر و در نتیجه آن، تغییر بیشتر ریخت‌شناسی رودخانه در زمان کمتری را دارد. در سناریو دوم حذف سد که بر اساس حذف پله‌ای از تاج سرریز است، تغییرات ارتفاعی خط‌القعر، تراز سطح آب و میزان بار بستر نسبت به دو سناریو دیگر در حالت متوسط قرار دارد. این سناریو نسبت به سناریو اول از مقدار رسوب‌گذاری و فرسایش کمتری در پایین‌دست برخوردار است. از مزایای این روش می‌توان به کاربرد آن در مناطقی که در پایین‌دست سد شهر یا سازه‌های مهم وجود دارد، اشاره کرد و همچنین زمان تخریب و حذف سد نسبت به دو روش دیگر دارای مقدار متوسطی بوده و قابلیت برنامه‌ریزی برای حذف بهینه سد و کنترل شرایط در پایاب وجود دارد. در سناریو سوم که بر اساس ایجاد کانال در سرریز (رسوب پایدار) است، تقریباً هیچ‌گونه رسوبی به پایین‌دست منتقل نمی‌شود. این روش زمانی قابل کاربرد است که مخزن کوچک و رسوبات مخزن دارای ترکیبات سمی بوده و یا برای بوم‌سامانه پایین‌دست رودخانه زیان‌آور باشد. اگرچه این سناریو نسبت به دو سناریو دیگر از میزان تغییرات بسیار کمتری در پایین‌دست برخوردار است، اما ماهیت پدیده حذف سد (شامل بازگشت بوم‌سامانه به حالت گذشته خود) به‌طور کامل انجام‌نشده و رسوبات در مخزن باقی می‌ماند که برای آن حجم از رسوبات بایستی شرایط خاصی جهت بهره‌برداری از آن فراهم گردد. در میان ٦ بازه مطالعاتی رودخانه، بیشترین میزان رسوب‌گذاری در هر سه سناریو در بازه اول (از سد وشمگیر تا فاصله ۱۰۷ کیلومتر) رخ می‌دهد. همچنین بیشترین میزان فرسایش در دو بازه انتهایی پنجم و ششم (از کیلومتر ٤٤ تا ۵/۸ و ۵/۸ تا ۰) در سه سناریو رخ‌داده است. میزان حجم بالای رسوب در مخزن سد وشمگیر عامل رسوب‌گذاری بیشتر در بازه‌های ابتدایی است.

در هر سه سناریو، میزان فرسایش و رسوب‌گذاری در بازه‌های چهارم و سوم (از کیلومتر ۷۵ تا ۵۵ و ۵۵ تا ٤٤) متوسط بوده و در بازه‌های ابتدایی (از کیلومتر ۱۲۸ تا ۷۵) بیشترین رسوب‌گذاری و بازه‌های انتهایی (کیلومتر ٤٤ تا ۵/۸ و ۵/۸ تا ۰) بیشترین فرسایش رخ‌داده است. با توجه به میزان فرسایش و رسوب‌گذاری در بازه‌های شش‌گانه گرگانرود، سناریو دوم (حذف پله‌ای) به دلیل کاهش اثرات از منظر تغییرات خط‌القعر و بازتوانی تدریجی در یک بازه زمانی طولانی مدت، به عنوان بهترین سناریو انتخاب می‌گردد.

بحث و نتیجه‌گیری

مخزن سد وشمگیر در حال حاضر از کارایی خود خارج‌شده و بیش از ٦٤ درصد حجم مخزن را رسوب فراگرفته است. حذف سد وشمگیر بر روی گرگانرود به دلیل به اتمام رسیدن عمر مفید آن و همچنین حجم بالای رسوبات درون مخزن، مورد مطالعه قرار گرفت. هدف اصلی، شبیه‌سازی تغییرات ریخت‌شناسی رودخانه در پایین‌دست و به طور خاص تحلیل میزان فرسایش و رسوب‌گذاری در سناریوهای مختلف حذف سد بوده است. محدوده موردمطالعه در این تحقیق از سد وشمگیر تا مصب دریای خزر به طول ۱۲۸ کیلومتر است. به دلیل اختلاف شیب و نوع ریخت‌شناسی رودخانه، مسیر به شش بازه مطالعاتی تقسیم گردید. از مدل HEC-RAS برای شبیه‌سازی جریان آب و انتقال رسوب در شرایط حذف سد استفاده گردید. سه سناریو مورد آزمون قرار گرفت: سناریو اول: حذف کامل سد در روز آفتابی و مخزن پر، سناریو دوم: حذف پله‌ای سد و سناریو سوم: حذف با رسوب پایدار. دقت برآورد میزان رسوب‌گذاری و فرسایش در سناریو اول با نتایج سدی مشابه سد وشمگیر در دیگر تحقیقات همسان بوده است. در سناریو دوم با توجه به حذف پله‌ای سرریز سد، میزان انتقال رسوبات در بازه‌های پائین‌دست کاهش پیداکرده و شدت آن بسیار کمتر از سناریو اول است. مدل‌سازی میزان تغییرات ریخت‌شناسی در سناریو سوم نتایج قابل قبولی نداشته است، زیرا حجم انتقال رسوبات به پایین‌دست رودخانه بسیار کم است. همچنین در هر سه سناریو، میزان فرسایش و رسوب‌گذاری در بازه‌های چهارم و سوم (از کیلومتر ۷۵ تا ۵۵ و ۵۵ تا ٤٤) متوسط بوده و در بازه‌های ابتدایی (از کیلومتر ۱۲۸ تا ۷۵) بیشترین رسوب‌گذاری و بازه‌های انتهایی (کیلومتر ٤٤ تا ۵/۸ و ۵/۸ تا ۰) بیشترین فرسایش رخ‌داده است. بهترین و کاراترین گزینه، سناریو دوم بوده است که حجم قابل‌توجهی از رسوبات را به آرامی و به‌صورت مرحله‌ای از مخزن به پایین‌دست انتقال می‌دهد. درنتیجه کم‌ترین میزان تنش را به رودخانه در بازه‌های پایین‌دست وارد می‌کند.

تشکر و قدردانی

از سازمان آب منطقه‌ای استان گلستان، سازمان محیط‌زیست استان گلستان، موسسه آب دانشگاه تهران به جهت همکاری در تأمین بخشی از داده‌ها و اطلاعات موردنیاز این مطالعه، تشکر و سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

1. Bostani, A. and Esmaeili, K. 2016. River Engineering from Past to Future Review of Approaches and Prospects, Journal of Water and Sustainable Development, 1 (3), (In Persian).

2. Ding, Y. and Langendoen, E.J. 2018. Simulation and control of sediment transport due to dam removal. Journal of Applied Water Engineering and Research, 6(2): 95-108.

3. Foley, M.M., et al. 2017. Dam removal: Listening in. Water Resources Research, 53(7): 5229-5246.

4. Germaine, M.A. and Lespez, L. 2017. The Failure of the Largest Project to Dismantle Hydroelectric Dams in Europe? (Sélune River, France, 2009-2017). Water Alternatives, 10: 655-676.

5. Habel, M., et al. 2020. Dam and reservoir removal projects: a mix of social-ecological trends and cost-cutting attitudes. Scientific Reports, 10(1): 192-210.

6. Heydari, M., Othman, F. and Noori, M. 2013. A Review of the Environmental Impact of Large Dams in Iran. International Journal of Advancements Civil Structural and Environmental Engineering, IJACSE, 1: 1-4.

7. Macbroom, J. and Schiff, R. 2013. Sediment Management at Small Dam Removal Sites. GSA Reviews in Engineering Geology, 21: 67-79.

8. McClain, S.L. and Baer, K. 2006. Dam Removal and Historic Preservation. National Conference of State Historic Preservation.

9. Poff, N. and Zimmerman, J. 2010. Ecological Responses to Altered Flow Regimes: A Literature Review to Inform the Science and Management of Environmental Flows. Freshwater Biology, 55: 194-205.

10. S.P.C.E. Consulting Company. 2007. Golestan Dam, Bostan and Vashmgir Dam Breakdown Studies, (in Persian).

11. Shuman, J.R. 1995. Environmental considerations for assessing dam removal alternatives for river restoration. Regulated Rivers: Research & Management, 11(3-4): 249-261.

12. Sneddon, C., Barraud, R., and Germaine, M.A. 2017. Dam removals and river restoration in international perspective. Water Alternatives, 10: 648-654.

13. Spronken-Smith, R.A., Oke, T.R., and Lowry, W.P. 2000. Advection and the surface energy balance across an irrigated urban park. International Journal of Climatology, 20(9): 1033-1047.

14. Talebzadeh, J. 2010. Analysis of reservoir sediment transport, while removing the dam, using numerical modeling. M.Sc. Thesis. Shiraz University, (in Persian).

15. Thorp, J., et al. 2010. Linking Ecosystem Services, Rehabilitation, and River Hydrogeomorphology. Bioscience, 60: 67-74.

16. Williamson, T., et al. 2015. Meeting report: ICOLD Annual Meeting and Congress 2015, Stavanger. Dams and Reservoirs, 25: 93-110.

17. Wohl, E., Lane, S.N. and Wilcox, A.C. 2015. The science and practice of river restoration. Water Resources Research, 51(8): 5974-5997.

نشریه علمی
علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

Vol. 16, No. 56, Spring 2022
سال شانزدهم- شماره ٥٦- بهار ١٤٠١

Simulation of River Morphological Changes under Voshmgir Dam Removal Condition- Gorganrud River

S. Ghaffari[1], M. Yasi[2] and J. Farhoudi[3]
Received: 22-12-2020 Accepted: 14-10-2021

Abstract

Dam removal is one of the methods of restoring the river ecosystem. In the present study, the removal of the Voshmgir Dam on the Gorganrud River, Iran, was considered, because of the high volume of sediment deposition in the reservoir and the loss of its useful life. Three scenarios were selected for the removal of the dam: 1- complete removal; 2- stepped removal of the spillway; and 3- removal with stable sediments. Numerical modeling for river morphological changes was performed using HEC-RAS model for unsteady flows with sediment transport. The erosion and sedimentation processes were simulated in six reaches (from the Voshmgir Dam to the Caspian Sea), with total length of 128 km. The results indicated that the first scenario causes the highest rate of both erosion and sedimentation in the river reaches. In the second scenario, the intensity of river-bed changes is considerably reduced, and the highest deposition and erosion occurs in the first and the fifth reaches, respectively. The simulation results from the third scenario were uncertain. The second scenario (stepped removal of the spillway) is recommended due to the less impacts on the river-bed changes, and gradual processes of river-ecosystem rehabilitation.

Keywords: Dam failure, River changes, River morphological modeling, River restoration

1. M.Sc. Graduated in Hydraulic Structures, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran
2. Corresponding author and Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: m.yasi@ut.ac.ir
3. Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran