Arch

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و هفتم، شماره دوم، ۱۳۹۹
۸۹-۱۰۸
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2020.17493.3296

ارزیابی عملکرد سدهای اصلاحی در کنترل دبی و بار رسوبی در دوره عمر مفید (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کند)

***شهربانو عباسی جندانی[۱]، علی‌اکبر نظری سامانی[۲] و سید مهدی حشمت‌الواعظین[۲]**

[۱]دانش‌آموخته دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تهران، [۲]دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۰۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۱۶

چکیده

سابقه و هدف: ارزیابی عملکرد عملیات آبخیزداری همواره با مقایسه پاسخ‌های حوزه آبخیز در شرایط قبل و بعد از اجرای عملیات انجام می‌شود. این روند سبب می‌شود تا اثر عملیات در طول زمان پخش شده و اثر واقعی آن دیده نشود و متعاقباً ضعف آن سری عملیات در طول زمان ناشناخته باقی بماند. بنابراین با توجه به اهمیت سدهای اصلاحی در برنامه‌های آبخیزداری در ایران، هدف از این مطالعه تعیین زمان واقعی تأثیر یا عمر مفید سدهای اصلاحی در کنترل دبی و بار رسوبی و ارزیابی میزان اثربخشی آن‌ها در حوزه آبخیز کند واقع در استان تهران است.

مواد و روش‌ها: ابتدا عمر مفید سدهای اصلاحی در حوزه آبخیز کند براساس اطلاعات به‌دست‌آمده از منحنی جرم مضاعف بارش- رواناب و پایش‌های میدانی تعیین شده است. بر اساس طول عمر مفید به‌دست آمده، دوره مطالعاتی (۹۴-۱۳۵۶) به سه دوره تقسیم شده است: قبل از احداث سدهای اصلاحی (دوره اول)، عمر مفید سدهای اصلاحی (دوره دوم) و اتمام عمر مفید سدهای اصلاحی (دوره سوم) و تغییرات دبی و بار رسوبی خروجی از حوزه آبخیز بررسی شده و با رویکرد مرسوم مقایسه شده است. برای برآورد بار رسوبی در هر دوره نیز از روش‌های منحنی سنجه رسوب استفاده شده است.

یافته‌ها: نقاط زمانی وقوع شکستگی شیب در منحنی جرم مضاعف و نیز پایش‌های میدانی نشان می‌دهد که مدت‌زمان تأثیر (عمر مفید) سدهای اصلاحی در حوزه آبخیز کند به‌طور میانگین چهار سال (از سال ۱۳۷۸ تا اوایل سال ۱۳۸۲) بوده است. نتایج حاصل از ارزیابی اثرات سدهای اصلاحی در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد که با وجود یکسان بودن شرایط بارش، مقدار دبی خروجی و دبی‌های مشخصه بیشینه، متوسط و کمینه در دوره دوم نسبت به دوره اول به‌ترتیب ۴۳، ۴۹/۶۶، ۵۳/۲۸ و ۱۰۰ درصد کاهش یافته است. مقدار کاهش بار رسوبی در دوره دوم نسبت به دوره اول بسیار محسوس‌تر بوده و ۹۲/۴۷ درصد می‌باشد. این در حالی است که با اتمام عمر مفید سدهای اصلاحی (دوره سوم)، مقدار دبی و بار رسوبی خروجی از حوزه آبخیز کند، افزایش یافته و به سطح مقادیر دوره اول باز می‌گردد.

* مسئول مکاتبه: sh.abbasi@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقایسه نتایج حاصل از این رویکرد ارزیابی (تعیین عمر مفید) با رویکرد مرسوم (قبل و بعد از اجرای طرح) نیز نشان می‌دهد که در رویکرد مرسوم به‌دلیل توزیع اثر عملیات در طول زمان، عملکرد واقعی سدهای اصلاحی معادل نصف عملکرد واقعی آن‌ها سنجیده خواهد شد.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در نظر گرفتن عمر مفید در فرآیند ارزیابی، نتایج واقع‌بینانه‌تری را ارائه خواهد داد. در واقع، هر چند کارایی سدهای اصلاحی در طول عمر مفید آن‌ها در حوزه آبخیز کند، بسیار قابل‌توجه بوده، اما کوتاهی عمر مفید ضعف قابل‌توجه این نوع از عملیات آبخیزداری بوده است. علاوه بر این، تکیه بر سدهای اصلاحی برای پایدارسازی حوزه آبخیز کند راهکار موفقی نبوده و تنها مانع خروج رسوب تولیدی از حوزه آبخیز شده است و به همین دلیل در دوره سوم، پاسخ‌های حوزه آبخیز به شرایط قبل از اجرای عملیات بازگشته است. بنابراین، منفعت حاصل از اجرای عملیات آبخیزداری در حوزه آبخیز کند، برون‌حوزه‌ای بوده و اثرات درون‌حوزه‌ای در آن، محدود به کاهش شیب آبراهه اصلی بوده است. در واقع، در صورتی می‌توان عمر مفید سدهای اصلاحی را افزایش داد که عملیات آبخیزداری با اثرات درون‌حوزه‌ای در اولویت قرار بگیرند و این امر خود مستلزم کنترل فرسایش در منشأ، یعنی دامنه‌ها است.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی، سد اصلاحی، عمر مفید، منحنی جرم مضاعف، منحنی سنجه رسوب

مقدمه

رشد حوزه‌های آبخیزهای ایران در قرن حاضر و خصوصاً دهه‌های اخیر، دچار دگرگونی‌های زیادی در زمینه مدیریت و پوشش گیاهی شده‌اند. برآیند نیروهای مخرب ناشی از مشکلات گذشته و حال موجب شده است که فرسایش و تولید رسوب از سطح حوزه‌های آبخیز به‌شدت افزایش یابد. هرچند در مورد مقدار فرسایش خاک در کشور نظر واحدی وجود ندارد، اما عربخدری (۲۰۰۳) بر اساس بررسی اسناد موجود، مقدار فرسایش متوسط کشور را در حدود یک میلیارد تن در سال تخمین زده است (۳). بنابراین کاهش تولید رسوب نیازمند اجرای روش‌های مناسب کنترل رسوب و حفاظت خاک در مناطق بحرانی حوزه آبخیز می‌باشد. سابقه حفاظت خاک در ایران به سال ۱۳٤۰ بازمی‌گردد. در این مدت طرح‌های آبخیزداری متعددی که عمدتاً شامل عملیات مکانیکی (سازه) و بیولوژیکی بوده با هدف کنترل فرسایش، رسوب و سیل و کاهش پیامدهای مخرب ناشی از آن‌ها تهیه و اجرا شده است؛ اما با وجود همه تلاش‌ها و سرمایه‌گذاری‌های سنگین در این بخش، فرسایش خاک و تخریب منابع طبیعی هم‌چنان رو به افزایش است و به‌نظر می‌رسد تلاش‌های انجام شده در کل ناموفق و غیر مؤثر بوده‌اند (۱) و نتوانسته‌اند به افق‌های مدنظر دست یابند.

ارزیابی، یک تحلیل سامانمند است و در مفهوم وسیع به فرآیند تشخیص، تعیین و کمی‌سازی اثرات مورد انتظار اقدامات یا یک مجموعه اقدامات اطلاق می‌شود (۲٤). مطالعات زیادی در مورد ارزیابی طرح‌های آبخیزداری در داخل و خارج از کشور انجام شده است. برای نمونه در داخل کشور می‌توان به مقدسی و همکاران (۲۰۱۵)؛ نورعلی و قهرمان (۲۰۱٦)؛ خالدی درویشان و همکاران (۲۰۱۸)؛ معماریان خلیل‌آباد و همکاران (۲۰۱۸)؛ پروینی و همکاران (۲۰۱۸)؛ پرویزی و همکاران (۲۰۱۸)؛

www.SID.ir

Archive of SID

تیموریان و همکاران (۲۰۱۸) (۱۵، ۲۰، ۲۱، ۲۷، ۲۹، ۳۰ و ۳۵) و در خارج از کشور به اعرابی و همکاران (۲۰۰۶)؛ کاینی و همکاران (۲۰۱۲)؛ براون و همکاران (۲۰۱۶)؛ لی یو و همکاران (۲۰۱۶)؛ گویسا و همکاران (۲۰۱۷)؛ سوچیارو و همکاران (۲۰۱۹)؛ نیکلز و پلیاکو (۲۰۱۹)؛ تانگ و همکاران (۲۰۱۹) و یوآن همکاران (۲۰۱۹) (۲، ۵، ۶، ۹، ۱۳، ۱۷، ۲۶، ۳۴ و ۳۶) اشاره کرد. معیار ارزیابی این طرح‌ها اغلب بر اساس منافع تأثیرگذار بر جنبه اکوسیستمی بوده که با شاخص‌هایی هم‌چون درصد پوشش گیاهی، افزایش حاصلخیزی خاک و کاهش تولید رسوب اندازه‌گیری می‌شوند. این نوع ارزیابی که ارزیابی اثرات[1] نیز نامیده می‌شود یک تحلیل نظام‌مند است که اثرات ناشی از اجرای یک عملیات را مشخص می‌کند (۲۴). با وجود این‌که بسیاری از این پژوهش‌ها به عملکرد مثبت عملیات آبخیزداری اشاره کرده‌اند، اما روند تخریبی موجود در حوزه‌های آبخیز ایران (۱ و ۳۰)، نشان‌دهنده ناموفق بودن طرح‌های اجراشده در رسیدن به اهداف موردنظر و یا تأثیر بسیار کم‌تر از حد انتظار آن‌ها بوده است. این نتیجه‌گیری می‌تواند ناشی از دو دلیل مهم باشد: اول این‌که فرآیند ارزیابی اتخاذشده در پژوهش‌ها نامناسب بوده و توانایی سنجش جامع و درست طرح‌ها را نداشته و همین موضوع سبب بروز خطا در نتایج ارزیابی شده است. بنابراین نتایج حاصل از پژوهش‌های انجام‌شده به‌علت دارا بودن نقص‌های علمی و زیربنایی باید به‌طور محتاطانه مورداستفاده قرار گیرد (۱۸). مورد دوم تأکیدی بر این واقعیت است که بسیاری از طرح‌های اجراشده نیز در ذات خود با مشکلات متعددی مانند انتخاب و جانمایی نامناسب، طراحی و اجرای نادرست و غیراصولی، عدم تطابق با شرایط حوزه آبخیز و نیز عدم توانایی برای برآورد هدف مورد انتظار مواجه هستند.

دراین‌بین، یکی از نقص‌های دارای اهمیت در زمینه ارزیابی عملیات آبخیزداری، مقیاس زمانی می‌باشد. در واقع، لازم است تا ارزیابی‌ها در یک دوره زمانی قابل‌قبول که همان عمر مفید عملیات است، انجام شود؛ اما تاکنون در فرآیندهای ارزیابی، عمر مفید عملیات لحاظ نشده است. امروزه رویکرد رایج در فرآیند ارزیابی عملیات آبخیزداری براساس مقایسه پاسخ‌های حوزه آبخیز در شرایط قبل و بعد از عملیات است. شرایط بعد از اجرای عملیات آبخیزداری نیز غالباً بازه زمانی از زمان اجرا تا زمان بررسی در نظر گرفته شده است؛ اما عمر مفید پروژه برابر با مدت‌زمانی است که استفاده از آن پروژه مقرون‌به‌صرفه باشد و این مدت لزوماً برابر با طول عمر یک پروژه نیست. این تفاوت ظریف بین معنای دو واژه عمر مفید پروژه و عمر پروژه سبب شده است که بسیاری از پژوهش‌های انجام‌شده در مورد ارزیابی کارایی عملیات آبخیزداری، با واقعیت منطقه و پروژه همخوانی نداشته باشند و گاهی منجر به ارائه تحلیل‌های نادرستی شوند.

سدهای اصلاحی یکی از مهم‌ترین سازه‌های مهندسی برای کنترل فرسایش خاک، نگهداشت سیلاب و رسوبات و افزایش زمین‌های کشاورزی هستند (۱۶ و ۲۸) و بیش‌ترین حجم و هزینه عملیات آبخیزداری انجام‌شده در ایران را شامل می‌شوند. بنابراین بررسی عملکرد و اثرات آن‌ها در حوزه‌های آبخیز جهت شناسایی نقاط قوت و ضعف آن‌ها و استخراج مناسب‌ترین روش‌های آبخیزداری برای حفاظت و اصلاح حوزه‌های آبخیز مشابه، ضروری است. بااین‌وجود، به‌دلیل مشخص نبودن طول عمر مفید، اثر واقعی آن‌ها مشخص نبوده و همواره اثر آن‌ها در کل دوره زمانی بعد از اجرا سنجیده شده است. برای تعیین عمر مفید نیز به اطلاعات و داده‌هایی نیاز است که تغییرات درگذر زمان را ثبت کرده باشند

1- Impact Assessment

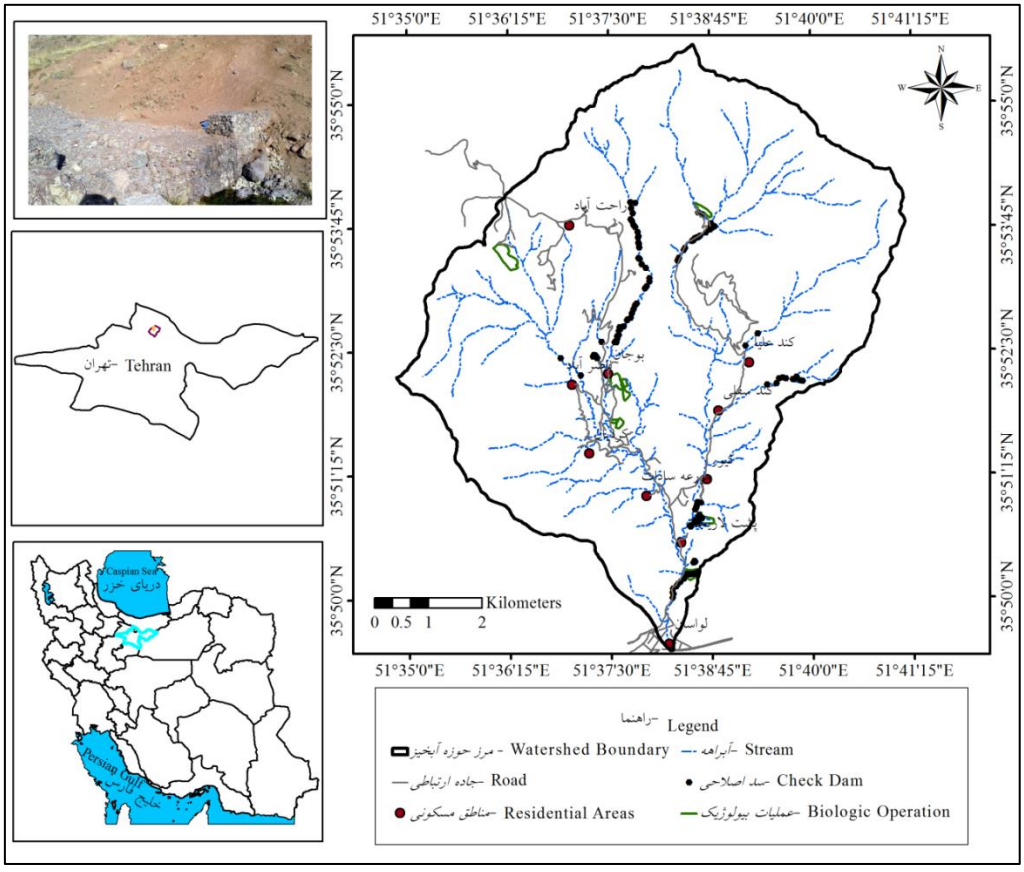
www.SID.ir

Archive of SID

(۲۸)، اما متأسفانه به‌دلیل نبود سیستم‌های آماربرداری و پایش در بسیاری از مناطق و به‌خصوص کشور ایران، تعیین این زمان بسیار سخت و چالش‌زا است. بنابراین هدف از این پژوهش، تعیین عمر مفید سدهای اصلاحی با تکیه بر داده‌های در دسترس و نیز ارائه یک رویکرد جدید در زمینه ارزیابی طرح‌های آبخیزداری و مقایسه آن با رویکرد مرسوم می‌باشد. بر همین اساس تحت یک مطالعه موردی، عملکرد سدهای اصلاحی در حوزه آبخیز کند واقع در بالادست سد لتیان در استان تهران، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه موردمطالعه: حوزه آبخیز کند با مختصات طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی در استان تهران و شهرستان شمیرانات واقع‌شده و در محدوده حوزه آبخیز سد لتیان قرار دارد (شکل ۱). دو آبراهه اصلی این حوزه آبخیز بنام‌های کند و ناصرآباد (بوجان) می‌باشند. وسعت حوزه آبخیز کند ۵۸۴۴ هکتار، حداقل ارتفاع آن ۱۶۸۰ متر، حداکثر ارتفاع آن ۳۸۸۰ متر می‌باشد. شیب متوسط حوزه آبخیز کند ۵۸/۸۱ درصد می‌باشد که نشان‌دهنده پرشیب بودن حوزه آبخیز مطالعاتی است. شیب خالص آبراهه اصلی نیز ۷/۴۴ درصد است. میانگین بارش سالانه در این حوزه آبخیز نیز با در نظر گرفتن سه ایستگاه هواشناسی امامه، راحت‌آباد و کندسفلی، ۶۳۷/۱۸ میلی‌متر است.



شکل ۱- نمایی از حوزه آبخیز کند و موقعیت عملیات آبخیزداری اجراشده در آن.

Figure 1. A view of Kond watershed and the location of watershed management operation.

www.SID.ir

Archive of SID

در سال ۱۳۷۸ در طی یک برنامه عملیات مدیریتی، حدود ۱۳۰ سازه گابیونی و سنگ و ملاتی در حوزه آبخیز کند اجرا شده است. عملیات بیولوژیک و بیومکانیکی در این حوزه آبخیز نیز به‌صورت محدود در چند دامنه اجراشده که به‌دلیل وسعت بسیار کم، تأثیر آن‌ها صرفاً محلی بوده و در مقیاس حوزه آبخیز بدون تأثیر بوده‌اند. بنابراین در این پژوهش تأثیر واقعی سدهای اصلاحی بر روی دبی و بار رسوبی خروجی از حوزه آبخیز کند در دوره آماری ۹۴-۱۳۵۶ با رویکرد جدیدی ارزیابی‌شده است. بدین‌منظور، ابتدا بازه زمانی تأثیر سدهای اصلاحی و به‌عبارت‌دیگر، عمر مفید آن‌ها تعیین‌شده و سپس دوره آماری به سه دوره قبل از احداث سدهای اصلاحی (دوره اول)، در طول عمر مفید سدهای اصلاحی (دوره دوم) و بعد از اتمام عمر مفید سدهای اصلاحی (دوره سوم) تقسیم‌بندی شده است. با تعیین عمر مفید، پاسخ‌های حوزه آبخیز (دبی آب و بار رسوبی خروجی از حوزه آبخیز) به تفکیک هر دوره محاسبه و بررسی‌شده و ارزیابی اثرات بر مبنای مقایسه پاسخ‌های حوزه آبخیز در طول دوره‌های تفکیک‌شده، انجام‌شده است. بنابراین این پژوهش شامل چهار گام اصلی است:

الف- تعیین عمر مفید سدهای اصلاحی: برای تعیین عمر مفید سدهای اصلاحی و یا به‌عبارتی مدت‌زمان تکمیل ظرفیت مخزن این سازه‌ها از منحنی جرم مضاعف، استفاده شده است. منحنی‌های جرم مضاعف از ابزارهای تحلیلی بسیار اساسی و پایه هستند و می‌توان در انواع بسیاری از داده‌های هیدرولیک و هیدرولوژیک از آن‌ها استفاده کرد. منحنی جرم مضاعف نمودار مقادیر تجمعی یک متغیر در برابر مقادیر تجمعی متغیر دیگری در یک بازه زمانی مشابه است. تئوری منحنی جرم مضاعف این است که با ترسیم نمودار دو متغیر تجمعی، داده‌ها باید به‌صورت یک خط مستقیم قرار گیرند و شیب این خط نشان‌دهنده ثبات تناسب بین این دو متغیر است (۳۳). بنابراین وجود شکستگی در شیب منحنی جرم مضاعف که ناشی از افزایش ناگهانی در روند تغییرات است (۲۳) نشان می‌دهد که یا در ثابت تناسب بین دو متغیر تغییری رخ داده و یا شاید تناسب در همه نرخ‌های تجمعی ثابت نبوده است. اگر از احتمال نسبت متغیر بین دو کمیت چشم‌پوشی شود، شکست در شیب نشان‌دهنده زمانی است که در ارتباط بین دو متغیر تغییری رخ داده است (۳۳). بر همین اساس، از اطلاعات حاصله از این منحنی‌ها می‌توان به‌عنوان نشانگرهای زمانی استفاده کرد. منحنی‌های جرم مضاعف ابزار مناسبی برای تشخیص و شناسایی زمان شروع تأثیر پروژه و نیز تعیین بازه زمانی مؤثر آن‌ها می‌باشند. در این پژوهش، با توجه به در دسترس بودن داده‌های طولانی‌مدت از دبی و بارش در منطقه مطالعاتی در دوره آماری ۹۴-۱۳۵۶، منحنی جرم مضاعف بر اساس ارتفاع رواناب و بارش تجمعی حوزه آبخیز کند ترسیم شده است تا مدت‌زمان تأثیر سدهای اصلاحی (عمر مفید) بر روی دبی و بار رسوبی خروجی از حوزه آبخیز کند موردبررسی قرار گیرد. ارتفاع رواناب نیز بر اساس مقدار دبی خروجی از حوزه آبخیز کند، تعیین شده است. در این حالت، شیب منحنی جرم مضاعف بارش- رواناب نشان‌دهنده ضریب رواناب و تغییرات آن است. ضریب رواناب از یک منظر مفهومی مکانی داشته و نشان‌دهنده سیل‌خیزی یک حوزه آبخیز است؛ اما از منظری دیگر مفهومی حوزه‌ای داشته و نشان‌دهنده میزان تولید جریان در یک حوزه آبخیز است. در واقع در این مطالعه، ضریب رواناب بیانگر ضریب جریان حوزه آبخیز است. علاوه بر این، جهت صحت‌سنجی نتایج به‌دست آمده از منحنی جرم مضاعف و با توجه به این‌که مخزن تمامی سدهای اصلاحی موجود در حوزه

www.SID.ir

Archive of SID

آبخیز کند، پر بوده، شاخص‌هایی جهت پایش وضعیت پر شدن مخزن در تاریخ ۱۳۹۶/۰۹/۰٤ در مخزن نیمه‌پر یکی از سدهای اصلاحی حوزه آبخیز مجاور یعنی حوزه آبخیز امامه نصب شده و در مدت یک سال پایش شده است.

علاوه بر این، برای تعیین نقاط تغییر در رواناب خروجی از حوزه آبخیز کند، از آزمون همگنی پتیت[1] نیز استفاده شده است. این آزمون یکی از آزمون‌های ناپارامتری برای تعیین نقطه جهش (تغییر ناگهانی) یک سری زمانی است و به‌طور گسترده برای تشخیص در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی و اقلیمی استفاده می‌شود (۳۱).

ب- محاسبه دبی خروجی از حوزه آبخیز به تفکیک دوره‌های مطالعاتی: با توجه به وجود داده پیوسته از دبی خروجی از حوزه آبخیز کند در محل ایستگاه هیدرومتری نجارکلا، از مقدار تغییرات دبی برای بررسی تأثیر سدهای اصلاحی بر جریان آب استفاده شده است. علاوه بر این، دبی مشخصه بیشینه، کمینه و متوسط نیز محاسبه‌شده و درصد تغییرات آن به‌دست آمده است. دبی مشخصه بیشینه نشان‌دهنده مقداری است که ۱۰ روز در سال، دبی از آن بیش‌تر باشد. دبی مشخصه متوسط دبی با فراوانی ۵۰ درصد است و ٦ ماه از سال دبی از آن بیش‌تر است. دبی مشخصه کمینه نیز مقدار جریانی است که در ۳۵۵ روز از سال، دبی بیش از این مقدار باشد (۱۹). برای محاسبه دبی‌های مشخصه، ابتدا دبی میانگین روزانه دوره‌های مطالعاتی، به‌ترتیب صعودی به نزولی مرتب‌شده و سپس دبی مشخصه بیشینه، کمینه و متوسط تعیین شده است.

پ- محاسبه بار رسوبی خروجی از حوزه آبخیز به تفکیک دوره‌های مطالعاتی: اندازه‌گیری بار رسوبی در ایستگاه نجارکلا به‌صورت محدود و ماهانه یک الی دو بار انجام می‌شود. امروزه به‌علت عدم وجود داده‌های پیوسته و مداوم از غلظت رسوب، از منحنی‌های سنجه رسوب برای تخمین غلظت رسوب معلق با استفاده از داده‌های دبی جریان استفاده می‌شود (۳۲). در این روش که یکی از روش‌های هیدرولوژیک برآورد بار معلق است، رابطه توانی بین دبی جریان و دبی رسوب معلق برقرار شده و با استفاده از آن می‌توان مقدار رسوب انتقالی را برآورد کرد. البته برآورد رسوب از طریق این معادله همواره با مقداری خطا همراه می‌باشد (٤).

روش‌های برآورد رسوب از نظر نوع منحنی سنجه و استفاده از دبی جریان، به منحنی سنجه یک‌خطی، چندخطی و حد وسط دسته‌ها طبقه‌بندی می‌شوند که تمامی آن‌ها از رابطه اداره احیای اراضی آمریکا (USBR[2]) پیروی می‌کنند. این تابع به‌صورت رابطه ۱ است:

$$Q_s=aQ_w^b \qquad (1)$$

که در آن، Q_s دبی رسوب (ml/l یا ton/d)، Q_w دبی جریان (m^3/s) و a و b ضرایب ثابت معادله هستند.

مدل یک‌خطی: در روش منحنی رسوب یک‌خطی، داده‌های موجود از اندازه‌گیری دبی رسوب و دبی آب متناظر با آن به صفحه مختصات لگاریتمی منتقل‌شده و خط بهترین برازش بر مبنای روش حداقل مربعات خطا از میان آن‌ها عبور داده می‌شود. سپس یک رابطه رگرسیونی منحنی سنجه به‌صورت معادله توانی استخراج می‌گردد.

مدل چندخطی: در روش منحنی سنجه رسوب چندخطی و بر اساس توصیه USBR بر مبنای گذر حجمی رودخانه چنان‌چه وضعیت پخشیدگی داده‌ها اقتضا کند، به‌جای یک خط رگرسیون، می‌توان دو یا

1- Pettitt

2- U.S. Bureau of Reclamation

www.SID.ir

Archive of SID

چند خط را از میان داده‌های اندازه‌گیری‌شده عبور داد که خط بهترین برازش نیز بر مبنای روش حداقل مربعات خطا است.

مدل حد وسط: در این روش، ابتدا دبی‌های آب با یک نمو معین به تعدادی دسته تقسیم می‌شوند. سپس برای دبی آب متوسط هر دسته، میانگین رسوب همان دسته تعیین‌شده و منحنی سنجه رسوب با استفاده از آن‌ها به‌دست می‌آید.

مدل ماهانه: در این مدل، برآورد دبی رسوب معلق مشابه مدل یک‌خطی ولی براساس تفکیک داده‌ها به‌صورت ماهانه موردبررسی قرار می‌گیرد. درواقع برای هر یک از ماه‌های سال با توجه به آمار طولانی‌مدت، منحنی سنجه رسوب ماهانه تعیین می‌گردد.

مدل فصلی: در این مدل برآورد دبی رسوب معلق مشابه مدل یک‌خطی ولی براساس تفکیک داده‌ها به‌صورت فصلی موردمطالعه قرار می‌گیرد (۲۲).

منحنی سنجه رسوب به‌دلیل داشتن اریب در بیش‌تر مواقع نتوانسته غلظت رسوب را در دبی‌های مختلف جریان به‌خوبی نشان دهد (۱٤). اریب منحنی سنجه نیز از دو عامل تغییر شکل معادله از حالت لگاریتمی به حالت طبیعی مدل رگرسیون خطی و عمل برون‌یابی برای برآورد دبی‌های بالا، نشات می‌گیرد (۱۱). این دو اریب معمولاً منجر به کم تخمینی مقدار رسوب انتقالی می‌شوند. بنابراین برای به‌دست آوردن برآوردهای نااریب، یکسری فاکتورهای اصلاحی (CF) مانند FAO (۱۲)، CF1 یا روش پارامتری (۸) و CF2 یا روش غیرپارامتری (۷) در معادله منحنی سنجه به‌کار گرفته می‌شوند.

- **معیار ارزیابی:** در این پژوهش، به‌منظور انتخاب بهترین مدل سنجه رسوب و تعیین دقت آن، از شاخص‌های RMSE (ریشه دوم میانگین مربعات خطا)، ENS (ضریب نش- ساتکلیف) (۲۵) و ضریب تعیین (R^2) و خط ۱:۱ استفاده شده است (رابطه‌های ۲ و ۳):

$$RMSE = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} (o_i - P_i)^2}{n} \right)^{1/2} \qquad (۲)$$

$$E_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} (o_i - p_i)^2}{\sum_{i=1}^{n} (o_i - \bar{o})^2} \qquad (۳)$$

که در آن، P_i و O_i مقادیر پیش‌بینی‌شده و مشاهده‌شده، $\bar{o}$ میانگین مقادیر مشاهده‌شده و n تعداد کل مقادیر زوجی است. بر این اساس، در هر مدل، هرچه مقدار RMSE کم‌تر باشد و ضریب ENS و R^2 به یک نزدیک‌تر باشد، معادله رگرسیونی به‌دست‌آمده، بهتر می‌تواند روابط بین دو پارامتر موردنظر را بیان کند.

ت- ارزیابی اثرات: پس از تعیین پاسخ‌های حوزه آبخیز به تفکیک سه دوره مطالعاتی، ارزیابی اثرات سدهای اصلاحی با استفاده از مقایسه پاسخ‌های حوزه آبخیز در طول سه دوره مطالعاتی و تعیین درصد تغییرات آن‌ها، انجام شده است.

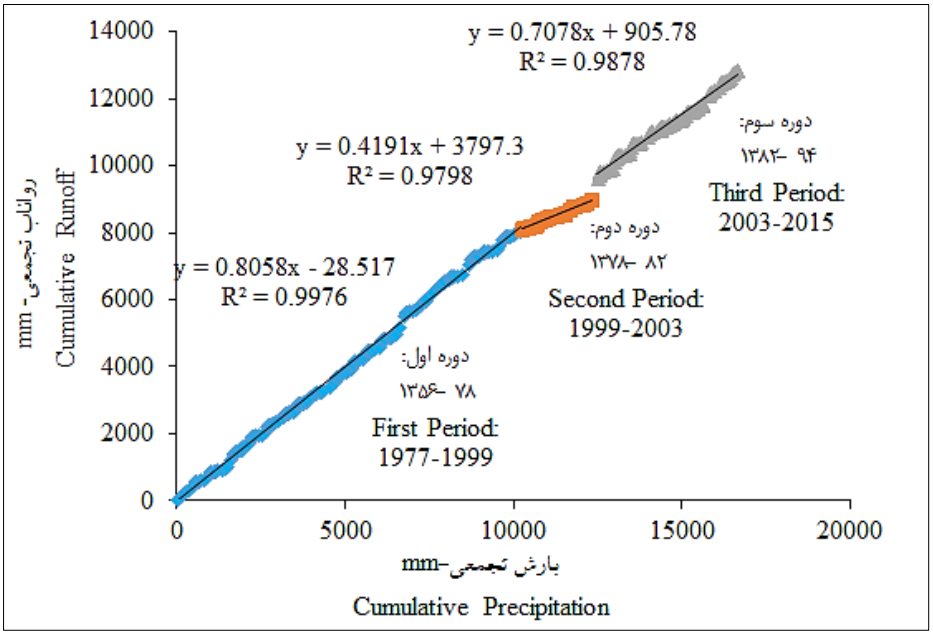
نتایج و بحث

منحنی‌های جرم مضاعف منعکس‌کننده تغییرات دو مؤلفه موردبررسی هستند (۱۰). شکستگی شیب در این منحنی‌ها نشان‌دهنده بروز تغییر در رابطه بین دو متغیر موردبررسی است. همان‌گونه که در شکل ۲ مشخص‌شده است، در منحنی جرم مضاعف بارش- رواناب در حوزه آبخیز کند، دو شکستگی شیب رخ داده است. نقطه زمانی وقوع اولین شکستگی در این منحنی، سال ۱۳۷۸ و نقطه زمانی دومین شکستگی در اوایل سال ۱۳۸۲ است. بر همین اساس، دوره مطالعاتی به سه قسمت تفکیک شده است. شیب‌خط

www.SID.ir

Archive of SID

برازش‌یافته در منحنی جرم مضاعف که در اینجا نشان‌دهنده ضریب رواناب (در این‌جا ضریب جریان) حوزه آبخیز کند نیز است در دوره اول ۰/۸۰ بوده اما در دوره دوم به ۰/۴۱ کاهش‌یافته و مجدداً در دوره سوم به ۰/۷۸ افزایش یافته است. کاهش ۴۸ درصدی شیب‌خط برازش یافته در منحنی جرم مضاعف در دوره دوم نشان‌دهنده کاهش ضریب رواناب در حوزه آبخیز کند است و این کاهش مستقل از مقدار بارش رخ داده در منطقه مطالعاتی بوده است. زمان شروع دوره دوم در سال ۱۳۷۸ مطابق با زمان احداث سدهای اصلاحی در حوزه آبخیز کند می‌باشد. بررسی اطلاعات کاربری اراضی حوزه آبخیز کند در سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۹۷ نشان می‌دهد که تغییر کاربری اراضی در این حوزه آبخیز بسیار محدود بوده و در حد دو درصد کاهش سطح مراتع و تبدیل آن‌ها به باغات و باغات توأم با مناطق مسکونی بوده است.



شکل ۲- منحنی جرم مضاعف بارش- رواناب، حوزه آبخیز کند.

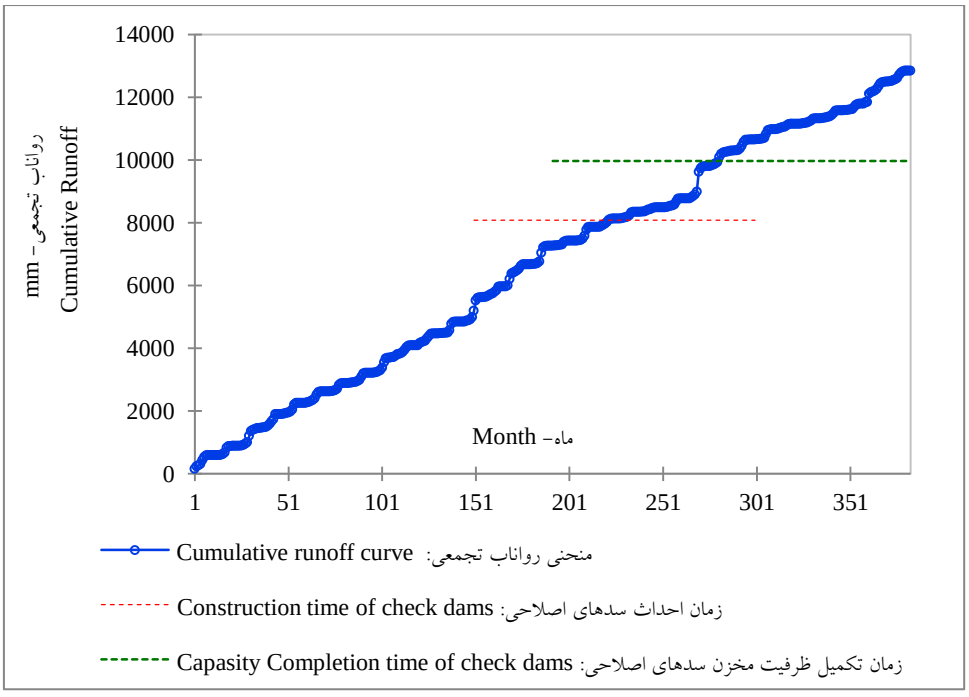
Figure 2. Precipitation- Runoff Double Mass Curve, Kond Watershed.

بررسی مستندات موجود نیز نشان می‌دهد که در این زمان، رخداد قابل‌ملاحظه دیگری در حوزه آبخیز کند رخ نداده است. بنابراین به‌دلیل این‌که تنها تغییر محسوس رخ داده در حوزه آبخیز کند در دوره دوم احداث سدهای اصلاحی بوده است، ایجاد نقطه شکست در منحنی جرم مضاعف بارش- رواناب و کاهش ضریب رواناب (ضریب جریان) در دوره دوم مستقل از بارش و تغییر کاربری اراضی بوده و ناشی از تأثیر سدهای اصلاحی است. از طرفی با توجه به زمان وقوع دومین شکست شیب در منحنی جرم مضاعف در اوایل فروردین‌ماه سال ۱۳۸۲ و بازگشت منحنی به شرایط قبل از سال ۱۳۷۸، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مدت‌زمان تأثیر سدهای اصلاحی در این حوزه آبخیز تا زمان وقوع دومین شکستگی بوده و درواقع عمر مفید آن‌ها به‌طور میانگین چهار سال بوده است. علاوه بر این، نتایج حاصل از تست همگنی پتیت نیز نشان‌دهنده وجود نقطه جهش در منحنی رواناب تجمعی حوزه آبخیز کند در

www.SID.ir

Archive of SID

فروردین‌ماه ۱۳۸۲ است (شکل ۳). درواقع، سدهای اصلاحی با نگهداشت رواناب ورودی به مسیر جریان، کاهش سرعت آن و افزایش زمان تمرکز، امکان نفوذ آب و یا از طرف دیگر تبخیر آب از سطح مخزن را افزایش می‌دهند. این عوامل سبب می‌شود تا مقدار رواناب خروجی از حوزه آبخیز و درنتیجه ضریب رواناب کاهش یافته و نقطه شکست در منحنی جرم مضاعف بارش- رواناب ایجاد شود. درواقع سدهای اصلاحی با استهلاک بخشی از جریان آب ورودی به مسیر جریان، بر ضریب رواناب یا ضریب جریان خروجی از حوزه آبخیز تأثیر می‌گذارند. سپس هم‌زمان با دوره رسوب‌گذاری در مخزن، به‌تدریج از حجم مخزن کاسته شده و در نتیجه تأثیر سدهای اصلاحی بر روی رواناب نیز کم‌تر می‌شود. با تکمیل ظرفیت مخزن، این تأثیر به حداقل مقدار خود می‌رسد، اما به‌دلیل انباشته شدن رسوبات در مخزن و ایجاد شیب حد، تأثیر حداقلی سدهای اصلاحی بر روی رواناب ادامه پیدا می‌کند. مقایسه ضریب رواناب در طی سه دوره نیز نشان‌دهنده این نتیجه است، به‌طوری‌که ضریب رواناب در دوره سوم یعنی بعد از تکمیل ظرفیت مخزن، در حدود ۱۲ درصد کم‌تر از دوره اول و قبل از احداث سدهای اصلاحی است. پژوهش‌گران دیگری نیز مانند تیموریان و همکاران (۲۰۱۸) در حوزه آبخیز هشتگرد استان البرز (۳۵) و نیکلز و پلیاکو (۲۰۱۹) در جنوب ایالت آریزونای آمریکا برای بررسی تأثیر سدهای اصلاحی (۲۶) و حاجی و همکاران (۲۰۱۹) برای شناسایی روند تغییرات بار رسوبی در ایستگاه‌های استان آذربایجان غربی (۱۰) نیز از منحنی جرم مضاعف استفاده کرده‌اند.



شکل ۳- آزمون همگنی پتیت برای تعیین نقاط شکست در رواناب تجمعی، حوزه آبخیز کند.

Figure 3. Pettitt homogeneity test to the change-point detection in cumulative runoff, Kond Watershed.

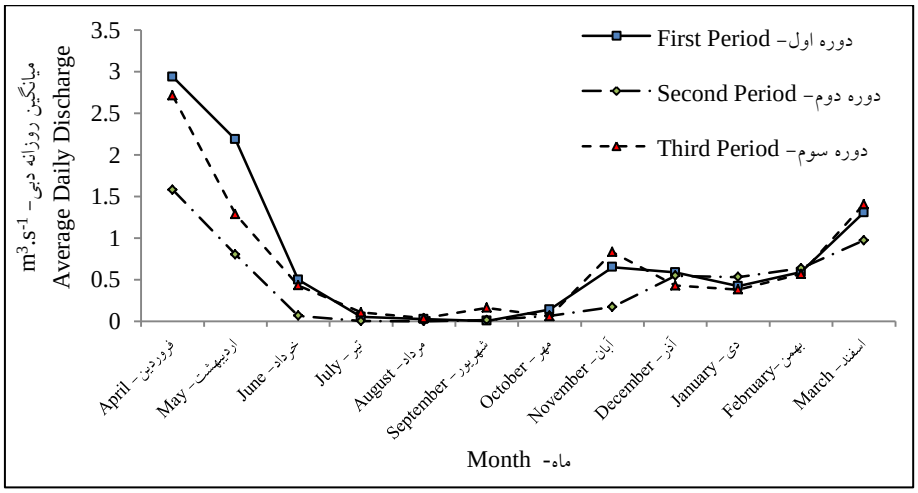
www.SID.ir

Archive of SID

پایش یک‌ساله (از تاریخ ۱۳۹٦/۰۹/۰٤ تا تاریخ ۱۳۹۷/۰۹/۲۲) یکی از سدهای اصلاحی منتخب در حوزه آبخیز امامه (مجاور حوزه آبخیز کند) که ظرفیت مخزن آن تکمیل نشده بود، نیز نشان‌دهنده ذخیره رسوبی معادل نیم متر در طول این بازه زمانی تقریباً یک‌ساله بوده است. بر همین اساس و با توجه به زمان احداث این سد اصلاحی در سال ۱۳۹۳ در حوزه آبخیز امامه، طول عمر مفید این سد اصلاحی نیز چهار سال بوده که با مقادیر به‌دست‌آمده برای حوزه آبخیز کند، مطابقت دارد.

با مشخص شدن عمر مفید سدهای اصلاحی در حوزه آبخیز کند، کل دوره مطالعاتی به سه بخش تقسیم شده است. دوره اول از سال ۱۳٥٦ تا پایان سال ۱۳۷۷، دوره دوم از سال ۱۳۷۸ تا پایان سال ۱۳۸۱ و دوره سوم از سال ۱۳۸۲ تا سال ۱۳۹٤. دوره اول و سوم دوره بدون تأثیر عملیات آبخیزداری (در اینجا منظور سدهای اصلاحی است) و دوره دوم، دوره تأثیر عملیات آبخیزداری و درواقع عمر مفید سدهای اصلاحی در حوزه آبخیز کند است. سپس برای بررسی تأثیر سدهای اصلاحی بر روی پاسخ‌های هیدرولوژیک حوزه آبخیز، ابتدا، مقدار دبی خروجی از حوزه آبخیز کند در ایستگاه هیدرومتری نجارکلا به تفکیک سه دوره محاسبه‌شده است. تغییرات ماهانه این متغیر در سه دوره مطالعاتی در شکل ٤ نشان داده شده است.

میانگین ماهانه دبی خروجی از حوزه آبخیز کند در سه دوره اول، دوم و سوم به‌ترتیب ۰/۷۸، ۰/٤٥ و ۰/۷۰ مترمکعب بر ثانیه بوده است. این نتایج نشان‌دهنده وجود تغییرات مشخص در مقدار دبی خروجی از حوزه آبخیز کند در طول دوره دوم یعنی در زمان عمر مفید سدهای اصلاحی بوده است. درواقع احداث سدهای اصلاحی، میانگین سالانه دبی آب خروجی از حوزه آبخیز کند را در تمامی دوره عمر مفید به‌طور متوسط ٤۳ درصد کاهش داده است. در مقابل، با اتمام عمر مفید سد اصلاحی، میانگین سالانه دبی آب خروجی از حوزه آبخیز کند با ٥٦/۷۹ درصد افزایش نسبت به دوره دوم، تقریباً به دبی پیش از احداث سدهای اصلاحی بازمی‌گردد. بااین‌حال، پس از اتمام عمر مفید سدهای اصلاحی، میانگین سالانه دبی آب خروجی از حوزه آبخیز کند نسبت به دوره اول، ۱۰/٦۸ درصد کاهش‌یافته است. در حالت ماهانه بیشترین تأثیر این سدهای اصلاحی بر روی کاهش دبی مربوط به ماه‌های تیر و مرداد و کمترین میزان تأثیر آن مربوط به آذرماه بوده است.



شکل ٤- روند تغییرات میانگین روزانه دبی به تفکیک ماه در خروجی حوزه آبخیز کند در سه دوره مطالعاتی.

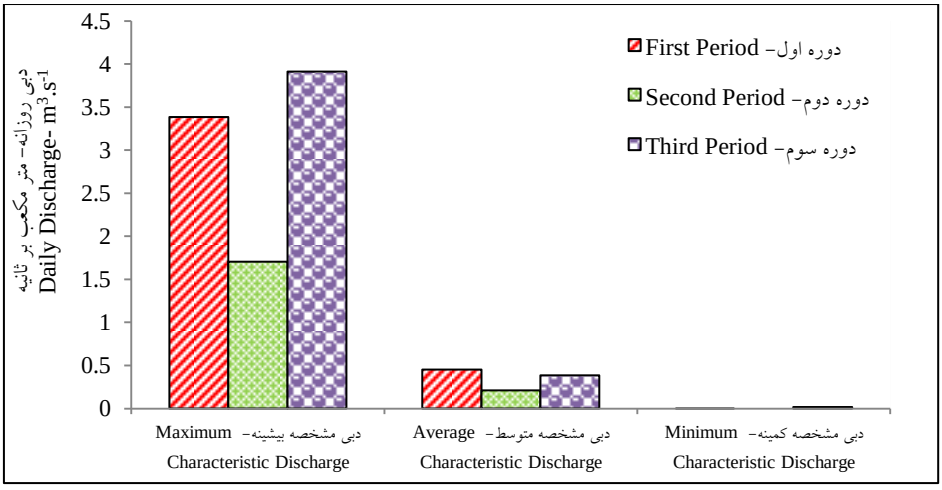
Figure 4. Trend of monthly average daily discharge variation at the outlet of Kond Watershed in the 3 study periods.

www.SID.ir

Archive of SID

تأثیر مثبت سدهای اصلاحی در کاهش دبی خروجی از حوزه‌های آبخیز توسط پژوهشگرانی مانند نورعلی و قهرمان (۲۰۱٦) در حوزه آبخیز گوش و بهره استان خراسان‌رضوی (۲۷)، معماریان خلیل‌آباد و همکاران (۲۰۱۸) در حوزه آبخیز بار استان خراسان‌رضوی (۲۰)، پروینی و همکاران (۲۰۱۸) در حوزه آبخیز میخوران استان کرمانشاه (۲۹)، گویسا و همکاران (۲۰۱۷) در شمال اتیوپی (۹) و تانگ و همکاران (۲۰۱۹) و یوآن و همکاران (۲۰۱۹) در فلات لسی چین (۳٤ و ۳٦) نیز بیان شده است.

محاسبه دبی مشخصه (بیشینه، کمینه و متوسط) از روی منحنی دبی کلاسه در سه دوره مطالعاتی نیز نشان‌دهنده تغییرات مشخص در مقدار دبی خروجی از حوزه آبخیز کند در طول دوره دوم است. مقادیر سه دبی مشخصه بیشینه، متوسط و کمینه و تغییرات آن‌ها در طول سه دوره در شکل ۵ نشان داده‌شده است. بر اساس نتایج حاصله، دبی مشخصه بیشینه در دوره دوم نسبت به دوره اول ٤۹/٦٦ درصد کاهش داشته و در دوره سوم نسبت به دوره دوم ۱۲۹/۷۸ درصد افزایش یافته است. دبی مشخصه متوسط نیز در دوره دوم نسبت به دوره اول ۵۳/۲۸ کاهش یافته ودر دوره سوم نسبت به دوره دوم ۸۳/۳٤ درصد افزایش یافته است. کاهش دبی آب در مورد دبی مشخصه کمینه محسوس‌تر بوده و در دوره دوم نسبت به دوره اول ۱۰۰ درصد کاهش یافته است.



شکل ۵- دبی مشخصه بیشینه، متوسط و کمینه در سه دوره مطالعاتی در ایستگاه هیدرومتری نجارکلا.

Figure 5. Maximum, average and minimum characteristic discharge in the 3 study periods at the Najarkola hydrometric station.

با وجود کاهش محسوس دبی خروجی از حوزه آبخیز کند در دوره دوم، بین میانگین سالانه بارش در این سه دوره اختلاف معنی‌داری وجود نداشته (جدول ۱) و مقادیر بارش سالانه در دوره‌های اول، دوم و سوم به ترتیب ٦۵۲، ٦۱۵ و ٦۰۸ میلی‌متر بوده است. علاوه بر این، مقدار بارش در هر روز مرطوب نیز که شاخص مهمی برای تولید رواناب می‌باشد در سه دوره مطالعاتی به‌ترتیب ۹/۹۱، ۱۰/۱٦ و ۹/۹۱ میلی‌متر بوده است. با وجود نبود اختلاف معنی‌دار بین میانگین بارش سالانه سه دوره، در مورد نسبت دبی خروجی از حوزه آبخیز به بارش رخ داده، اختلاف معنی‌داری بین دوره‌های اول و دوم و همچنین دوره‌های دوم و سوم در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود دارد. این در حالی است که میانگین این شاخص در دوره‌های اول و سوم، اختلاف معنی‌داری نداشته است.

www.SID.ir

Archive of SID

هم‌چنین، علاوه بر تأثیر سدهای اصلاحی بر مقدار دبی آب خروجی از حوزه آبخیز، این عملیات باعث افزایش زمان تمرکز در حوزه آبخیز کند نیز شده است. به‌صورتی‌که مقدار زمان تمرکز محاسبه شده با روش کرپیچ از یک ساعت در قبل از احداث سدهای اصلاحی به ۱/۲۹ ساعت بعد از احداث سدهای اصلاحی افزایش یافته است.

جدول ۱- تعیین معنی‌داری اختلاف بین بارش و نسبت دبی خروجی به بارش در سه دوره مطالعاتی، حوزه آبخیز کند.

Table 1. Determination of Significant difference between precipitation and discharge/precipitation in the 3 study periods, Kond Watershed.

دوره اول به دوره سوم First Period/ Third Period	دوره دوم به دوره سوم Second Period/ Third Period	دوره اول به دوره دوم First Period/ Second Period	متغیر Variable
0.104	0.600	0.653	بارش Precipitation
0.482	*0.042	0.033*	نسبت دبی خروجی به بارش Discharge/Precipitation

* در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است.

Level Confidence: 0.05.

با توجه به اهمیت سدهای اصلاحی در کنترل بار رسوبی خروجی از حوزه آبخیز، عملکرد آن‌ها در حوزه آبخیز کند نیز بررسی شده است. بر همین اساس و با توجه به عدم وجود داده پیوسته از بار رسوبی در خروجی حوزه آبخیز کند، از منحنی سنجه رسوب برای برآورد بار رسوبی استفاده شده است. بنابراین برای هر دوره منحنی سنجه رسوب به‌صورت جداگانه محاسبه و ارزیابی شده که نتایج آن به تفکیک هر دوره در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، بهترین روش برای برآورد بار رسوبی در دوره اول (بدون تأثیر سدهای اصلاحی)، روش حد وسط، در دوره دوم (در طول عمر مفید سدهای اصلاحی و دوره تأثیر آن‌ها) روش یک‌خطی و در دوره سوم (پایان عمر مفید سدهای اصلاحی و بدون تأثیر آن‌ها) روش CF2، بوده است. با این وجود بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۵ و بررسی خط ۱:۱، مقدار رسوب برآوردی در مرحله دوم، کمی بیش‌تر از حد برآورد شده است که علت آن می‌تواند ناشی از تأثیر بیش‌تر سدهای اصلاحی بر روی کنترل بار رسوبی نسبت به کنترل دبی آب خروجی از حوزه آبخیز باشد.

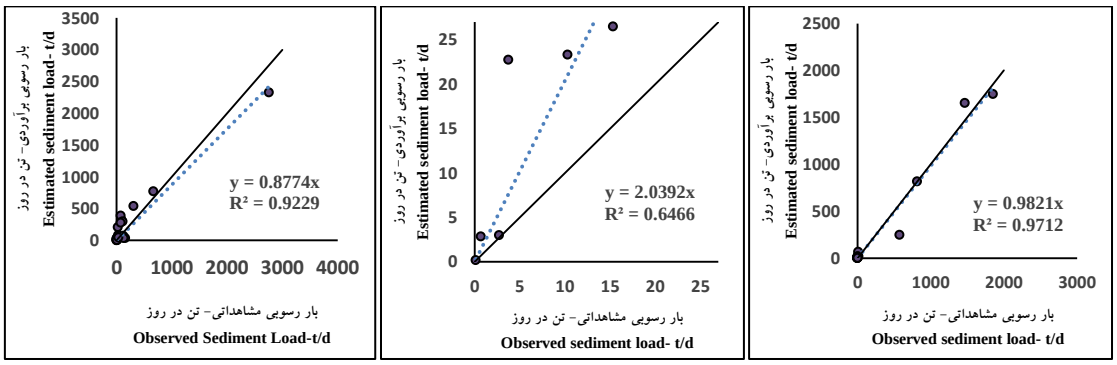
جدول ۲- مقایسه روش‌های مختلف برآورد بار رسوبی با استفاده از منحنی سنجه رسوب در سه دوره مطالعاتی، حوزه آبخیز کند.

Table 2. Comparison of different methods of sediment load estimation using sedimentation rate curve in 3 study periods in Kond's watershed.

FAO	CF2	CF1	روش حد وسط Mean load method	روش یک‌خطی Conventional method	معیار ارزیابی Evaluation criteria	دوره Period
-0.34	0.69	0.65	0.93	0.34	ENS	دوره اول
570.39	275.95	290.29	134.52	400.59	RMSE	First Period
-6.14	0.58	0.74	0.84	0.96	ENS	دوره دوم
134.85	32.62	25.86	19.93	10.70	RMSE	Second Period
-16.61	0.97	0.93	0.83	0.62	ENS	دوره سوم
1766.86	72.05	108.69	173.80	260.61	RMSE	Third Period

www.SID.ir

Archive of SID



C (پ B(ب A (الف

شکل ٦- مقادیر بار رسوبی مشاهداتی و برآوردی با روش منتخب در حوزه آبخیز کند، الف) دوره اول؛ ب) دوره دوم، پ) دوره سوم.

Figure 6. Observed and estimated sediment load with selected method in Kond watershed, A) first period, B) second period, C) third period.

پس از تعیین روش منتخب در هر دوره، مقدار رسوب معلق ویژه (تن در هکتار در سال) برای هر دوره محاسبه شده است که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است. مقدار رسوب کل نیز با اضافه کردن ۲۰ درصد بار معلق به‌عنوان بار بستر، محاسبه شده است. البته در دوره دوم به‌دلیل وجود سدهای اصلاحی، فرض شده است که کل بار بستر در پشت سازه‌ها ذخیره شده است.

جدول ۳- روش منتخب منحنی سنجه رسوب و مقدار رسوب برآوردی، حوزه آبخیز کند.

Table 3. Selected method of sedimentation rate curve and amount of estimated sediment, Kond watershed.

دوره مطالعاتی Study Period	ویژگی Properties	روش منتخب Selected Method	مقدار رسوب معلق ویژه Specific sediment load- t/h.year	مقدار رسوب کل ویژه Total sediment load- t/h.year
دوره اول First Period	بدون تأثیر سد اصلاحی No Impact of check dam	Mean Load	7.75	9.30
دوره دوم Second Period	عمر مفید سد اصلاحی Life Span of check dam	Conventional	0.70	0.70
دوره سوم Third Period	بدون تأثیر سد اصلاحی (پایان عمر مفید) No Impact of check dam (End of useful lifespan)	CF2	8.29	9.95

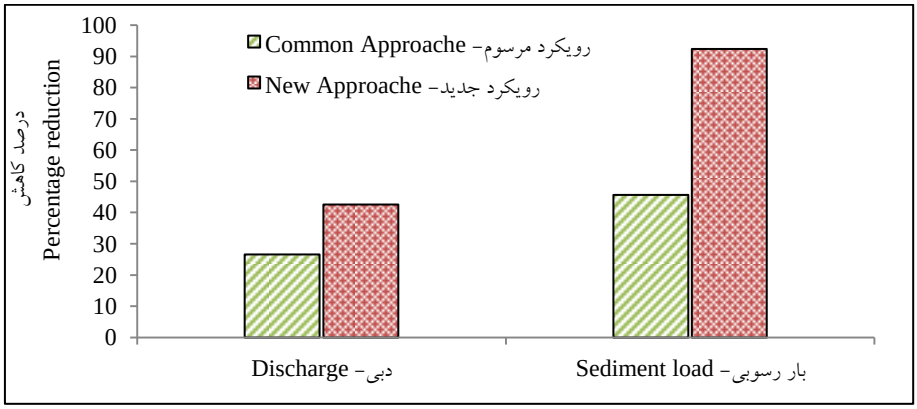
بر اساس نتایج به دست آمده، سدهای اصلاحی در حوزه آبخیز کند در طول عمر مفید خود که حدود چهار سال بوده است، مقدار رسوب کل ویژه را نسبت به دوره اول (قبل از احداث سدهای اصلاحی)، ۹۲/٤۷ درصد درصد کاهش داده است که عددی بسیار قابل‌توجه می‌باشد. در دوره سوم و با اتمام عمر مفید سدهای اصلاحی، مقدار بار رسوبی در حدود ١٤ برابر نسبت به دوره دوم افزایش یافته و تقریباً به سطح مقادیر دوره اول برگشته است (جدول ۳).

هر چند عملکرد سدهای اصلاحی در شرایط مختلف متفاوت بوده و بنابراین تأثیر آن‌ها در مناطق مختلف نیز متفاوت خواهد بود، اما پژوهش‌گران دیگری نیز از جمله تیموریان و همکاران (۲۰۱۸) در حوزه آبخیز هشتگرد استان البرز (۳۵)، تانگ و

www.SID.ir

Archive of SID

همکاران (۲۰۱۹) و یوآن و همکاران (۲۰۱۹) و در فلات لسی چین (۳٤ و ۳٦)، به عملکرد مثبت سدهای اصلاحی در کنترل رسوبات البته بدون در نظر گرفتن عمر مفید آن‌ها اشاره کرده‌اند. با این وجود، ضعف عمده و قابل‌توجه این مجموعه عملیات اجرا شده به خصوص در حوزه آبخیز کند، کوتاه بودن عمر مفید آن‌ها می‌باشد (در حدود چهار سال) بوده است. این درحالی است که این سدهای اصلاحی بر اساس دبی طرح ۲۵ ساله طراحی شده بودند و بنابراین عمر مفید به‌دست آمده با مقادیر برنامه‌ریزی‌شده فاصله بسیاری دارد. در نظر گرفتن عمر مفید در فرآیند ارزیابی اثرات، رویکرد جدیدی است که سبب می‌شود نتایج ارزیابی انطباق بیش‌تری با منطقه مطالعاتی داشته باشند؛ اما در صورتی‌که عمر مفید در نظر گرفته نشود، نتایج بسیار متفاوتی به‌دست خواهد آمد. در واقع در رویکرد مرسوم یعنی در نظر گرفتن شرایط قبل و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری، دوره عمر مفید تفکیک نشده و دوره مطالعاتی به دو دوره قبل از اجرای عملیات آبخیزداری و بعد از اجرای عملیات آبخیزداری تقسیم می‌شود. برای آشکارسازی اهمیت تعریف دوره عمر مفید در فرآیند ارزیابی و تأثیر آن بر ارزیابی اثرات عملیات آبخیزداری، فرآیند ارزیابی با رویکرد مرسوم نیز در این مطالعه انجام شده است. با در نظر گرفتن شرایط قبل و بعد از احداث سدهای اصلاحی، تأثیر سدهای اصلاحی در کاهش دبی خروجی حوزه آبخیز کند، ۲٦/۵۸ درصد خواهد بود که در حدود نصف اثر واقعی آن‌ها است (شکل ۷).



شکل ۷- مقایسه اثرات سدهای اصلاحی در رویکردهای مرسوم و جدید.

Figure 7. Comparison of the effects of check dams on common and new approaches.

مقدار بار کل رسوبی برآوردی از منحنی سنجه رسوب در شرایط بعد از اجرای عملیات آبخیزداری نیز ۵/۰۵ تن در هکتار در سال برآورد شده است. مقایسه مقدار بار رسوبی در شرایط قبل و بعد از احداث سدهای اصلاحی نشان‌دهنده تأثیر ٤۵/٦۷ درصدی این نوع عملیات در کاهش بار رسوبی خروجی از حوزه آبخیز کند است، درحالی‌که تأثیر واقعی این سدهای اصلاحی در بازه زمانی مؤثر آن‌ها، دو برابر این مقادیر است (شکل ۷). درواقع در رویکرد مرسوم، اثر عملیات در طول زمان بعد از اجرای عملیات، توزیع‌شده و به همین دلیل کم‌تر از حد واقعی آن برآورد خواهد شد. بنابراین انتخاب روش ارزیابی مناسب، نقش مهمی در درک صحیح از سیستم، شناسایی مشکل و انتخاب راهکارهای مناسب خواهد داشت.

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری کلی

ارزیابی فرآیندی برای بررسی اثربخشی عملیات اجراشده و استفاده از نتایج آن در برنامه‌ریزی‌های آینده است. انتخاب روش مناسب و نیز بازه زمانی صحیح برای ارزیابی، تأثیر بسیار زیادی بر نتایج حاصله خواهد داشت. تعیین عمر مفید و به‌عبارتی دیگر، تعیین زمان اثربخشی پروژه، نخستین گام برای انجام یک فرآیند ارزیابی منطقی است. نتایج به‌دست آمده در این پژوهش نشان می‌دهد که اثربخشی سدهای اصلاحی در حوزه آبخیز کند، در رویکرد مرسوم (قبل و بعد از عملیات) تقریباً نصف اثر واقعی آن‌ها محاسبه خواهد شد. این فرآیند سبب می‌شود که ضعف عملیات اجراشده در طول زمان ناشناخته باقی بماند. در واقع، باوجود کارایی بسیار بالای سدهای اصلاحی در کنترل دبی آب و به‌خصوص بار رسوبی خروجی از حوزه آبخیز کند، کوتاه بودن عمر مفید آن‌ها، ضعف قابل‌توجه این مجموعه از عملیات بوده و سبب شده است تا اثربخشی آن‌ها به‌سرعت از بین برود. به همین دلیل مقادیر دبی آب و بار رسوبی خروجی از حوزه آبخیز در دوره سوم مجدداً به سطح مقادیر دوره اول بازگشته است. بااین‌وجود به‌دلیل نقش سدهای اصلاحی انباشته‌شده از رسوب در کاهش شیب آبراهه و ایجاد بستری با نفوذپذیری بیش‌تر، مقدار دبی خروجی از حوزه آبخیز کند در دوره سوم حدود ۱۰/٦۸ درصد نسبت به دوره اول، کاهش داشته است.

تأثیر سدهای اصلاحی بر روی مقدار بار رسوب خروجی از حوزه آبخیز کند نسبت به دبی آب خروجی محسوس‌تر بوده و بیش از دو برابر تأثیر آن بر دبی آب خروجی است. علت اصلی این امر نسبت حجم مخازن سدهای اصلاحی به حجم کل آورد دبی آب و بار رسوبی در حوزه آبخیز کند و نیز نفوذپذیر بودن بدنه این سدهای اصلاحی بوده است. علاوه بر این، با توجه به وجود سد لتیان در پایین‌دست حوزه آبخیز کند، ارزش رسوب کنترل‌شده توسط این سدهای اصلاحی، برابر با حجم آب ذخیره‌شده در سد لتیان است که در صورت نبود این سدهای اصلاحی، با رسوب پر می‌شد و می‌تواند مبنایی برای ارزش‌گذاری کنترل رسوب انجام‌شده در این منطقه باشد. از طرف دیگر، بررسی تأثیر سدهای اصلاحی بر روی پاسخ‌های هیدرولوژیک حوزه آبخیز و به‌ویژه بار رسوبی این واقعیت را نشان می‌دهد که سدهای اصلاحی به‌تنهایی راهکار مناسبی برای حفاظت آب‌وخاک نبوده و عملاً تأثیری در اصلاح شرایط حوزه آبخیز و جلوگیری از تخریب ندارند و فقط رسوب آوردی از دامنه‌ها و بستر آبراهه را ذخیره می‌کنند. این نکته در نتایج این پژوهش نیز به‌روشنی مشخص می‌شود. مقدار بار رسوبی و نیز دبی خروجی از حوزه آبخیز کند در دوره سوم که بعد از پایان عمر مفید سدهای اصلاحی شروع می‌شود، مشابه دوره اول و زمان قبل از احداث سدهای اصلاحی است. درواقع در دوره دوم، سدهای اصلاحی تنها مانع خروج رسوب تولیدی از خروجی حوزه آبخیز کند شده‌اند (اثرات برون‌حوزه‌ای).

روند تخریبی در حوزه‌های آبخیز کشور، بیانگر این واقعیت است که راهبردهای حفاظت آب‌وخاک در ایران به بازنگری اساسی نیاز دارند. لازمه این کار نیز شناخت نقاط ضعف و قوت راهکارهای مرسوم مورداستفاده و بازبینی و اصلاح آن‌ها در برنامه‌ریزی‌های آینده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که احداث سدهای اصلاحی تنها یک راهکار موقتی بوده و نمی‌توان آن‌ها را به‌عنوان راهکاری موفق و دائمی در کاهش نرخ فرسایش در حوزه آبخیز قلمداد کرد. بنابراین ازآن‌جایی‌که منشأ فرسایش در بیش‌تر حوزه‌های آبخیز کشور، دامنه‌ها می‌باشند، حفاظت خاک در محل منشأ، نیازمند

www.SID.ir

Archive of SID

توجه بیش‌تری است. در واقع زمانی طول عمر مفید سدهای اصلاحی در حوزه‌های آبخیز افزایش می‌یابد که عملیات آبخیزداری در سطح دامنه‌ها همگام با عملیات حفاظت و کنترل رسوب در آبراهه‌ها اجرا شوند.

سپاسگزاری

این پژوهش با کد "WMRC2-96016" با حمایت مالی شرکت مادر تخصصی مدیریت منابع آب ایران انجام شده است. بنابراین نگارندگان مراتب تقدیر و تشکر خود را اعلام می‌دارند.

منابع

1.Ahmadi, H., Nazari Samani, A.A., Ghoddousi, J., and Ekhtesasi, M.R. 2004. A model for evaluation of watershed management project. Iran. J. Natur. Res. 56: 4. 337-351. (In Persian)

2.Arabi, M., Govindaraju, R.S., and Hantush. M.M. 2006. Cost-effective allocation of watershed management practices using a genetic algorithm. J. Water Resour. Res. 42: 1-14.

3.Arabkhedri, M. 2003. Water erosion rate and sediment yield production in Iran. Extension and Development of Watershed Management, 2: 4. 23-30. (In Persian)

4.Arabkhedri, M., Hakimkhani, Sh., and Varvani, J. 2004. The validity of extrapolation methods in estimation of annual mean suspended sediment yield (17 hydrometric stations). J. Agric. Sci. Natur. Resour. 11: 3. 123-131. (In Persian)

5.Brown, K.R., McGuire, K.J., Hession, W.C., and Aust, W.M. 2016. Can the Water Erosion Prediction Project Model Be Used to Estimate Best Management Practice Effectiveness from Forest Roads? J. For. 114: 1. 17-26.

6.Cucchiaro, S., Cavalli, M., Vericat, D., Crema, S., Llena, M., Beinat, A., Marchi, L., and Cazorzi, F. 2019. Geomorphic effectiveness of check dams in a debris-flow catchment using multi-temporal topographic surveys. CATENA, 174: 73-83.

7.Duan, N. 1983. Smearing estimate, a nonparametric retransformation method. J. Amer. Stat. Assoc. 78: 383. 605-610.

8.Ferguson, R. 1987. Accuracy and precision of methods for estimating river loads. Earth Surface Processes and Land Forms. 12: 95-104.

9.Guyassa, E., Frankl, A., Zenebe, A., Poesen, J., and Nyssen, J. 2017. Effects of check dams on runoff characteristics along gully reaches, the case of Northern Ethiopia. J. Hydrol. 545: 299-309.

10.Haji, Kh., Mostafazadeh, R., Esmali-Ouri, A., and Mirzaei, Sh. 2019. Spatial and temporal variations of discharge and sediment loads concentration rate over some river gauge stations of West-Azarbaijan Province. Watershed Engineering and Management. 11: 3. 619-632. (In Persian)

11.Iadanza, C., and Napolitano, F. 2006. Sediment transport time series in the Tiber River. J. Physic. Chem. Earth. 31: 18. 1212-1227.

12.Jones, K.R., Berney, O., Carr, D.P., and Barret, E.C. 1981. Arid zone hydrology for agricultural development. FAO Irrigation and Drainage Paper. 37: 271.

13.Kaini, P., Artita, K., and Nicklow, J.W. 2012. Optimizing Structural Best Management Practices Using SWAT and Genetic Algorithm to Improve Water Quality Goals. J. Water Resour. Manage. 26: 1827-1845.

14.Kao, Sh., Lee, T., and Milliman, J.D. 2005. Calculating highly fluctuated suspended sediment fluxes from mountainous rivers in Taiwan. TAO. 16: 3. 653-675.

15.Khaledi Darvishan, A., Hadi Ghorghi, J., Katebikord, A., Mohammad Amini, H., Gholami, L., Karamzadeh, A., Bahmani, A., and Saeidi, F. 2018. Effect of enclosure on runoff, sediment concentration and soil loss in erosion plots in Khamsan representative watershed of Kurdistan province. J. Water Soil Cons. 24: 6. 243-255. (In Persian)

www.SID.ir

Archive of SID

16.Li, E., Mu, X., Zhao, G., Gao, P., and Sun, W. 2017. Effects of check dams on runoff and sediment load in a semi-arid river basin of the Yellow River. J. Stoch Environ. Res. Risk Assess. 31: 1791-1803.
17.Liu, Y., Cibin, R., Bralts, V.F., Chaubey, I., Bowling, L.C., and Engel, B.A. 2016. Optimal selection and placement of BMPs and LID practices with a rainfall-runoff model. Environmental Modelling & Software. 80: 281-296.
18.Mahdavi, M. 2000. Role of soil conservation and watershed management operation in Iran's watershed. Ministry of Jahad. (In Persian)
19.Mahdavi, M. 2018. Applied Hydrology, Vol.1. Tehran University Press. 369p. (In Persian)
20.Memarian Khalil Abad, H., Yousefi, M., and Aghakhani Afshar, I.H. 2018. Identification and separation of flooding source regions and investigating the impact of watershed management operations on the peak discharge (Case study: Bar watershed, Neyshabour, Iran). J. Water Soil Cons. 25: 1. 35-59. (In Persian)
21.Moghaddasi, N., Sheikh, V.B., and Najafinejad, A. 2015. Qualitative evaluation of watershed management project using Descriptive –Correlation Method (Case study: Boostan dam watershed). J. Water Soil Cons. 22: 2. 205-218. (In Persian)
22.Mohammadi, A., Mosaedi, A., and Heshmatpour, A. 2007. Determination of the best model to estimate suspended sediment loads in Ghazaghly gauge station-Gorganroud River, Iran. J. Agric. Sci. Natur. Resour. 14: 4. 232-240. (In Persian)
23.Mu, X.M., Zhang, X.Q., and Gao, P. 2010. Theory of double mass curves and its applications in hydrology and meteorology. Hydrology. 30: 4. 47-51.
24.Najafinejad, A. 1992. Guide to economic evaluation of watershed management plans (Vol. 1). Ministry of Jahad. 79p. (In Persian)
25.Nash, J.E., and Sutcliffe, J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models. Part I. A discussion of principles. J. Hydrol. 10: 3. 282-290.
26.Nichols, M.H., and Polyakov, V.O. 2019. The impacts of porous rock check dams on a semiarid alluvial fan. J. Sci. Total Environ. 664: 576-582.
27.Nourali, M., and Ghahraman, B. 2016. Assessment of watershed management project on flood hydrograph using HEC-HMS Model (Case study: Goosh-Bahreh Watershed). J. Water. Manage. Res. 7: 13. 60-71. (In Persian)
28.Pal, D., Galelli, S., Tang, H., and Ran, Q. 2018. Toward improved design of check dam systems: A case study in the Losse Plateau, China. J. Hydrol. 559: 762-773.
29.Parvini, S., Jafarian, Z., and Kavian, A. 2018. Simulation Effects of Soil and Water Conservation in Rangelands on Runoff Characteristics Using HEC-HMS Model (A Case Study: Rangelands of Meikhoran Watershed, Kermanshah Province). JWSS. 22: 2. 81-95. (In Persian)
30.Parvizi, Y., Bayat, R., Heshmati, M., and Gheituri, M. 2018. Quantitative Comparison of the Effects of Mechanical and Biological Watershed Management Operation on Soil Erosion and Sediment Yield Control of Hajiabad Watershed in Kermanshah Province. Iran- Watershed Management Science and Engineering, 12: 42. 52-59. (In Persian)
31.Pettit, A.N. 1979. A non-parametric approach to the change-point detection. Applied Statistics. 28: 2. 126-135.
32.Phillips, J.M., Webb, B.W., Walling, D.E., and Leeks, G.J.L. 1999. Estimating the suspended sediment loads of rivers in the LOIS study area using infrequent. J. Hydrol. Proc. 13: 7. 1035-1050.
33.Searcy, J.K., and Hardison, C.H. 1960. Double Mass Curve. U.S. Geological Survey, Water-Supply Paper, 1541-B. PP. 66.
34.Tang, H., Ran, Q., and Gao, J. 2019. Physics-Based Simulation of Hydrologic Response and Sediment Transport in a Hilly-Gully Catchment with a Check Dam System on the Loess Plateau, China. J. Water. 118: 116-170.

www.SID.ir

Archive of SID

35. Teimurian, T., Feiznia, S., and Seyyedalikhani, S.D. 2018. The impact of watershed rehabilitation measure on the flow and sediment characteristics of the Fashand Catchment, Hashtgerd. J. Water. Manage. Res. 118: 13-22. (In Persian)

36. Yuan, S., Li, Z., Li, P., Xu, G., Gao, H., Xiao, L., Wang, F., and Wang, T. 2019. Influence of Check Dams on Flood and Erosion Dynamic Processes of a Small Watershed in the Loss Plateau. J. Water. 11: 834. 1-16.

www.SID.ir

Arc

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 27(2), 2020
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2020.17493.3296

Performance assessment of check dams to control discharge and sediment load over useful lifespan period (Case study: Kond watershed)

***Sh. Abbasi Jondani[1], A.A. Nazari Samani[2] and S.M. Heshmatolvaezin[2]**
[1]Ph.D. Graduate, Dept. of Science and Watershed Management Engineering, University of Tehran,
[2]Associate Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran
Received: 12.27.2019; Accepted: 02.05.2020

Abstract

Background and Objectives: Assessment of performance of watershed management measures is always done by comparing watershed responses before and after operations. This process causes the effect of the operation to spread over time and not to see its true effect and consequently, the weakness of that series of operations will remain unknown over time. Therefore, considering the importance of check dams in watershed management programs in Iran, the goal of this study is determination of real-time impact or life span of check dams in controlling discharge and sediment load and assessing of their impacts in Kond watershed located in Tehran province.

Materials and Methods: First, useful lifespan of check dams has obtained based on precipitation-runoff double-mass curve and field surveys. Then, the study period (1999-2015) is divided into three periods: before the construction of the check dams (first period), the useful lifespan of the check dams (second period) and the end of the useful lifespan of the check dams (third period) and the discharge and sediment load changes at the outlet of watershed are investigated and compared with the common approach. Sedimentation rate curve methods were also used to estimate the sediment load in each period.

Results: The time points of occurrence of slope fractures in double mass curves as well as field observations indicate that the duration of impact (useful lifespan) of check dams in the Kond watershed was on average four years (from 1999 to early 2003). The results of impacts assessment of the check dams in the study area indicate that despite the constant precipitation conditions, the outflow discharge and the maximum, average and minimum characteristic discharges in the second period, compared to the first period, has decreased by 43, 49.66, 53.28 and 100%, respectively. The amount of sediment load reduction in the second period is much more noticeable than the first period and is 92.47%. However, at the end of the useful lifespan of check dams (third period), the amount of discharge and sediment load has increased, returning to the level of the first period. Comparison of the results of this assessment approach (determining useful lifespan) with the common approach (before and after project implementation) also shows that in the common approach due to the distribution of the effect of operations over time, the performance of check dams will be measured at half their actual performance.

Conclusion: The results of this study show that considering the useful lifespan in the evaluation process will provide more realistic results. In fact, the efficiency of check dams in Kond watershed is considerable during their useful lifespan, but their short useful lifespan is a

* Corresponding Author; Email: sh.abbasi@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

significant weakness of this type of watershed operation. In addition, relying on check dams to stabilize watersheds has not been a successful approach and only prevents to exit sediment production from the watershed and, for this reason, in the third period, the watershed response has returned to the pre-operation conditions (temporary effect). Therefore, the benefits of watershed management measures in the Kond watershed were off-site impacts and the on-site impacts were limited to reducing the slope of the main stream. In fact, in order to increase the life span of check dams, watershed management measures with on-site impacts should be prioritized, which this in itself requires erosion control at the source (i.e. the slopes).

Keywords: Check dam, Double-Mass Curve, Evaluation, Sedimentation rate curve, Useful Lifespan

www.SID.ir