Original Article
Journal of Natural Environment 75 (Special Issue): 227-242 (2023)
Print ISSN: 2008-7764/Online ISSN: 2423-7817
https://jne.ut.ac.ir/

مقاله کامل
نشریه محیط زیست طبیعی
دوره ۷۵، (ویژه نامه): ۲۲۷-۲۴۲ (۱۴۰۱)

شبیه‌سازی تغییرات کیفی رودخانه در شرایط حذف سد وشمگیر-گرگانرود

جواد معصومی‌فر، مهدی یاسی*، جواد فرهودی

گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۹ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۲۵**

چکیده

حذف سد از روش‌های احیاء زیست‌بوم رودخانه است. در پژوهش حاضر، حذف سد وشمگیر بر روی رودخانهٔ گرگانرود در استان گلستان، به‌دلیل حجم بالای رسوبات درون مخزن و پایان عمر مفید آن مورد مطالعه 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. در این پژوهش، از مدل دوبعدی CE-QUAL-W2 برای مدل‌سازی هیدرودینامیک و کیفیت آب رودخانهٔ گرگانرود برای شرایط موجود و در سه سناریو حذف سد، در بازهٔ ۱۲۸ کیلومتری پایین‌دست سد وشمگیر تا دهانهٔ دریای خزر استفاده گردید. مدل کیفی با داده‌های شاهد (تراز سطح آب و فاکتورهای کیفی) در دو ایستگاه هیدرومتری آق‌قلا (۶۸ کیلومتر پایین‌دست سد وشمگیر) و بصیرآباد (۱۱۲ کیلومتر پایین‌دست سد وشمگیر) برای شرایط موجود گرگانرود واسنجی و تأیید شد. نتایج ارزیابی در بازهٔ زمانی تغییرات سریع رودخانه پس از حذف سد (تا ۶۰ روز) ارائه شده است. نتایج سه سناریوی حذف سد نشان داد که میزان اکسیژن محلول (DO) در دو مقطع رودخانه (آق‌قلا و بصیرآباد) افزایش می‌یابد. میزان اکسیژن مورد نیاز زیستی (BOD) در سناریوی اول (حذف کامل) و دوم (حذف پله‌ای) به میزان اندکی (کمتر از ۱۰ درصد نسبت به شرایط رودخانه قبل از حذف) افزایش خواهد داشت. در سناریوی سوم (حذف با رسوب پایدار)، تغییر چشم‌گیری در میزان BOD رخ نمی‌دهد. در سه سناریو و در هر دو مقطع کنترل، میزان pH در دو مقطع زمانی قبل و بعد از حذف سد، تغییر اندکی خواهد داشت. میزان کل مواد جامد محلول (TDS) در روزهای اولیه برابر یا بالاتر از میزان آن در قبل از حذف است، ولی با گذشت زمان از میزان آن کاسته می‌شود. نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد که سناریو دوم (حذف پله‌ای سد) گزینه برتر است و سبب بهبود شرایط کیفی رودخانه و بازتوانی محیط زیستابی گرگانرود می‌شود.

کلید واژگان: حذف سد، زیست‌بوم رودخانه، مدل‌سازی کیفی، گرگانرود، سد وشمگیر

*نویسنده مسئول m.yasi@ut.ac.ir

مقدمه

سدها یکی از آثار انسان‌ساخت در قطع پیوستگی طولی سامانهٔ رودخانه بوده که ساختار و کارکرد اکوسیستم رودخانه‌ها را، با تغییر در بده و دوام جریان، مقدار رسوبات، کیفیت آب، و از لحاظ فیزیکی، پیوستگی زیستی رودخانه (تنوع و تراکم جوامع بومی گیاهی و جانوری، و مهاجرت آبزیان) را از بین می‌برند (Ligon *et al*., 1995; Maingi and Marsh, 2002; Graf, 2006). اثرات بوم‌شناختی هر سد با توجه به اندازه، عملکرد و حوزهٔ آبخیز آن متفاوت است (Poff and Hart, 2002). اثرات منفی محیط زیستی در برخی رودخانه‌ها، شرایط را برای حذف سد و احیای پایدار سامانهٔ زیستی رودخانه فراهم نموده است (Poulos and Chernoff, 2016). حذف سد با توجه به شاخص‌های متفاوتی تصمیم‌گیری می‌شود. به‌طورکلی، مشکلات محیط زیستی و ایمنی مهم‌ترین عواملی هستند که ممکن است سبب حذف آن شود (Sneddon *et al*., 2017). علاوه بر دلایل محیط زیستی، محدودیت عمر مفید سدها که با ایمنی و پایداری و اهداف اولیهٔ ذخیره‌سازی آب در مخزن یا کنترل سیلاب پیوند دارد، از مهم‌ترین دلایل حذف سد بوده است. کشورهای پیشتاز درزمینهٔ حذف سدها را می‌توان ایالات متحدهٔ آمریکا، کانادا و فرانسه دانست (Macbroom and Schiff, 2013). تا پایان سال ۲۰۱۷، نزدیک به ۵۰۰۰ سد در قاره‌های آمریکا و اروپا حذف شده است (Foley et al., 2017). شناخته‌شده‌ترین مورد از حذف سد مربوط به سد الوا با ارتفاع ۳۳ متر است که در سال ۲۰۱۲ و در ایالت واشنگتن تخریب شد. رشد فزآینده حذف سدها در ایالات متحده از سال ۱۹۹۰ گزارش شده است. شرایط، اهداف و مالکیت ازجمله مسائل مهمی هستند که فرآیند سیاسی و قانونی را برای حذف سد تعیین می‌کنند. در ایالات متحدهٔ آمریکا، عموم سدهای حذف‌شده مربوط به سدهای کوچک و دارای مالکیت خصوصی بوده است. براساس تحقیقات، تا سال ۲۰۲۰ بیش از ۸۰٪ سدهای ایالات متحدهٔ آمریکا عمر مفیدشان بیش از ۵۰ سال برآورد شده است (Germaine and Lespez, 2017).

با توجه به تعداد روزافزون سدهایی که به پایان عمر طراحی خود رسیده یا دچار فرسودگی شده‌اند، حذف سدها به دلایل اقتصادی و ایمنی و محیط زیستی به یک گزینهٔ مدیریتی تبدیل می‌شود (Shuman, 1995; Bijker, 2006; Roberts *et al*., 2007; Poff and Zimmerman, 2010). پس از حذف سد، بهبود وضعیت محیط زیستی و اکوسیستم رودخانه مورد انتظار است؛ اما درعین‌حال در برخی موارد این اتفاق به‌طور کامل صورت نمی‌گیرد. پژوهش Habel و همکاران (۲۰۲۰)، به اثرات ترکیبی اجتماعی–اقتصادی– اکولولوژیک حذف سد می‌پردازد. ولی نتایج بخش اکولوژیک بیشتر کیفی است، و نتایج کمی از اثرات بر فاکتورهای کیفیت آب و شاخص‌های زیستی گزارش نشده‌است (Habel *et al*., 2020). با توجه به وجود دانش علمی برای مشاهدهٔ واکنش محیط زیستی رودخانه و اکوسیستم آن، می‌توان حذف یک سد را مدل‌سازی و اثرات آن را پیش‌بینی کرد. برای پروژه‌های حذف سد، با مدل‌سازی همزمان شرایط ریخت‌شناسی هیدرولیکی و محیط زیستی رودخانه می‌توان به بررسی اثرات کمی و کیفی شرایط رودخانه بعد از حذف سد پرداخت (Bednarek, 2003; Wana *et al*., 2014). پژوهش Lindenschmidt و همکاران (۲۰۱۹) به اثرات مدیریت رهاسازی جریان از مخزن سد به پائین دست بر فاکتورهای کیفیت آب در مخزن سد و در رودخانه پایین دست می‌پردازد نتایج مطالعهٔ آن‌ها نشان داد که تنظیم جریان کمی رودخانه سبب بهبود شرایط کیفی آب در پائین‌دست می‌گردد (Lindenschmidt *et al*., 2019).

روش‌های عملی برای انتخاب راهبرد مدیریت رسوب در پروژه‌های حذف سد پیشنهاد شده است (Macbroom and Schiff, 2013). مدیریت رسوب در حذف سد به‌طور معمول شامل چهار مرحله است (Talebzadeh, 2010) 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 ۴) ارزیابی تکنیک‌های مدیریت رسوب برای به حداقل‌رساندن میزان فرسایش. گرایش مدیریت محیط زیستی به‌سوی حذف سد را می‌توان ناشی از تغییر نگرش مدیران، نهادهای متولی و جامعه دانست (Bijker, 2015). در مطالعات اخیر، نظریه‌های محیط زیستی و روش‌های تجربی مربوط به روش‌های حذف سد و نحوهٔ مدل‌سازی آن بررسی شده، سپس با استفاده از مدل‌های ریاضی به مدل‌سازی ریخت‌شناختی و محیط زیستی حذف سد پرداخته شده است. نتایج بررسی واکنش‌های محیط زیست و تغییرات اکولوژیک در برابر پدیدهٔ حذف سد نشان داده است که یکی از نتایج مطلوب آن بازیابی اکوسیستم‌های آبی و ساحلی است (Bellmore *et al*., 2017).

در ایران، سدهای بسیاری از دههٔ ۱۳۴۰ساخته شده است. عمر مفید بیشتر سدها هنوز به پایان نرسیده است. از میان سدهای قدیمی ایران، سد وشمگیر بر روی گرگانرود، در استان گلستان، به‌دلیل پایان عمر مفید آن و حجم بالای رسوبات درون مخزن، کارایی لازم را برای اهداف بهره‌برداری و کنترل سیلاب را ندارد. در مجموعهٔ مطالعات کنترل سیلاب استان گلستان، پدیدهٔ شکست سه سد بوستان، گلستان و وشمگیر (بر روی گرگانرود) مدل‌سازی شده است (Sazepardazi-Iran Consulting Engineers, 2007; Water Institute-University of Tehran, 2012) ولی سناریوهای راهبردی حذف سد مورد نظر نبوده است.

هدف اصلی در مجموعه پژوهش حاضر، شبیه‌سازی اثرات حذف سد وشمگیر در بازهٔ پایین‌دست گرگانرود (به طول ۱۲۸ کیلومتر، از سد وشمگیر تا دهانهٔ دریای خزر) بوده است. در این بررسی، سه سناریوی 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. در این‌خصوص، Ghaffari و همکاران (۲۰۲۲)، تغییرات ریخت‌شناسی گرگانرود در صورت حذف سد وشمگیر (و به‌طور خاص: فرسایش و رسوب‌گذاری در طول بازهٔ رودخانه) را با استفاده از مدل یک‌بعدی HEC-RAS برای جریان ناپایدار با انتقال رسوب مدل‌سازی و مورد بررسی قرار دادند (Ghaffari *et al*., 2022). نتایج نشان داد که سناریوی اول بیشترین میزان فرسایش و رسوب‌گذاری را در شش بازهٔ رودخانه ایجاد می‌کند. بیشترین رسوب‌گذاری در بازهٔ اول (۲۱ کیلومتر پائین‌دست سد وشمگیر) و بیشترین فرسایش در بازهٔ ششم (نزدیک دریا) عنوان شد. در سناریوی دوم، شدت تغییرات بستر رودخانه کمتر شده و بیشترین رسوب‌گذاری و فرسایش به‌ترتیب در بازهٔ اول و پنجم گزارش شد. نتایج مدل‌سازی سناریوی سوم، به‌دلیل شدت‌های کم فرسایش و رسوب‌گذاری، با عدم قطعیت همراه بود. سناریوی دوم (حذف پله‌ای سرریز) به‌دلیل شدت تغییرات کمتر بستر و قابلیت بازتوانی تدریجی رودخانه، به‌عنوان گزینهٔ برتر پیشنهاد گردید.

این مطالعه، نتایج مدل‌سازی کیفی جریان آب رودخانه گرگانرود در پایین‌دست سد وشمگیر را در سه سناریوی حذف سد ارائه می‌نماید. در این تحقیق، فاکتورهای کلیدی کیفیت جریان آب رودخانه با استفاده از مدل دوبعدی هیدرودینامیک و کیفیت آب CE-QUAL-W2، در دوشرایط قبل و پس از حذف سد، در هر یک از سه سناریو، مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت.

مواد و روش ها

در این پژوهش، رودخانهٔ گرگانرود از سد وشمگیر تا مصب دریای خزر با طول ۱۲۸ کیلومتر بررسی گردید (شکل ۱). سد وشمگیر در شهرستان آق‌قلا در حدود ۴۵ کیلومتری شمال شرقی شهر آق‌قلا و حدود ۲ کیلومتری شمال شرقی روستای یلمه سالیان بر روی گرگانرود احداث شده است (شکل ۲). ساخت این سد در سال ۱۳۴۵ آغاز و در سال ۱۳۴۹ افتتاح شد. عمر مفید سد ۳۰ سال در نظر گرفته شده بود. ارتفاع سد و طول تاج سد به‌ترتیب ۲۰ و ۴۳۰ متر است

شکل ۱- سیمای گرگانرود از سد وشمگیر تا دریای خزر و موقعیت ایستگاه‌های آب‌سنجی

شکل ۲- سد و سرریز سد وشمگیر

و سرریز سد، قابلیت عبور ۹۳۵ مترمکعب در ثانیه سیلاب را دارد. محدودهٔ مطالعاتی از نظر ریخت‌شناسی رودخانه به ۶ بازه تقسیم شد. برای مدل‌سازی کیفی، به‌دلیل وجود داده-های کیفیت آب در دو ایستگاه آق‌قلا و بصیرآباد، این دو ایستگاه به‌عنوان مقاطع کنترل در مدل‌سازی انتخاب گردیدند. موقعیت دو ایستگاه منتخب در شکل (۱) ارائه و مشخصات آن در جدول (۱) گزارش شده است.

ریخت‌شناسی گرگانرود: با توجه به طول زیاد رودخانه، مطالعات مقدماتی برای ریخت‌شناسی گرگانرود انجام شد. داده‌های این پژوهش عبارت‌اند از: ۱) نقشه‌های پلان و مقاطع طولی و عرضی مخزن سد وشمگیر و گرگانرود، ۲) آبنگارهای زمان بهره‌برداری سد وشمگیر، ۳) گزارش‌های فنی مطالعات گرگانرود (Sazepardazi-Iran Consulting Engineers, 2007)، ۴) داده‌های آب‌سنجی (سری بده جریان)، سری آماری سیلاب‌ها، رسوب‌سنجی (بده جریان–رسوب معلق و بستر) در سه ایستگاه آب‌سنجی، ۵) داده‌های کیفی جریان رودخانه گرگانرود در ایستگاه‌های هیدرومتری پایین‌دست سد وشمگیر، ۶) داده‌های "بده- تراز آب" و یا "منحنی سنجه آب" گرگانرود در ایستگاه‌های آب‌سنجی مورد نظر. محدودهٔ مطالعاتی ازنظر ریخت‌شناسی

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری آق‌قلا و بصیرآباد

ردیف	نام ایستگاه	کد ایستگاه	رودخانه	ارتفاع از سطح دریا	سال تأسیس
۱	آق‌قلا	۱۲۰۳۷	گرگانرود	-۱۲	۱۳۲۹
۲	بصیرآباد	۱۲۰۳۹	گرگانرود	-۲۰	۱۳۵۳

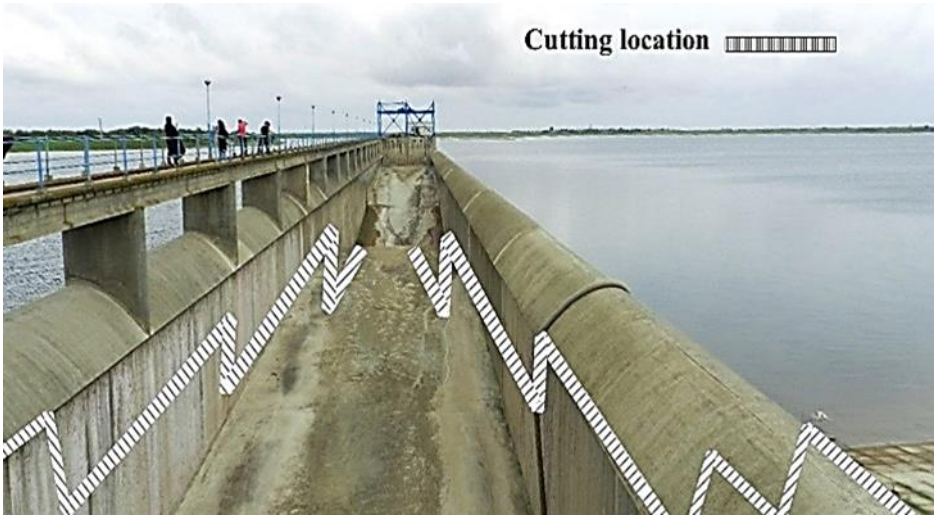
جدول ۲- مشخصات بازه‌های گرگانرود در محدودهٔ مورد مطالعه

بازه	فاصله از دریای خزر		شیب متوسط	محل	ضریب زبری مانینگ
	شروع	پایان			
۱	۱۲۸ (محل سد)	۱۰۷	۰/۰۰۰۳۸	بستر	۰/۰۴۵
				کناره	۰/۰۸۰
۲	۱۰۷	۷۵	۰/۰۰۰۲۴	بستر	۰/۰۴۵
				کناره	۰/۰۷۸
۳	۷۵	۵۵	۰/۰۰۰۱۶	بستر	۰/۰۴۵
				کناره	۰/۱۰۴
۴	۵۵	۴۴	۰/۰۰۰۱۶	بستر	۰/۰۴۵
				کناره	۰/۰۶۵
۵	۴۴	۵/۸	۰/۰۰۰۱۲	بستر	۰/۰۴۰
				کناره	۰/۰۸۶
۶	۵/۸	۰	۰/۰۰۰۱	بستر	۰/۰۴۰
				کناره	۰/۰۶۵

به شش بازه تقسیم شد: ۱) از صفر تا ۵/۸ کیلومتر (از سد وشمگیر تا روستای یلمه سولیان)؛ ۲) از ۵/۸ تا ۴۴ کیلومتر (از روستای یلمه‌سولیان تا ابتدای روستای قرنجیک پورامان)؛ ۳) از ۴۴ تا ۵۵ کیلومتر (از ابتدای روستای قرنجیک پورامان تا انتهای روستای سلاق یلقی)؛ ۴) 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 ۶) از ۱۰۷ تا ۱۲۸ کیلومتر (از روستای سالک تا دریای خزر). جدول ۲ خلاصه‌ای از مشخصات شش بازهٔ مطالعاتی گرگانرود را ارائه می‌دهد (Ghaffari *et al.*, 2022).

سناریوهای حذف سد: تعداد پنج سناریوی حذف سد معرفی شده است (Sneddon *et al.*, 2017). با توجه به شرایط خاص سد وشمگیر، سه سناریو قابل اجرا تشخیص داده شد، که عبارتند از: ۱) حذف کامل در روز آفتابی با مخزن پر، ۲) حذف پله‌ای از تاج سرریز، ۳) حذف با رسوب پایدار. شرح و جزئیات این سه سناریو، همراه با نتایج مدل‌سازی ریخت‌شناسی هیدرولیکی گرگانرود در صورت حذف سد وشمگیر (و به‌طور خاص: فرسایش و رسوب‌گذاری در طول بازهٔ رودخانه) توسط Ghaffari و همکاران (۲۰۲۲) گزارش شده است. براساس نتایج مدل‌سازی، سناریوی دوم (حذف پله‌ای سرریز) به‌دلیل شدت تغییرات کمتر بستر و قابلیت بازتوانی تدریجی رودخانه، به‌عنوان گزینهٔ برتر پیشنهاد گردید. در این سناریو، حذف سد به‌صورت پله‌ای و از سرریز (تاج سرریز) شروع به حذف می‌شود و از ارتفاع سرریز به‌صورت پلکانی کاسته می‌شود، تا به پایین‌ترین سطح سرریز برسد (شکل ۳). در این روش به‌علت کنترل بیشتر روی حجم خروجی آب و رسوب، از بروز اتفاقات پیش‌بینی‌نشده جلوگیری می‌شود. در برخی از موارد، به‌علت حساسیت پروژه و خطرات احتمالی، تا چند سال نیز فرآیند تخریب می‌تواند طول بکشد که در این مدت به‌آرامی بوم‌سازگان رودخانه در پایین‌دست نیز احیاء می‌شود.

مدل‌سازی کیفی جریان رودخانهٔ گرگانرود: مدل CE-



شکل ۳- حذف سد به روش پله‌ای بر روی سرریز سد وشمگیر

QUAL-W2 آخرین نسخهٔ از سری مدل‌های QUAL است. این مدل می‌تواند معادلات مربوط به رودخانه را در شرایط پایدار و شبه‌پایدار حل کند (Pelletier and Chapra, 2008). در این مطالعه، برای مدل‌سازی کیفی جریان آب از مدل CE-QUAL-W2 به‌دلیل دارا بودن ویژگی‌های مورد نیاز و قابلیت تحلیل بیشتر فاکتورهای کیفی جریان رودخانه استفاده شد. شرح اصول و کاربرد این مدل توسط Emamgholi و Yasi (۲۰۲۰) ارائه شده است. مراحل انجام مدل‌سازی کیفی رودخانهٔ گرگانرود عبارتند از: ۱) ارزیابی اولیه و جمع‌آوری و بررسی داده‌های موجود، تحلیل اولیه، انتخاب چارچوب مدل‌سازی، مطالعات میدانی جهت پرکردن کمبودهای اطلاعاتی و داده‌های بیشتر در واسنجی مدل؛ ۲) مدل‌سازی شرایط موجود رودخانهٔ گرگانرود، ۳) واسنجی مدل برای تراز سطح آب در دو ایستگاه هیدرومتری آق‌قلا و بصیرآباد، ۴) واسنجی مدل برای چهار فاکتور کیفیت آب، ۵) مدل‌سازی سه سناریوی حذف سد در بازهٔ زمانی ۶۰ روزه پس از حذف و ۶) بررسی نتایج خروجی مدل‌سازی در دو ایستگاه هیدرومتری منتخب.

در مدل دوبعدی هیدرودینامیک و کیفیت آب CE-QUAL-W2، سه نوع واسنجی قابل انجام است: ۱) واسنجی سطح-ارتفاع-حجم، ۲) واسنجی تراز سطح آب و ۳- واسنجی کیفی. در این مطالعه، برای اطمینان از بخش هیدرولیکی مدل، از واسنجی نوع دوم استفاده شد. برای واسنجی دقیق‌تر تراز سطح آب، دو مقطع شاهد (ایستگاه هیدرومتری آق‌قلا و بصیرآباد) انتخاب گردید. در روند واسنجی خودکار مدل CE-QUAL-W2، تراز سطح آب شبیه‌سازی شده در یک مقطع رودخانه، با تراز شاهد مقایسه می‌شود. در این تحقیق، براساس توانائی مدل و شرایط گرگانرود، مقدار حداکثر تصحیح سطح آب برابر ۵ سانتی‌متر انتخاب گردید، که نسبت به مقدار عمق میانگین رودخانهٔ گرگانرود (یک متر)، خطای حداکثر ۵ درصد را برای عمق آب می‌دهد، که در کارهای رودخانه‌ای بسیار خوب می‌باشد. برای ارزیابی دقت نتایج شبیه‌سازی نهائی مدل، از شاخص آماری خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) استفاده شد، که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است. مقادیر RMSE برای اختلاف مقادیر تراز آب مشاهداتی و محاسباتی در دو ایستگاه برابر ۰/۰۶۴ و ۰/۰۴۳ متر است. از این‌رو، خطای متوسط در حدود ۵ درصد است، که معادل پیش‌فرض مدل‌سازی برای دقت قابل قبول می‌باشد. همچنین، مقایسه نتایج با مقادیر توصیه‌شده در مطالعات پیشین (Kannel *et al*, 2007; Moriasi *et al*, 2007; Rafiee *et al*., 2014; Emamgholi and Yasi, 2020) نشانگر سطح دقت خوب تا بسیار خوب درشبیه‌سازی هیدرولیکی با مدل CE-QUAL-W2 در شرایط رودخانه‌ای است (جدول ۳).

در مرحلهٔ بعد، واسنجی کیفی مدل با داده‌های کیفی مشاهداتی صورت گرفت. از داده‌های کیفی دو ایستگاه

جدول ٤- نتایج واسنجی بخش کیفیت آب مدل CE-QUAL-W2: متوسط خطای شبیه‌سازی فاکتورهای کیفی آب

فاکتور کیفی آب	متوسط جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)	
	ایستگاه هیدرومتری آق‌قلا	ایستگاه هیدرومتری بصیرآباد
DO (mg/l)	۰/۶۳	۰/۱۵
BOD (mg/l)	۰/۱۱	۰/۶۱
pH	۰/۶۲	۰/۵۹
TDS (mg/l)	۰/۸۶	۰/۹۱

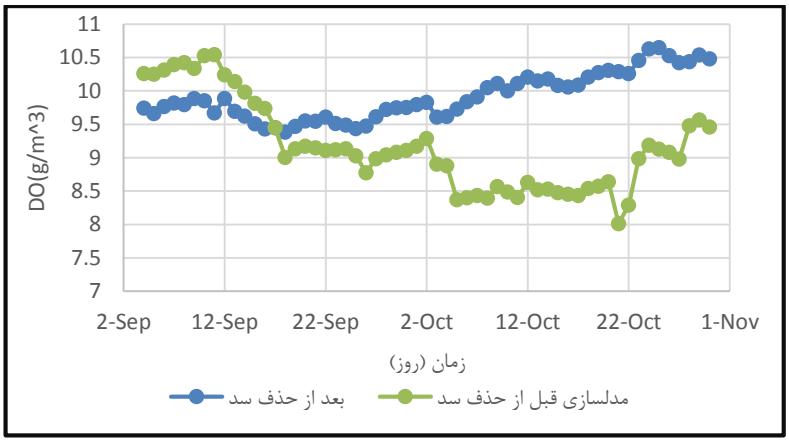
هیدرومتری آق‌قلا و بصیرآباد به‌عنوان ایستگاه‌های مشاهداتی استفاده گردید. از میان فاکتورهای کیفی رودخانه در این دو ایستگاه، چهار فاکتور اثربخش در شرایط کیفی و محیط زیستی رودخانه شامل ۱-اکسیژن محلول (DO)، ۲- اکسیژن مورد نیاز زیستی (BOD)، ۳- میزان اسیدیته یا قلیائیت جریان (pH)، و ۴- کل مواد جامد محلول (TDS) انتخاب گردید. برای واسنجی چهار فاکتور کیفی، از روش آزمون و خطا برای اصلاح ضرایب کیفی مدل استفاده شد. دقت مدل واسنجی‌شده با شاخص آماری خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) ارزیابی گردید. نتایج مقدار متوسط خطاهای شبیه‌سازی فاکتورهای کیفی در دو ایستگاه هیدرومتری آق‌قلا و بصیرآباد در جدول ۴ ارائه شده است. مقادیر RMSE برای اختلاف مقادیر مشاهداتی و محاسباتی سه فاکتور DO و BOD و TDS، در دو ایستگاه در دامنهٔ ۰/۱۱ تا ۰/۹۱ میلی‌گرم بر لیتر قرار دارند. خطای برآورد pH نیز در حدود ۰/۶ است، که کمتر از یک می‌باشد. Rafiee و همکاران (۲۰۱۳) مقدار خطای RMSE کمتر از ۲/۴ میلی‌گرم بر لیتر را برای شبیه‌سازی اکسیژن محلول، نیترات، آمونیوم و اکسیژن موردنیاز زیستی، با دقت خوب معرفی کردند. همچنین، نتایج برآورد این تحقیق از دقت بیشتری نسبت به مطالعات پیشین (Kannel *et al*, 2007; Moriasi *et al*, 2007; Rafiee *et al*., 2014; Emamgholi and Yasi, 2020) برخوردار است. بنابراین، دقت برآورد مدل را می‌توان در محدودهٔ قابل قبول پذیرفت.

پس از واسنجی مدل، شرایط کیفی رودخانه در دو شرایط: ۱- قبل از حذف سد (شرایط موجود)، و ۲- بعد از حذف سد (در سه سناریوی حذف سد) مدل‌سازی گردید. مدل‌سازی کیفی آب در تغییرات سریع ریخت‌شناختی و محیطی، از شروع حذف سد تا ۶۰ روز پس از آن صورت گرفت که در ادامه نتایج آن ارائه شده است.

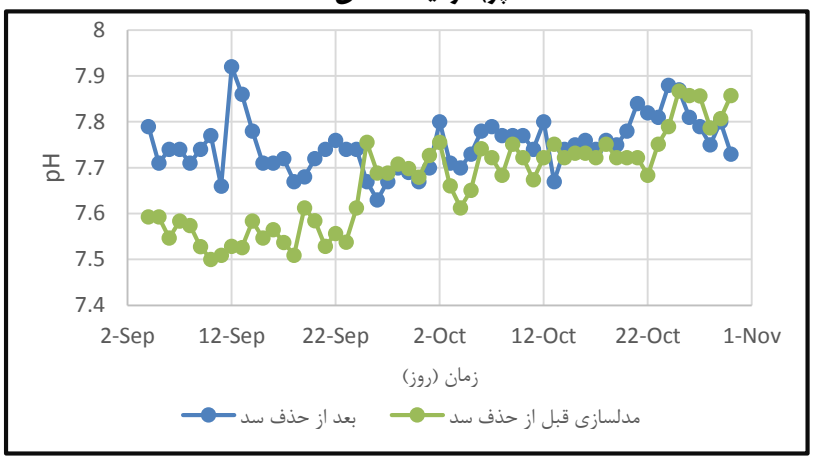
نتایج و بحث

مدل‌سازی در شرایط موجود رودخانه: با استفاده از مدل واسنجی شده، کیفیت آب جریان گرگانرود در شرایط موجود (قبل از حذف سد) مدل‌سازی شد. نتایج برآورد چهار فاکتورهای کیفی آب (TDS، pH، BOD و DO) به‌عنوان مبنا برای مقایسه با نتایج شبیه‌سازی در شرایط بعد از حذف سد وشمگیر (در سه سناریوی مختلف حذف سد) انتخاب شده است. با توجه به حجم زیاد نتایج خروجی مدل‌سازی (۲ ایستگاه، ۴ فاکتور و ۳ سناریوی حذف سد)، نتایج برای مقطع کنترل میانی رودخانه (ایسنگاه آق‌قلا، در شکل ۱) ارائه شد.

مدل‌سازی کیفی سناریو اول حذف سد (حذف کامل در روز آفتابی با مخزن پر): نتایج مدل‌سازی کیفی رودخانهٔ گرگانرود در سناریوی اول (حذف کامل سد) برای چهار فاکتور DO، BOD، pH و TDS برای دو مقطع کنترل (ایستگاه آق‌قلا و ایستگاه بصیرآباد) بررسی و برای دو شرایط قبل و بعد از حذف سد وشمگیر مقایسه شده است. نتایج برای مقطع ایستگاه آق‌قلا به‌ترتیب در شکل‌های ۴ تا ۷ ارائه شده است. براساس نتایج شکل ۴، در اثر حذف سد میزان اکسیژن محلول (DO) در پایین‌دست رودخانه افزایش می‌یابد. دلایل این افزایش عبارتند از: افزایش بده رودخانه (عدم وجود حجم ذخیره سد)، افزایش هوادهی رودخانه (خارج شدن رودخانه از حالت پایدار) و افزایش عمق و عرض رودخانه. درنتیجه با افزایش غلظت اکسیژن محلول در



شکل ٤- تغییرات اکسیژن محلول DO در قبل و بعد از حذف سد در سناریوی اول (حذف کامل در روز آفتابی با مخزن پر) در ایستگاه آق‌قلا

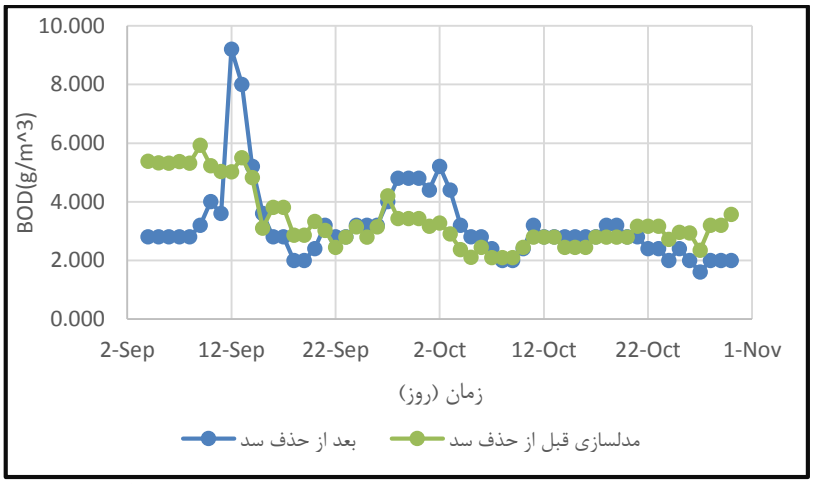


شکل ٥- تغییرات pH در قبل و بعد از حذف سد در سناریوی اول (حذف کامل در روز آفتابی با مخزن پر) در ایستگاه آق‌قلا

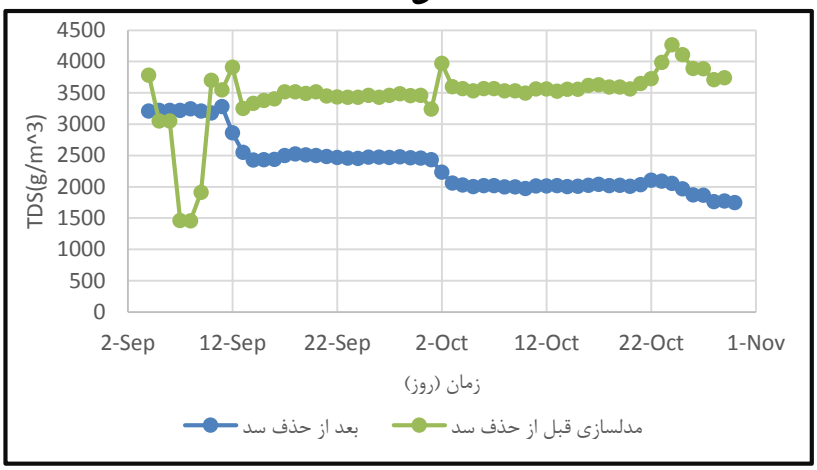
رودخانه، شرایط کیفی و خود پالایی رودخانه بهبود می‌یابد. در مقطع ایستگاه هیدرومتری بصیرآباد: اختلاف میان اکسیژن محلول قبل و بعد حذف سد، بیشتر از ایستگاه آق‌قلا می‌باشد. در این سناریو تأثیر حذف سد در قسمت پایین‌دست بیشتر از بالادست است که سبب بهبود غلظت اکسیژن محلول می‌شود. دلایل بهبود شرایط فاکتور اکسیژن محلول نیز افزایش بده (صفر بودن حجم ذخیره سد)، فرسایش در بازه‌های انتهایی و در نتیجه افزایش عمق و عرض رودخانه نسبت به قبل حذف سد، افزایش خودپالایی رودخانه به‌علت خروج از حالت پایدار می‌باشد. حذف سد در این سناریو سبب بهبود میزان اکسیژن محلول و بهبود شرایط کیفی رودخانه شده است. نتایج شکل ۵ در مقطع ایستگاه آق‌قلا، نشان می‌دهد که تغییر محسوسی در میزان pH آب رودخانه قبل و بعد از حذف سد رخ نداده است. درنتیجه، حذف سد وشمگیر تأثیری در میزان غلظت یون‌های هیدروژن (pH) در آب نداشته و اثری بر موجودات آبزی که به تغییرات pH حساس می‌باشند، نمی‌گذارد. در مقطع بصیرآباد، میزان pH آب تغییری نسبت به قبل از حذف سد نداشته است.

در مقطع ایستگاه آق‌قلا، اکسیژن موردنیاز زیستی (BOD) پس از حذف سد افزایش یافت. میزان افزایش آن کم بود که علت آن، افزایش بده رودخانه می‌باشد (شکل ۶). مقدار BOD در ایستگاه هیدرومتری بصیرآباد تغییر چشمگیری نداشته است. علت آن می‌تواند مصرف اکسیژن زیستی توسط جلبک‌ها یا تأثیرات پایین‌دست بر این مقطع عرضی باشد. حذف سد تأثیر منفی بر غلظت این فاکتور نداشته و شرایط کیفی رودخانه، پایدار باقی می‌ماند.

به‌علت کمبود داده‌های مشاهداتی در هر دو ایستگاه نمی‌توان نتیجهٔ کاملی در ارتباط با فاکتور TDS گرفت. در



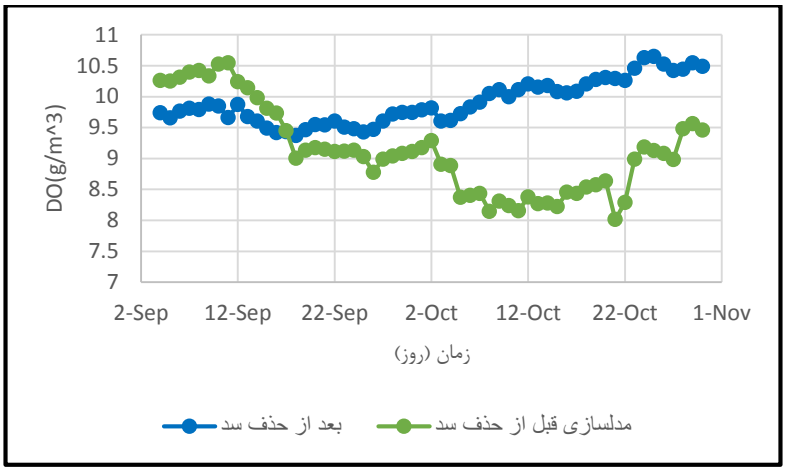
شکل ٦- تغییرات BOD در قبل و بعد از حذف سد در سناریوی اول (حذف کامل در روز آفتابی با مخزن پر) در ایستگاه آق‌قلا



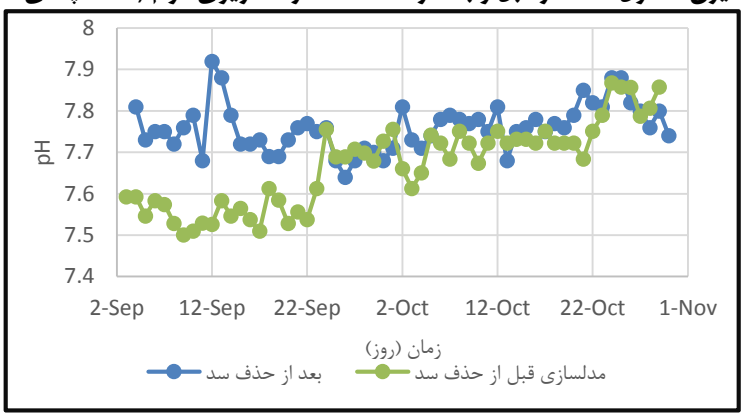
شکل ۷- تغییرات TDS در قبل و بعد از حذف سد در سناریوی اول (حذف کامل در روز آفتابی با مخزن پر) در ایستگاه آق‌قلا

ایستگاه هیدرومتری آق‌قلا، نتایج مدل نشان داد که پس از حذف سد، مقدار TDS در ابتدا افزایش و پس از گذشت زمان کاهش می‌یابد (شکل ۷). افزایش این فاکتور به‌دلیل میزان بالای بار معلق رودخانه در روزهای ابتدایی و کاهش تدریجی آن با گذشت زمان می‌باشد. مقدار TDS در انتهای زمان مدل‌سازی پس از حذف سد، کمتر از قبل از حذف آن می‌باشد. به‌نظر می‌رسد که با حذف سد و بازیافت رژیم طبیعی جریان (رخداد جریان‌های پرآبی و سیلابی)، پدیدهٔ شستشوی متناوب مواد رسوبی و انحلال مواد جامد حل شدنی در بستر صورت گیرد، و شرایط کیفی رودخانه با گذشت زمان روند بهبود داشته باشد. از این‌رو، غلظت TDS نسبت به قبل از آن، کمتر شده، و به تعادل نسبی بهتری برسد. در مقطع ایستگاه هیدرومتری بصیرآباد، غلظت TDS در سناریو حذف سد نسبت به قبل از آن، کمتر است. روند تغییرات زمانی TDSدر بصیرآباد مشابه ایستگاه آق‌قلا بوده، و با گذشت زمان کاهش می‌یابد.

مدل‌سازی کیفی سناریو دوم (حذف پله‌ای سد): نتایج مدل‌سازی کیفی رودخانهٔ گرگانرود در سناریوی دوم (حذف پله‌ای) برای چهار فاکتور DO، BOD، pH و TDS به‌طور نمونه برای مقطع ایستگاه آق‌قلا به‌ترتیب در شکل‌های ۸ تا ۱۱ ارائه شده است. براساس نتایج شکل ۸، میزان اکسیژن محلول (DO) در سناریوی دوم (همانند سناریو اول) افزایش پیدا کرده است. دلایل این افزایش عبارتند از: ۱- افزایش بده رودخانه (عدم وجود حجم ذخیرهٔ سد)، ۲- افزایش هوادهی رودخانه (خروج رودخانه از حالت پایدار)، ۳- افزایش عمق و عرض رودخانه. با افزایش غلظت اکسیژن محلول در



شکل ۸- تغییرات اکسیژن محلول DO در قبل و بعد از حذف سد در سناریوی دوم (حذف پله‌ای سد) در ایستگاه آق‌قلا



شکل ۹- تغییرات pH در قبل و بعد از حذف سد در سناریوی دوم (حذف پله‌ای سد) در ایستگاه آق‌قلا

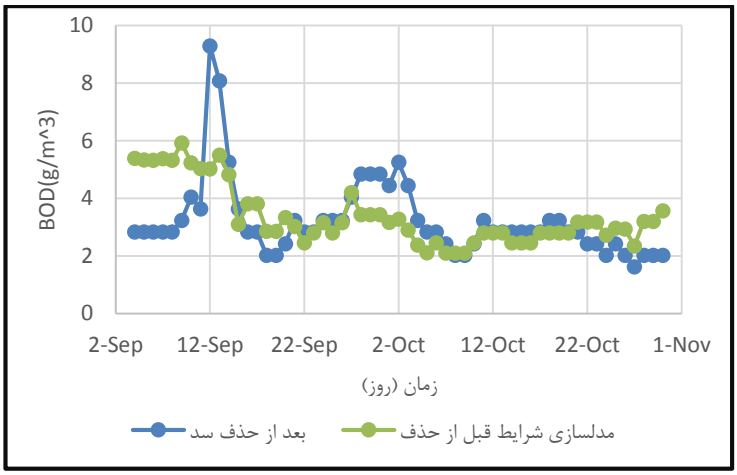
رودخانه، شرایط کیفی و خودپالایی رودخانه بهبود می‌یابد.

اکسیژن محلول (DO) در ایستگاه هیدرومتری بصیرآباد: میزان اکسیژن محلول در ایستگاه هیدرومتری بصیرآباد و در سناریوی دوم حذف سد، بیشتر از مقدار آن در قبل از حذف سد می‌باشد. مقدار این فاکتور در قبل و بعد از حذف سد، از سناریوی اول (حذف کامل)، کمتر بوده است. عواملی از جمله افزایش بده، افزایش خودپالایی و شرایط محیطی نیز در اختلاف میان سناریوهای اول و دوم مؤثر بوده‌اند.

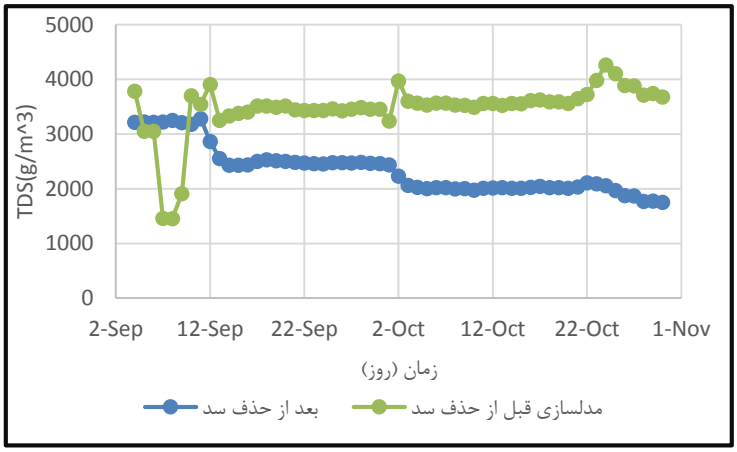
در مقطع ایستگاه آق‌قلا، شکل ۹ نشان می‌دهد که مقدار pH تغییر چندانی نسبت به قبل از حذف سد نداشته است. همچنین عوامل تغییر یون‌های هیدروژن در قبل و بعد حذف سد تغییر نداشته‌اند. در ایستگاه هیدرومتری بصیرآباد، میزان pH تقریباً برابر با شرایط قبل حذف سد است. تغییرات بده، تغییرات عمق و عرض تأثیری بر میزان اسیدی یا بازی بودن رودخانه نداشته و عوامل بیرونی بر این فاکتور تأثیرگذار می‌باشند. در مقطع ایستگاه آق‌قلا، شکل ۱۰ نشان می‌دهد که اکسیژن مورد نیاز زیستی (BOD) به میزان کمی بهبود یافته است. برای ارزیابی بهتر این فاکتور، باید داده‌های مشاهداتی بیشتری وجود داشته باشد تا بتوان مقایسهٔ بهتری انجام داد. در ایستگاه هیدرومتری بصیرآباد، میزان BOD افزایش می‌یابد. به‌نظر می‌رسد که با افزایش بده جریان در اثر حذف سد، مقدار BOD افزایش یافته و شرایط کیفی رودخانه بهتر شود. تغییرات BOD در این سناریو نسبت به سناریو اول کمتر بوده است.

در مقطع ایستگاه آق‌قلا، شکل ۱۱ نشان می‌دهد که مقدار TDS نسبت به سناریوی اول (حذف کامل) کمتر است. در این سناریو، با گذشت زمان، مقدار TDS کاهش‌یافته است، که ممکن است علت آن تثبیت رودخانه با گذشت زمان باشد. در مجموع، مقدار عددی این پارمتر در سناریوی دو (حذف پله‌ای) تا حدودی بیشتر از سنایو اول (حذف کامل سد) می‌باشد.

مدل‌سازی کیفی سناریوی سوم (حذف با رسوب



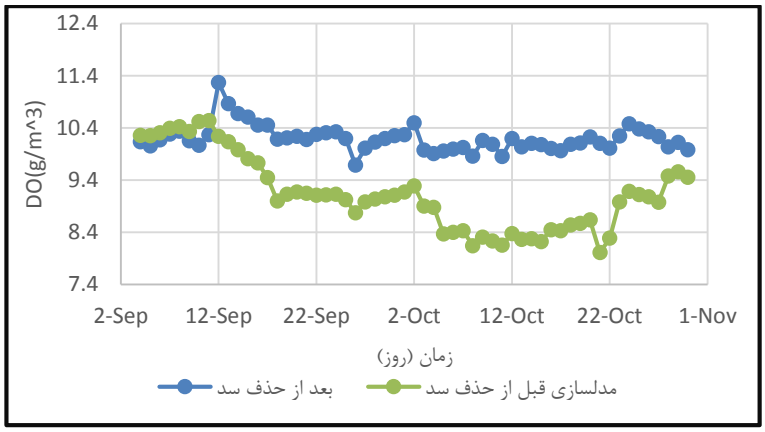
شکل ۱۰- تغییرات BOD در قبل و بعد از حذف سد در سناریوی دوم (حذف پله‌ای سد) در ایستگاه آق‌قلا



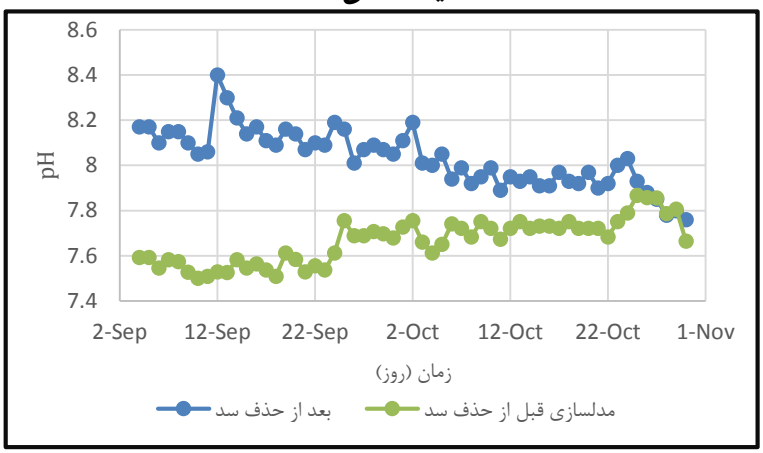
شکل ۱۱– تغییرات TDS در قبل و بعد از حذف سد در سناریوی دوم (حذف پله‌ای سد) در ایستگاه آق‌قلا

پایدار): نتایج مدل‌سازی کیفی رودخانهٔ گرگانرود در سناریوی سوم (حذف با رسوب پایدار) برای چهار فاکتور DO، BOD، pH و TDS به‌طور نمونه برای مقطع ایستگاه آق‌قلا به‌ترتیب در شکل‌های ۱۲ تا ۱۵ نمایش داده شده است. براساس شکل ۱۲، میزان اکسیژن محلول (DO) در سناریوی دوم به‌دلیل افزایش بده رودخانه و عدم وجود سد، اکسیژن محلول تغییرات زیادی ندارد. در ایستگاه هیدرومتری بصیرآباد، مقدار DO در سناریوی سوم کمتر از سناریوی اول (حذف کامل) و سناریوی دوم (حذف پله‌ای) می‌باشد. سناریوی سوم تأثیر کمی بر بهبود غلظت اکسیژن محلول درشرایط پایین‌دست دارد.

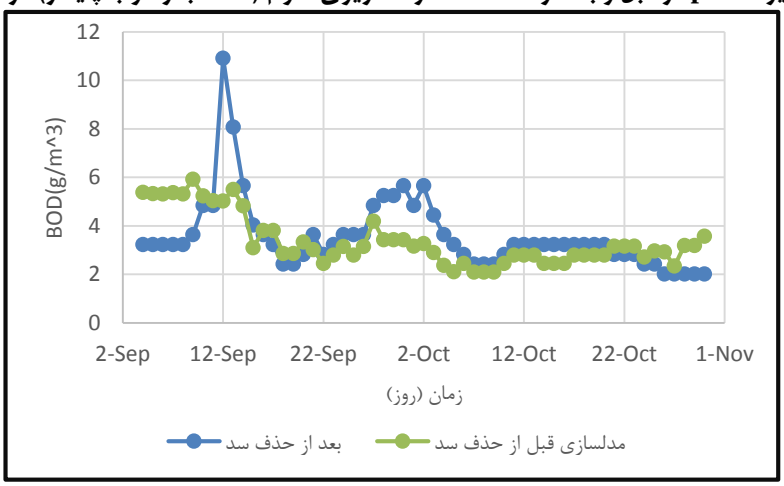
شکل ۱۲ در مقطع ایستگاه آق‌قلا، نشان می‌دهد که میزان pH آب در این سناریو، مانند سناریوی اول (حذف کامل) و سناریوی دوم (حذف پله‌ای سد)، تغییری ندارد. میزان pH در ایستگاه هیدرومتری بصیرآباد نیز قبل و بعد از حذف سد در این سناریو، تغییر چندانی نداشته است. در ابتدای دورهٔ مدل‌سازی، اختلاف زیادی در مراحل اولیه (۲۰ روز اول) مشاهده می‌شود. ولی با گذشت زمان نتایج پایدارتر شده، و تغییر pH آب رودخانه در شرایط قبل و بعد از حذف سد کمتر می‌شود. در مقطع ایستگاه آق‌قلا، شکل ۱۳ نشان می‌دهد که میزان اکسیژن مورد نیاز زیستی (BOD) در این سناریو تغییرات زیادی نداشته است و مقدار آن کمتر از سناریوهای اول و دوم می‌باشد. در این سناریو، شرایط BOD ثابت مانده است. در ایستگاه هیدرومتری بصیرآباد نیز میزان BOD مشابه شرایط DO است، و اثرات حذف سد جزیی می‌باشد. در مقطع ایستگاه آق‌قلا، شکل ۱۴ نشان می‌دهد که مقدار مواد جامد محلول (TDS) در این سناریو نزدیک-ترین حالت را نسبت به شرایط قبل از حذف داشته است به‌طوری با افزایش بده، روند کاهشی نشان می‌دهد که در این حالت شرایط محیط زیستی رودخانه به میزان کمی بهبود



شکل ۱۲- تغییرات اکسیژن محلول DO در قبل و بعد از حذف سد در سناریوی سوم (حذف با رسوب پایدار) در ایستگاه آق‌قلا



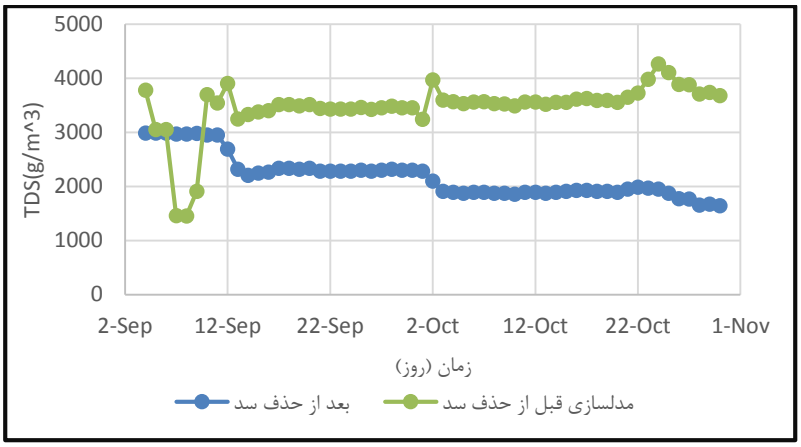
شکل ۱۳- تغییرات pH در قبل و بعد از حذف سد در سناریوی سوم (حذف با رسوب پایدار) در ایستگاه آق‌قلا



شکل ۱٤- تغییرات BOD در قبل و بعد از حذف سد در سناریوی سوم (حذف با رسوب پایدار) در ایستگاه آق‌قلا

می‌یابد. در ایستگاه هیدرومتری بصیرآباد نیز مقدار TDS در روزهای ابتدایی مدل‌سازی برابر با مقدار آن قبل از حذف سد می‌باشد، و به مرور زمان روند کاهشی داشته است که ممکن است علت آن افزایش بده و کاهش بار رسوبی خروجی از سد به رودخانه باشد.

میزان اکسیژن محلول (DO) در سه سناریوی حذف سد و در دو بازهٔ مطالعاتی، روند افزایش داشته است. این افزایش بیانگر بهبود شرایط کیفی جریان رودخانه به‌دلیل افزایش بده جریان پایهٔ رودخانه در پایین‌دست می‌باشد. در سناریوی دوم (حذف پله‌ای سد)، مقدار اکسیژن محلول (DO) با گذشت زمان افزایش می‌یابد. در ابتدای مدل‌سازی، مقدار آن کمتر از سناریوی سوم (حذف با رسوب پایدار) بوده است اما به



شکل ۱۵- تغییرات TDS در قبل و بعد از حذف سد در سناریوی سوم (حذف با رسوب پایدار) در ایستگاه آق‌قلا

توجه به روند کاهشی مقدار DO در سناریوی سوم می‌توان بیان کرد که پس از گذشت زمان، مقدار آن در سناریوی دوم وضعیت بهتری پیدا می‌کند. مقدار اکسیژن مورد نیاز زیستی (BOD) تغییر چندانی در سه سناریوی حذف سد نداشته است و اختلاف آن میان سه سناریو کمتر از ۵٪ می‌باشد. در ارتباط با pH نیز شرایط همانند اکسیژن محلول است. مقدار pH در سناریوی دوم (حذف پله‌ای) ابتدا در یک بازهٔ زمانی ثابت و در ادامه به مقدار کمی افزایش داشته است، ولی با گذشت زمان شرایط به میزان مطلوبی می‌رسد. در سناریوی سوم (حذف با رسوب پایدار)، مقدار pH در ابتدای مدل‌سازی در وضعیت بهتری قرار داشته است اما با گذشت زمان مقدار آن کاهش می‌یابد ولی در هر دو شرایط قبل و بعد از حذف سد، تغییرات جزیی داشته است. به‌طورکلی، میزان pH در سه سناریوی حذف سد، تحت تأثیر جریان و تغییرات ریخت‌شناختی رودخانه قرار نگرفته است.

مقدار مواد جامد محلول (TDS) در سناریوی سوم (حذف با رسوب پایدار) از دو سناریوی دیگر بهتر است. در سناریوهای اول و دوم، رودخانه از حالت پایدار خارج شده و در حال فرسایش و رسوب‌گذاری است، از این‌رو مقدار TDS در این سناریوها از سناریوی سوم بیشتر است، که سبب کاهش کیفیت رودخانه می‌شود. با این حال می‌توان عنوان کرد که با گذشت زمان رودخانه به سمت پایداری رفته و احتمال بهبود مقدار مواد جامد محلول (TDS) در سناریوی اول و دوم نیز وجود دارد، اما این فرآیند طولانی خواهد بود.

به‌طور کلی، در هر سه سناریوی حذف سد، میزان TDS در روزهای اولیه شبیه‌سازی برابر یا بالاتر از میزان آن در قبل از حذف می‌باشد. با گذشت زمان، از میزان TDS کاسته شده است که علت آن می تواند تغییر زیست‌بوم رودخانه برای بازیافت حالت طبیعی باشد.

نتایج کلی مدل‌سازی کیفی آب نشان داد که سناریوی دوم (حذف پله‌ای سد) گزینهٔ مناسب‌تر از نظر شرایط محیط زیستی گرگانرود است. در مطالعات Ghaffari و همکاران (۲۰۲۲)، این سناریو از نظر ریخت شناسی هیدرولیکی نیز بهتر بوده است؛ زیرا حجم قابل توجهی از رسوبات به‌صورت تدریجی و مرحله‌ای از مخزن سد به پایین‌دست انتقال می‌یابد؛ و کم‌ترین تنش را به پایین‌دست رودخانه وارد می‌کند.

نتیجه‌گیری

مخزن سد وشمگیر بر روی رودخانهٔ گرگانرود در استان گلستان، در حال حاضر از کارایی خود خارج شده و بیش از ۶۴ درصد حجم مخزن را رسوب فراگرفته است همچنین عمر مفید سد پایان یافته است. در پژوهش حاضر، اثرات حذف سد وشمگیر بر فاکنورهای کیفی و محیط زیستی در پائین‌دست رودخانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مدل‌سازی نشان داد که سناریو دوم (حذف پله‌ای سد) گزینه مناسب‌تری است. با حذف سد و در پائین‌دست رودخانه، اکسیژن محلول (DO) افزایش می‌یابد. اکسیژن مورد نیاز زیستی (BOD) به مقدار کمتری (کمتر از ۱۰ درصد نسبت به شرایط رودخانه

قبل از حذف) افزایش خواهد داشت. میزان pH تغییر زیادی نخواهد کرد. با گذشت زمان، از میزان کل مواد جامد محلول (TDS) کاسته می‌شود. به‌طورکلی، حذف سد وشمگیر سبب بهبود شرایط کیفی رودخانه و بازتوانی محیط زیستابی گرگانرود خواهد شد.

تشکر و قدردانی

از سازمان آب منطقه‌ای استان گلستان، سازمان محیط زیست استان گلستان، مؤسسه آب دانشگاه تهران جهت همکاری در تأمین بخشی از داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز در انجام این تحقیق تشکر و سپاسگزاری می‌گردد.

References

Bednarek, A.T., 2003. Undamming Rivers: A review of the ecological impacts of dam removal. Journal of Environmental Management 62(2), 201-232.

Bellmore, J.R., Duda, J.J., Craig, L.S., Greene, S.L., Torgersen, C.E., Collins, M.J., & Vittum, K. (2017). Status and trends of dam removal research in the United States. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water 4(2), e1164.

Bijker, W.E., 2006. Dikes and Dams, Thick with Politics. Journal of Isis, 98(1), 109-123.

Emamgholi, Z., Yasi, M., 2020. Impacts of variation of river geometry on flowing water quality (Case Study: Ghezel Ozan River). Journal of Hydraulics 14(4), 1-17. (In Persian)

Foley, M.M., Bellmore, J,R., O'Connor, J.E., Duda, J.J., East, A.E., Grant, G.E., Anderson, C.W., 2017. Dam removal: Listening in. Journal of Water Resources Research 53(7), 5229-5246.

Germaine, M.A., 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.

Ghaffari, S., Yasi, M., Farhoudi, J., 2022. Simulation of river morphological changes under Voshmgir Dam removal condition-Gorganrud River. Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering 16(56), 12-21. (In Persian).

Graf, W.L., 2006. Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers. Journal of Geomorphology 79(3-4), 336-360.

Habel, M., Mechkin, K., Podgorska, K., Saunes, M., Babiński, Z., Chalov, S., Absalon, D., Podgórski, Z., Obolewski, K., 2020. Dam and reservoir removal projects: a mix of social-ecological trends and cost-cutting attitudes. Scientific Reports 10(1), 192-210.

Kannel, P.R., Leea, S., Lee, Y.S., Kanel, S.R., Pelletier, G.J., 2007. Application of automated QUAL2KW for water quality modeling and management in the Bagmati River, Nepal. Journal of Ecological Modeling 202, 503517.

Ligon, F., Dietrich, W., Trush, W., 1995. Downstream ecological effects of dams. Journal of BioScience 45(3), 183-192.

Lindenschmidt, K.E., Carr, M.K., Sadeghian, A., 2019. CE-QUAL-W2 model of dam outflow elevation impact on temperature, dissolved oxygen and nutrients in a reservoir. Journal of Scientific Data 6, 312, 1-7.

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

Maingi, J. K., Marsh, S.M., 2002. Quantifying hydrologic impacts following dam construction along the Tana River, Kenya. Journal of Arid Environments 50, 53-79.

Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D., Veith, T.L., 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Journal of American Society of Agricultural and Biological Engineers 50(3), 885-900.

Pelletier, G.J., Chapra, S.C., 2008. QUAL2KW, theory and documentation: A modeling framework for simulating river and stream water quality. Department of Ecology Publications Distributions Office. Publication 08-03.

Poff, N., Zimmerman, J., 2010. Ecological responses to altered flow regimes: A Literature Review to Inform the Science and Management of Environmental Flows. Journal of Freshwater Biology 55, 194-205.

Poff, N.L., Hart, D.D., 2002. How dams vary and why it matters for the emerging science of dam removal. Journal of Bioscience 52, 659-668.

Poulos, H.M., Chernoff, B., 2016. Effects of Dam Removal on Fish Community Interactions and Stability in the Eightmile River System, Connecticut, USA. Environmental Management 59, 249-263.

Rafiee, M.; Ali, A., Mohammad, A., Moazed, H., Lyon, S.W., Jaafarzadeh, N., 2013. A case study of water quality modeling of the Gargar River. Iranian Journal of Hydraulic Structures 1(2), 10-22. (In Persian)

Roberts, S.J., Gottgens, J.F., Spongberg, A.L., Evans, J.E., Levine, N.S., 2007. Assessing potential removal of low-head dams in urban settings: An example from the Ottawa River, NW Ohio. Journal of Environmental Management 39, 113-124.

Sazepardazi-Iran Consulting Engineers, 2007. Golestan Dam, Bostan and Vashmgir Dam breakdown studies. Published by Golestan Water Affair, Iran. 270 p. (In Persian)

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

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

Talebzadeh, J., 2010. Analysis of reservoir sediment transport, while removing the dam, using numerical modeling. M.Sc. Thesis. Shiraz University. 110 p. (In Persian).

Wana, Y., Suna, D., Labadie, J., 2014. Modelling evaluation of dam removal in the context of river ecosystem restoration. Journal of River Research and Application 31(9), 1119-1130.

Water Institute-University of Tehran, 2012. Golestan Dam, Bostan and Vashmgir Dam Breakdown Studies. Published by Golestan Water Affair, Iran. 240 p. (In Persian)

Original Article

Journal of Natural Environment 75(Special Issue): 227-242 (2023)
Print ISSN: 2008-7764/Online ISSN: 2423-7817
https://jne.ut.ac.ir/

Modeling of river water qualitative changes under Voshmgir dam removal condition, Gorganrud River

Javad Masoomifar[1], Mehdi Yasi[*2], Javad Farhoudi[3]

Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran

[*]Corresponding author: m.yasi@ut.ac.ir

Abstract

Dam removal is one of the methods of restoring the river ecosystem. The decision to remove a dam is based on the multidisciplinary indicators and the type of dam body and its location, as well as the downstream conditions and the type of dam removal method. 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. In the first step, numerical modeling for river morphological changes was performed using the 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 second scenario (stepped removal of the spillway) is the best alternative due to the gradual processes of river-bed changes. In the present research, the two-dimensional hydrodynamic and water quality model CE-QUAL-W2 is used for qualitative modeling of Gorganrud River in three scenarios of dam removal, within 128 km downstream of Vashmgir dam to the Caspian Sea Estuary. Qualitative modeling was performed for the existing conditions of Gorganrud (without removing the Vashmgir dam) at two hydrometric stations of Aqqala (68 km downstream of the Vashmgir dam) and and Basirabad (112 km downstream of Vashmgir Dam), where a set of water level and water-quality data was available for model calibration. Model results are presented in the period of rapid river changes after dam removal up to 60 days. Based on the results of qualitative modeling, the amount of dissolved oxygen (DO) has increased in three scenarios of dam removal in two sections of the river (Aqqala and Basirabad). The amount of biochemical oxygen demand (BOD) in the first scenario (complete removal) and the second (stepping removal) has increased slightly (less than 10% of the river conditions before removal). In the third scenario (removal with stable deposition), no significant change in BOD occurred. In three scenarios and in both study periods, the pH changed very little in the two periods, before and after the removal of the dam. The total amount of soluble solids (TDS) in the early days of the simulation is equal to or greater than that before removal. The TDS rate is to be decreased by time. The overall results indicated that the second scenario of the dam removal (i.e. stepped removal of the spillway) is the best alternative due to the less impacts on the river-bed changes, and the gradual processes of river-ecosystem rehabilitation.

Keywords: Dam removal, River Ecosystem, Environmental modeling, Gorganrud River, Vashmgir Dam