

ارزیابی مکانی هزینه - اثربخشی سدهای اصلاحی در کنترل بار رسوبی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز کند)

شهربانو عباسی جندانی*: دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

علی اکبر نظری سامانی: دانشیار دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

سیدمهدی حشمت‌الواعظین: دانشیار دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

امید بزرگ حداد: استاد دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۲۴

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۰۶)

چکیده

ارزیابی، فرآیندی برای بررسی درجه‌ی نیل به اهداف تعیین شده است. در این تحقیق، عملکرد سدهای اصلاحی در حوزه آبخیز کند در استان تهران با رویکرد اقتصادی تحلیل هزینه - اثربخشی ارزیابی شده است. بر همین اساس، ابتدا هزینه‌های مرتبط با سدهای اصلاحی بر مبنای سال ۱۳۹۸ برآورد و اثربخشی آنها در کنترل بار رسوبی با محاسبه‌ی حجم رسوب ذخیره شده در مخزن این سدها تعیین شده است. سپس ارزیابی اقتصادی سدهای اصلاحی با رویکرد هزینه - اثربخشی انجام شده و توزیع مکانی آن به دست آمده است. در نهایت، مقرون به صرفه‌ترین نوع و ارتفاع سدهای اصلاحی تعیین شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که اثربخشی سدهای اصلاحی در حوزه آبخیز کند، برابر با کنترل ۱۳۱۷۸۲ تن بار رسوبی است. هزینه - اثربخشی کلی این سدهای اصلاحی نیز برابر با ۳۱۷۱۸۰ ریال به ازای یک تن بار رسوبی کنترل شده و اثربخشی - هزینه‌ی آنها، برابر با ۰/۰۰۰۰۳۱۵ - تن بار رسوبی به ازای هر ریال هزینه می‌باشد. معیار اثربخشی - هزینه در منطقه‌ی مطالعاتی، با افزایش ارتفاع سدهای اصلاحی تا ارتفاع ۴/۵ متر افزایش می‌یابد. بعد از این ارتفاع، اثربخشی هزینه به دلیل تغییر نوع سدهای اصلاحی از گابیونی به سنگ و ملاتی کاهش می‌یابد. در واقع، هزینه‌ی کنترل بار رسوبی در سدهای اصلاحی با ارتفاع ۴/۵ متر، در حدود نه برابر کمتر از سدهای اصلاحی با ارتفاع یک متر است. بر همین اساس، مشخص می‌شود که کنترل بار رسوبی در منطقه‌ی مطالعاتی با هزینه‌ی بالایی صورت گرفته است که یکی از دلایل اصلی آن، وجود تعداد زیاد سدهای اصلاحی در محدوده‌ی ارتفاعی یک تا ۱/۵ متر است (۴۳ درصد) که هزینه‌ی کنترل بار رسوبی در آنها بسیار بالا می‌باشد. نتایج به دست آمده با در نظر گرفتن نوع سدهای اصلاحی نیز نشان می‌دهد که سدهای اصلاحی گابیونی با ارتفاع ۴/۵ متر و هزینه - اثربخشی برابر با ۱۳۴۶۱۵ ریال هزینه به ازای هر تن بار رسوبی کنترل شده، کمترین میزان هزینه - اثربخشی را داشته و مقرون به صرفه‌ترین و بهینه‌ترین نوع سازه برای کنترل بار رسوبی می‌باشد. در مقابل، سدهای اصلاحی سنگ و ملاتی و گابیونی با ارتفاع‌های یک و ۱/۵ متر نیز بالاترین میزان هزینه - اثربخشی را دارد و هزینه کنترل بار رسوبی در این نوع از سدهای اصلاحی بسیار بالا می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد انتخاب نوع سازه در برنامه‌های مدیریتی در کارایی هزینه کنترل بار رسوبی تأثیر قابل توجهی خواهد داشت؛ از این رو در صورت لزوم کنترل بار رسوبی در مسیر جریان، انتخاب تعداد کمتری از سدهای اصلاحی با ارتفاع بهینه نسبت به انتخاب تعداد زیاد این سد با ارتفاع کمتر، می‌تواند نتایج بهتری را به همراه داشته باشد.

واژگان کلیدی: ارزیابی، انتخاب بهینه، بار رسوبی، سد اصلاحی، هزینه - اثربخشی.

۱- مقدمه

سابقه‌ی حفاظت خاک در ایران به سال ۱۳۴۰ باز می‌گردد. 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 شده‌است (Ahmadi et al, 2004). سدهای اصلاحی یکی از مهم‌ترین سازه‌های مهندسی برای کنترل فرسایش خاک، نگهداشت سیلاب و رسوبات، افزایش زمین‌های کشاورزی و کاهش انتقال رسوب در پایین دست است (Li et al, 2017) و در کاهش بار رسوبی در رودخانه‌ها نقش کلیدی دارد (Pal et al, 2018). از این رو، در نظر گرفتن تأثیر آنها در کنترل فرسایش و رسوب در برنامه‌های مدیریتی و بررسی درجه‌ی نیل به اهداف تعیین شده برای این پروژه‌ها، بسیار حائز اهمیت می‌باشد. با این وجود به دلیل نبود سیستم‌های آماربرداری و پایش در بسیاری از مناطق، اثبات میزان تأثیر سدهای اصلاحی و درجه‌ی رسیدن به اهداف مورد انتظار برای آنها نامشخص مانده- است (Pal et al, 2018).

ارزیابی، یک تحلیل سیستماتیک است (Najafinejad, 1992) و از نظر تعریف عبارت است از: تبدیل داده‌های علمی به اطلاعاتی که مرتبط با سیاست‌گذاری است و می‌تواند به تصمیم‌گیری و عمل کمک کند؛ به عبارت دیگر هدف از ارزیابی، به دست آوردن داده‌هایی است که در فرآیند تصمیم‌گیری و تهیه‌ی برنامه‌ی عملی استفاده می‌شود. ارزیابی جامع و مدیریت حوزه‌های آبخیز، فرآیندی بین رشته‌ای و چند بعدی و نیازمند توسعه‌ی علم در این زمینه است (Sadoddin et al, 2017). نبود ارزیابی و بازنگری فعالیت‌ها نیز در درازمدت، به انحراف از اهداف تعیین شده و در نتیجه هدررفت سرمایه منجر خواهد شد.

برآورد میزان تأثیر طرح‌های آبخیزداری مختلف، مبحثی است که همواره از سوی بهره‌برداران و کارشناسان آب و خاک قابل توجه بوده؛ از این رو، تاکنون تحقیقات زیادی در این زمینه انجام شده‌است که قدمت برخی از مستندات موجود به اوایل قرن ۱۷ میلادی بازمی‌گردد (Gitau, 2003). در این بین، پژوهش‌هایی مانند Roghani (۲۰۱۲)، Dabiri و همکاران (۲۰۱۳)، Teimurian و همکاران (2018)، Heshmati و همکاران (2019) در داخل کشور و Arabi و همکاران (۲۰۰۶)، Kaini و همکاران (۲۰۱۲)، Guyassa و همکاران (۲۰۱۷)، Nichols و Polyakov (۲۰۱۹)، Yuan و همکاران (۲۰۱۹)، Tang و همکاران (۲۰۱۹) و Cucchiario و همکاران (۲۰۱۹) در خارج از کشور، به ارزیابی عملکرد سدهای اصلاحی پرداخته‌اند. مقادیر اعلام شده برای کارایی این پروژه‌ها نیز بر حسب منطقه‌ی مطالعاتی، نحوه‌ی طراحی و روش ارزیابی بسیار متفاوت می‌باشد (Zare Garizi, 2016 & Giri et al, 2014).

معیار ارزیابی این پروژه‌ها اغلب بر اساس منافع تأثیرگذار بر جنبه‌ی اکوسیستمی است که با شاخص‌هایی همچون کاهش تولید رسوب اندازه‌گیری می‌شود. این نوع ارزیابی که ارزیابی اثرات^۱ نیز نامیده می‌شود، تحلیلی نظام‌مند است که اثرات ناشی از اجرای یک عملیات را مشخص می‌کند (Najafinejad, 1992). با این وجود، اگر هزینه‌ی اجرای عملیات در فرآیند ارزیابی در نظر گرفته نشود، ارزیابی‌های انجام شده نمی‌تواند معنادار باشد. یکی از چالش‌های اصلی در بررسی و انتخاب بهترین عملیات مدیریتی^۲ (BMPs) در سطح یک حوزه آبخیز، کارایی هزینه‌های صرف شده

¹ Impact Assessment

² Best Management Practices

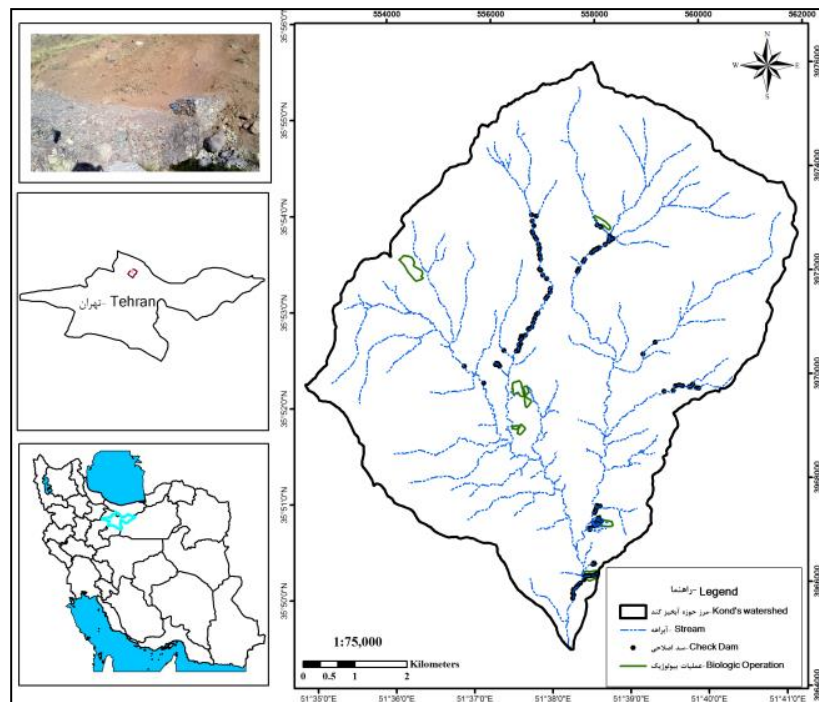
برای رسیدن به هدف مورد انتظار از اجرای عملیات است. این روش ارزیابی که کارایی هر واحد هزینه‌ی صرف شده را برای کنترل فرسایش و رسوب می‌سنجد، در علم اقتصاد به روش تحلیل هزینه - اثربخشی^۱ معروف است. روش تحلیل هزینه - اثربخشی که زیربنای روش تحلیل هزینه - فایده^۲ در طرح‌های آبخیزداری محسوب می‌شود، به‌خصوص برای کشورهای در حال توسعه با منابع مالی کمتر بسیار با اهمیت است (Zanou et al, 2003). از تحلیل هزینه - اثربخشی (CEA)، در موارد مختلفی برای یافتن راه‌حل بهینه و مقرون به صرفه استفاده شده‌است؛ برای نمونه، در تحقیقات مرتبط با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (MacLeod et al, 2010)، بهبود تأمین آب (Yang, 2011)، جلوگیری از وقوع سیلاب (Dawson et al, 2011)، حفاظت از تنوع زیستی (Helm and Hepburn, 2012)، مدیریت جنگل (Tóth et al, 2013)، بهبود کیفیت آب و کاهش آلاینده‌های آن (Comello et al, 2014)، ارزیابی رویکرد مدیریت اکوسیستم با خدمات اکوسیستم (Boerema et al, 2018) و انتخاب بهترین عملیات مدیریتی برای کاهش آلودگی غیر نقطه‌ای کشاورزی (Wang et al, 2019) از تحلیل هزینه - اثربخشی استفاده شده‌است. با این وجود، این روش به دلیل همکاری ضعیف بین رشته‌ای، کمبود داده، دشواری اجرا و پیچیدگی کمی کردن اثرات، در ایران و در مورد ارزیابی عملیات آبخیزداری تا کنون بررسی نشده‌است؛ از این رو هدف از این پژوهش، ارائه‌ی رویکردی جدید در زمینه‌ی ارزیابی اقتصادی عملیات آبخیزداری است. از طرفی به دلیل اینکه سدهای اصلاحی، بیشترین حجم و هزینه عملیات آبخیزداری انجام شده در ایران را در برمی‌گیرد، بررسی عملکرد و اثرات آنها برای شناسایی نقاط قوت و ضعف این سدها در حوزه‌های آبخیز کشور ضروری می‌باشد. علاوه بر این، تعیین ارتفاع و نوع بهینه سدهای اصلاحی در کنترل بار رسوبی و انتخاب مقرون به صرفه‌ترین آنها، نقش مؤثری در افزایش کارایی برنامه‌های مدیریتی خواهد داشت؛ از این رو، در این مطالعه عملکرد این سدها در حوزه آبخیز کند واقع در بالادست سد لتیان در استان تهران با رویکرد هزینه - اثربخشی به صورت کلی و منفرد، ارزیابی و مقایسه‌ی اقتصادی انواع سدهای اصلاحی موجود انجام شد.

۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

حوزه آبخیز کند با مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۴۱ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۵ دقیقه عرض شمالی، در استان تهران و شهرستان شمیرانات واقع شده‌است و در محدوده‌ی حوزه آبخیز سد لتیان قرار دارد (شکل ۱). دو آبراهه‌ی اصلی این حوزه آبخیز، کند و ناصرآباد (بوجان) نام دارد. وسعت حوزه آبخیز کند ۵۸۴۴ هکتار، حداقل ارتفاع آن ۱۶۸۰ متر و حداکثر ارتفاع آن ۳۸۸۰ متر می‌باشد. میانگین بارش سالانه در این حوزه نیز با در نظر گرفتن سه ایستگاه هواشناسی امامه، راحت‌آباد و کند سفلی به میزان ۶۳۷/۱۸ میلیمتر می‌باشد.

¹ Cost-Effectiveness Analysis

² Cost-Benefit Analysis



شکل ۱: نمایی از حوزه آبخیز کند و موقعیت عملیات آبخیزداری اجرا شده در آن.

۳- مواد و روش

فرآیند تحلیل هزینه - اثربخشی برای تعیین کارایی سدهای اصلاحی در حوزه آبخیز کند و تعیین مقرون به صرفه‌ترین و بهینه‌ترین ارتفاع و نوع سد اصلاحی، شامل مراحل زیر است:

الف- مشخصات سدهای اصلاحی

۱۲۳ سد اصلاحی گابیونی، گابیونی با روکش سنگ و ملاتی و سنگ و ملاتی، در سال ۱۳۷۸ و طی یک برنامه عملیات آبخیزداری در حوزه آبخیز کند ایجاد شده‌است. این سدهای اصلاحی در محدوده‌ای ارتفاعی یک تا هفت متر قرار دارد و با ارتفاع دو و پنج متر، به ترتیب بیشترین و کمترین فراوانی را در حوزه آبخیز کند به خود اختصاص داده‌است (جدول ۱).

جدول ۱: درصد فراوانی سدهای اصلاحی در گروه‌های ارتفاعی مختلف، حوزه آبخیز کند

ارتفاع - متر	۱	۱/۵	۲	۲/۵	۳	۳/۵	۴	۴/۵	۵	۷
درصد فراوانی	۲۱/۹۵	۲۱/۱۴	۲۶/۸۳	۱۳/۰۱	۷/۳۲	۲/۴۴	۱/۶۳	۳/۲۵	۰/۸۱	۱/۶۳

ب- هزینه سدهای اصلاحی

برای تعیین هزینه اجرای این سری از عملیات آبخیزداری در حوزه آبخیز کند، از گزارش‌های موجود در اداره منابع طبیعی استان تهران مربوط به زمان اجرای سدهای اصلاحی استفاده شد. سپس برای اینکه نتایج قابل لمس باشد، هزینه‌ی اجرای این نوع عملیات براساس فهرست بهای واحد پایه در رشته‌های آبخیزداری و منابع طبیعی سال ۱۳۹۸ سازمان

برنامه و بودجه کشور، فعلی و بر مبنای سال ۱۳۹۸ محاسبه شد. سپس هزینه‌ی هر سازه نیز به طور جداگانه بر مبنای حجم هر سد اصلاحی محاسبه شد.

پ- اثربخشی سدهای اصلاحی بر روی بار رسوبی

اثربخشی سدهای اصلاحی در کنترل بار رسوبی در دو حالت منفرد و کلی قابل سنجش است:

- اثربخشی منفرد

برای تعیین میزان اثربخشی هر یک از سدهای اصلاحی، ابتدا حجم رسوب ذخیره شده در پشت این سدها با روش Nakhjavani (1972) محاسبه شد. بدین منظور، مشخصات سدهای اصلاحی موجود در حوزه آبخیز کند در پایش میدانی اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از رابطه‌ی (۴)، حجم رسوب ذخیره شده در مخزن سدهای اصلاحی محاسبه شد.

$$V = \frac{h^2}{6(P-P')} \left(3L + \frac{h}{\alpha} + \frac{h}{\beta} \right) \quad \text{رابطه‌ی ۴}$$

که در آن، V : حجم رسوب (متر مکعب)، h : ارتفاع مفید سد (متر)، P : شیب آبراهه (صدم درصد)، P' : شیب حد آبراهه (صدم درصد)، L : عرض آبراهه، α : شیب کناره راست آبراهه (صدم درصد)، β : شیب کناره چپ آبراهه (صدم درصد) است. پس از تعیین حجم رسوب ذخیره شده، با در نظر گرفتن وزن مخصوص رسوبات در منطقه‌ی مطالعاتی، حجم رسوبات با واحد متر مکعب به وزن (تن) تبدیل شد.

- اثربخشی کلی

اثربخشی کلی سدهای اصلاحی بر روی بار رسوبی، با جمع اثربخشی منفرد کلیه‌ی سدهای اصلاحی موجود در حوزه آبخیز کند به دست آمد.

ت- تحلیل هزینه - اثربخشی

در این پژوهش، ارزیابی اقتصادی با رویکرد هزینه - اثربخشی انجام شد. در بحث کنترل فرسایش و رسوب، روشی که کارایی هر واحد هزینه صرف شده را برای حفظ آب و خاک و کنترل رسوب می‌سنجد، در علم اقتصاد به روش تحلیل هزینه - اثربخشی معروف است. اثربخشی هزینه بر اساس مقایسه‌ی پاسخ‌های فیزیکی حوزه آبخیز (فرسایش، رسوب و رواناب)، در شرایط بدون اجرای عملیات و با اجرای عملیات و با در نظر گرفتن هزینه به دست می‌آید. تحلیل هزینه - اثربخشی (CEA) در واقع یک روش ارزیابی است که عملیات مدیریتی مختلف را با هم مقایسه می‌کند. این امر به منظور انتخاب عملیاتی با هزینه‌ی کمتر و اثربخشی بالاتر برای رسیدن به هدفی مشخص صورت می‌گیرد. با استفاده از این رویکرد ارزیابی، می‌توان حالت بهینه‌ی یک عملیات را برای رسیدن به هدف مورد انتظار تعیین کرد. اگر E بیانگر اثربخشی و C بیانگر هزینه باشد، آن گاه هزینه - اثربخشی را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

رابطه‌ی ۵

$$CE = \frac{C}{E}$$

رابطه‌ی ۶

$$EC = \frac{E}{C}$$

که در آن CE: نسبت هزینه - اثربخشی^۱ و EC: نسبت اثربخشی - هزینه^۲ است. در واقع، تفاوت این دو رابطه در نحوه‌ی تفسیر آنها می‌باشد. نسبت هزینه به اثر، هزینه‌ی لازم را برای یک واحد کاهش متغیر هدف (برای نمونه بار رسوبی) نشان می‌دهد؛ در حالی که نسبت اثر به هزینه، مقدار کاهش متغیر هدف را در ازای یک واحد هزینه ارائه می‌دهد (Zanou et al, 2003). بر همین اساس، پروژه‌ای مقرون به صرفه و بهینه‌تر خواهد بود که نسبت به سایر پروژه‌ها، هزینه - اثربخشی بالاتر یا اثربخشی - هزینه پایین‌تری داشته باشد.

در این پژوهش بعد از محاسبه‌ی هزینه عملیات اجرا شده و تعیین میزات اثربخشی آن بر بار رسوبی، با تقسیم هزینه به مقدار بار رسوبی کنترل شده (اثربخشی)، هزینه - اثربخشی عملیات به صورت کلی و به تفکیک هر سد اصلاحی به دست آمد که واحد آن در این مطالعه، ریال هزینه به تن بار رسوبی کنترل شده است. واحد اثربخشی - هزینه نیز تن بار رسوبی کنترل به ازای هر ریال هزینه می‌باشد.

۴- یافته‌ها (نتایج)

- هزینه سدهای اصلاحی

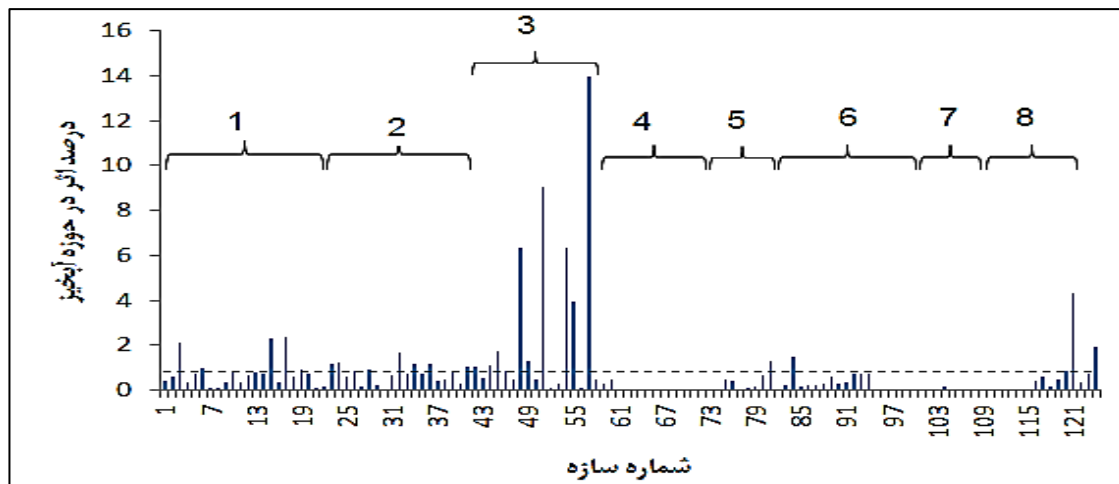
بر اساس اطلاعات استخراج شده از گزارش‌های اداره منابع طبیعی استان تهران، هزینه‌ی کلی احداث سدهای اصلاحی در حوزه آبخیز کند در سال ۱۳۷۸ و تعمیر آنها در طول عمر مفیدشان در حدود ۹۹۰ میلیون ریال بوده است. با فعلی کردن هزینه‌ی احداث سدهای اصلاحی بر مبنای سال ۱۳۹۸ و براساس فهرست بهای سازمان برنامه و بودجه کشور، هزینه‌ی احداث این سری از سدهای اصلاحی در سال ۱۳۹۸ در حوزه آبخیز کند، برابر با ۴۱/۸۰ میلیارد ریال خواهد بود.

- اثر سدهای اصلاحی بر کنترل بار رسوبی

اثربخشی جمعیتی سدهای اصلاحی در طول عمر مفید خود در حوزه آبخیز کند - که با محاسبه‌ی حجم رسوب انباشته شده در مخزن سدهای اصلاحی و وزنی کردن آنها به دست آمده - برابر با ۱۳۱۷۸۲ تن بار رسوبی بوده است؛ به عبارتی، سدهای اصلاحی در این حوزه آبخیز از خروج ۱۳۱۷۸۲ تن بار رسوبی بعد از سال ۱۳۷۸ جلوگیری کرده‌اند. نتایج به دست آمده از توزیع مکانی اثربخشی این سدها نشان می‌دهد که بالاترین اثربخشی با مقدار ۱۳/۹۹ درصد مربوط به سد اصلاحی با ارتفاع هفت متر بوده است (شکل ۲). علاوه بر این، تنها ۲۸ سازه از کل سدهای اصلاحی موجود در حوزه آبخیز کند، اثربخشی بالاتر از مقدار میانگین (۰/۸۰۶۵ درصد) داشته‌اند. مجموع اثر این ۲۸ سازه، برابر با ۷۳ درصد از کل گیرش بار رسوب در این حوزه آبخیز بوده است.

¹ Cost- Effectiveness Ratio

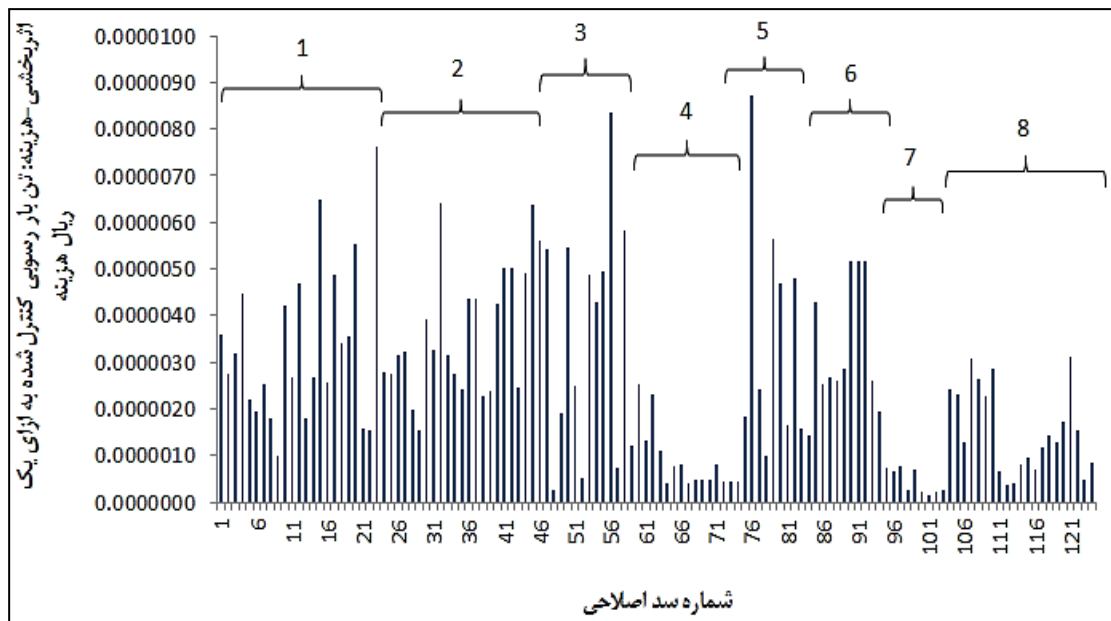
² Effectiveness-Cost Ratio



شکل ۲: درصد اثر سدهای اصلاحی در گیرش بار رسوبی به تفکیک در حوزه آبخیز کند (شماره‌ها معرف مکان سد اصلاحی در شکل (۴) می‌باشد).

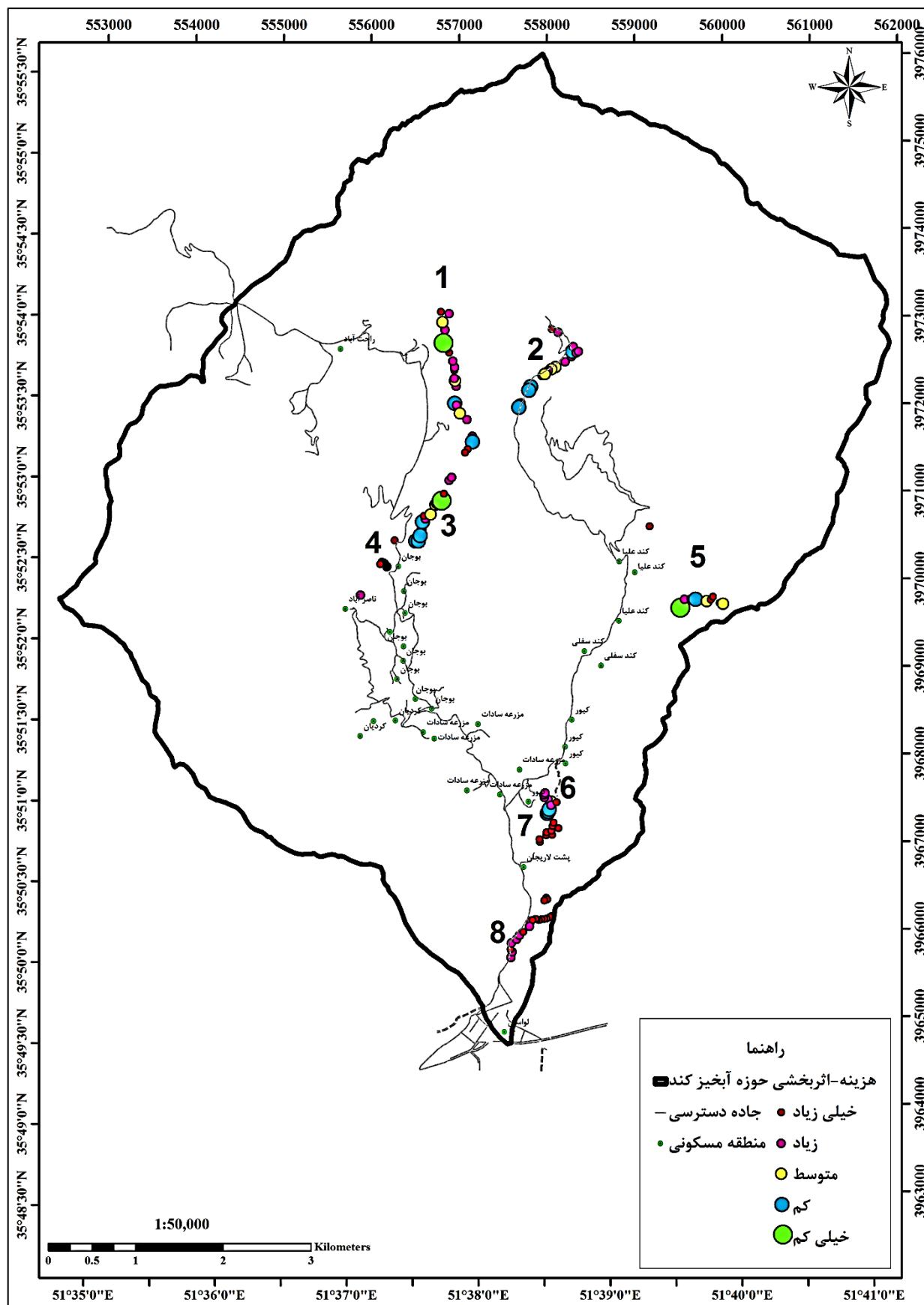
- تحلیل هزینه - اثربخشی

با مشخص شدن هزینه و اثربخشی سدهای اصلاحی موجود در حوزه آبخیز کند، هزینه - اثربخشی و اثربخشی - هزینه آنها محاسبه شده است. میانگین هزینه - اثربخشی سدهای اصلاحی در حوزه آبخیز کند، برابر با ۳۱۷۱۸۰ ریال هزینه به ازای یک تن بار رسوبی کنترل شده است. بر همین اساس، میانگین اثربخشی - هزینه این سری از عملیات آبخیزداری نیز ۰/۰۰۰۰۰۳۱۵ تن بار رسوبی به ازای هر ریال هزینه می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که کنترل بار رسوبی در حوزه آبخیز بوجان با هزینه‌ی بالایی صورت گرفته است. با این وجود، این اعداد میانگین کلی است و نمی‌تواند مبنایی برای تصمیم‌گیری‌های آینده باشد. در این پژوهش برای ارزیابی دقیق‌تر و فراهم کردن امکان مقایسه‌ی عملکرد سدهای اصلاحی مختلف، تعیین نوع بهینه‌ی آنها و انتخاب مقرون به صرفه‌ترین نوع سد اصلاحی، هزینه - اثربخشی و اثربخشی - هزینه هر یک از سدهای اصلاحی با تکیه بر مقدار رسوب ذخیره شده توسط هر یک از آنها به تفکیک محاسبه شد که مقادیر عددی اثربخشی - هزینه در شکل (۳) ارائه شده است. پراکنش مکانی هزینه - اثربخشی سدهای اصلاحی نیز در شکل (۴) نشان داده شده است.



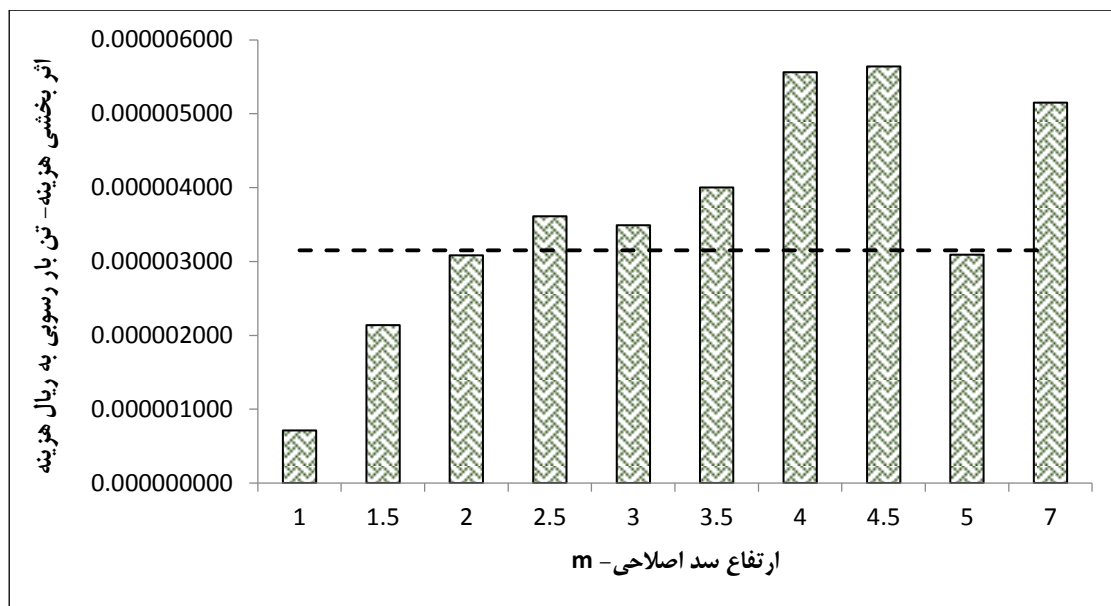
شکل ۳: اثربخشی - هزینه سدهای اصلاحی در موقعیت های مکانی مختلف در حوزه آبخیز کند (شماره ها معرف مکان سد اصلاحی در شکل (۴) می باشد).

بر اساس نتایج به دست آمده، حداقل مقدار اثربخشی - هزینه در حوزه آبخیز کند با مقدار $0/00000017$ تن بار رسوبی به ازای یک ریال هزینه مربوط به یک سد گابیونی با ارتفاع یک متر است و در این سازه، هزینه کنترل هر تن بار رسوبی نیز حداکثر با مقدار 5816743 ریال می باشد. حداکثر مقدار اثربخشی - هزینه نیز با مقدار $0/00000087$ تن بار رسوبی به ازای یک ریال هزینه مربوط به یک سد اصلاحی گابیونی با ارتفاع $4/5$ متر است. در این سد اصلاحی هزینه - اثربخشی کنترل بار رسوبی با مقدار 114850 ریال، حداقل می باشد. پراکنش مکانی هزینه - اثربخشی سدهای اصلاحی در حوزه آبخیز کند نیز نشان می دهد سدهای اصلاحی واقع شده در ناحیه سه - که در شکل (۵) مشخص شده - است - کمترین میزان هزینه - اثربخشی را دارد؛ به عبارت دیگر، هزینه کنترل بار رسوبی در این قسمت از حوزه آبخیز کند کمتر از سایر قسمت هایی است که سد اصلاحی دارد. با توجه به شکل (۳) نیز مشخص می شود که سدهای اصلاحی واقع شده در این ناحیه، بیشترین گیرش بار رسوبی و در نتیجه بیشترین تأثیر را در کاهش بار رسوبی خروجی از حوزه آبخیز کند داشته اند.

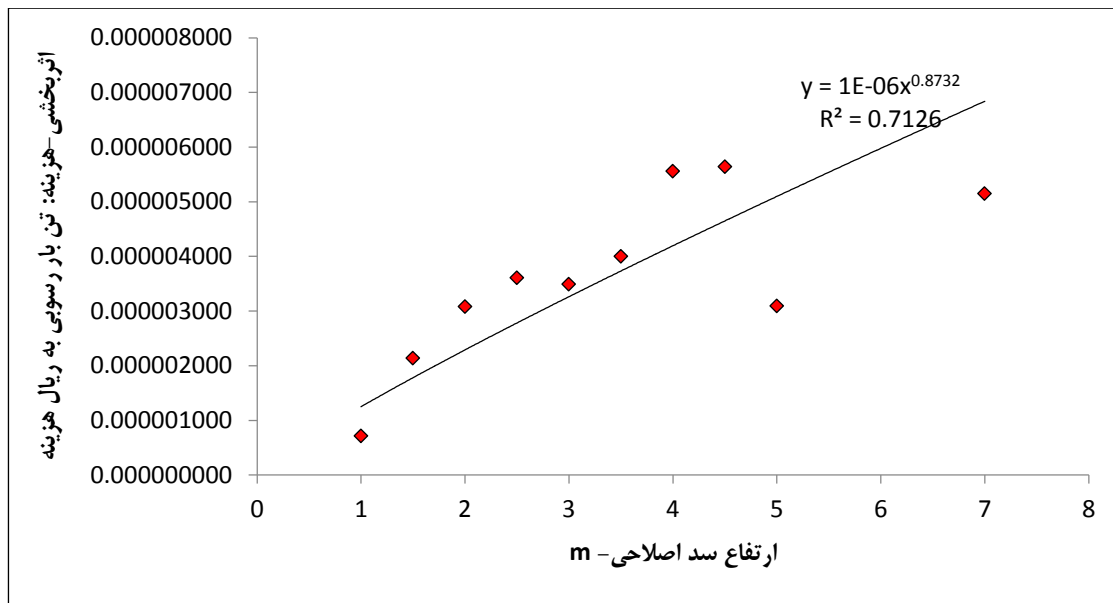


شکل ۴: پراکنش مکانی هزینه - اثر بخشی (ریال هزینه به ازای یک تن بار رسوبی کنترل شده) سدهای اصلاحی در حوزه آبخیز کند

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در سدهای اصلاحی با ارتفاع‌های یک، یک و نیم، دو و پنج متر، میانگین اثربخشی - هزینه در کنترل بار رسوبی کمتر از مقدار میانگین می‌باشد. همچنین با افزایش ارتفاع سدهای اصلاحی تا ارتفاع ۴/۵ متر در منطقه‌ی مطالعاتی (بدون در نظر گرفتن نوع سازه)، معیار اثربخشی - هزینه آنها افزایش می‌یابد (شکل ۵). در این حالت، بالاترین میزان اثربخشی - هزینه با مقدار ۰/۰۰۰۰۰۵۶ تن بار رسوبی کنترل شده به ازای هر ریال هزینه، متعلق به سدهای اصلاحی با ارتفاع ۴/۵ متر است. بعد از ارتفاع ۴/۵ متر به دلیل تغییر ماهیت سدهای اصلاحی از حالت گابیونی به سنگ و ملاتی و افزایش هزینه‌های احداث آنها، مقدار اثربخشی - هزینه کاهش می‌یابد. با این وجود، کمترین مقدار اثربخشی - هزینه به سدهای اصلاحی با ارتفاع یک متر تعلق دارد (۰/۰۰۰۰۰۰۷۱۲ تن بار رسوبی کنترل شده به ازای هر ریال). با وجود بالا بودن هزینه‌ی تمام شده در احداث این سازه‌ها، توانایی آنها در کنترل بار رسوبی پایین می‌باشد؛ به عبارت دیگر، اثربخشی - هزینه با ارتفاع سد اصلاحی رابطه‌ی توانی دارد (شکل ۶). به طوری که با افزایش ارتفاع سد اصلاحی (تا ارتفاع ۴/۵ متر)، اثربخشی - هزینه آن نیز مقدار بالاتری خواهد بود.

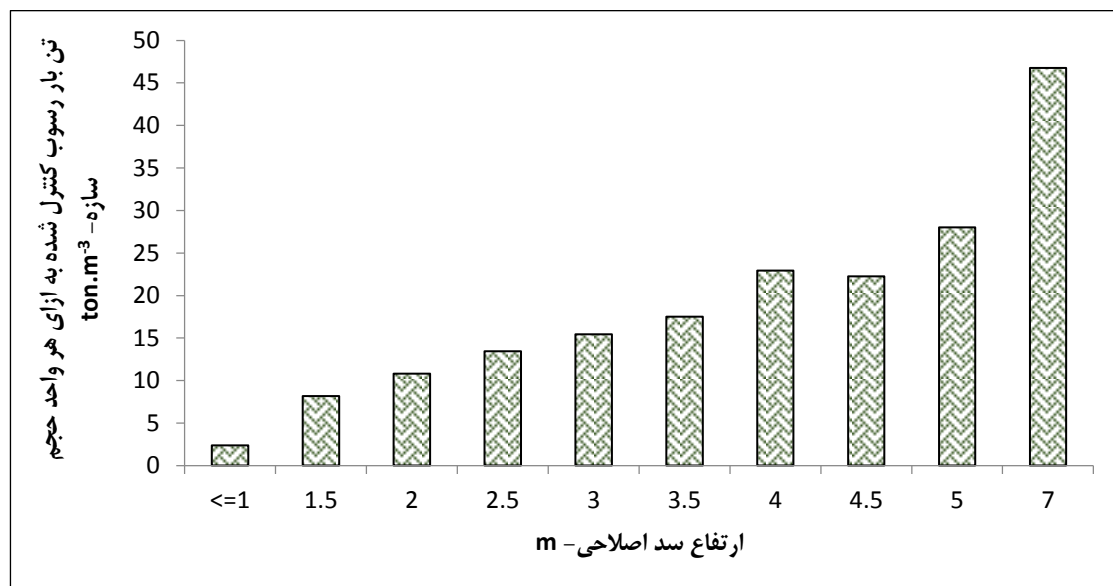


شکل ۵: اثربخشی - هزینه سدهای اصلاحی با گروه ارتفاعی مختلف در حوزه آبخیز کند



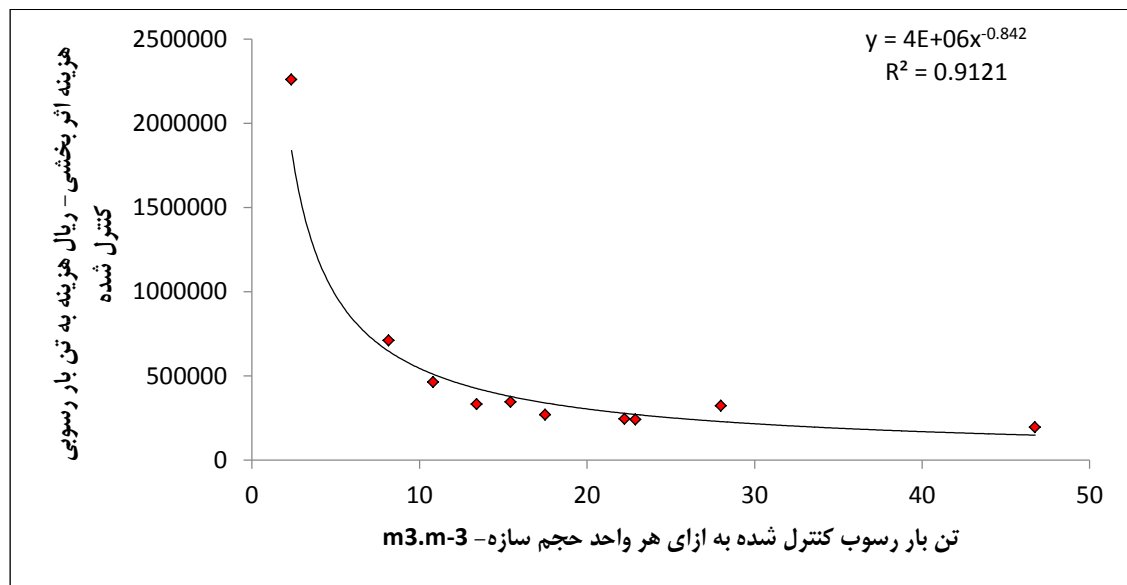
شکل ۶: رابطه‌ی بین اثر بخشی - هزینه سدهای اصلاحی در کنترل بار رسوبی با ارتفاع آنها در حوزه آبخیز کند

دلیل اصلی اثر بخشی - هزینه بالاتر سدهای اصلاحی بلندتر، توانایی بیشتر آنها در کنترل بار رسوبی است. میانگین مقدار رسوب کنترل شده به ازای هر متر مکعب سد اصلاحی در منطقه‌ی مطالعاتی، برابر با ۱۰/۳۸ تن بار رسوبی به ازای هر متر مکعب سد اصلاحی است که حداقل آن با مقدار ۰/۵۶ تن بار رسوبی به یک سد اصلاحی گابیونی با ارتفاع یک متر تعلق دارد و حداکثر آن با مقدار ۴۹/۱۹ تن بار رسوبی به سد اصلاحی سنگ و ملاتی با ارتفاع هفت متر (شکل ۷). در واقع همگام با افزایش ارتفاع سازه، ظرفیت مخزن نیز افزایش بیشتری یافته‌است و در نتیجه مقدار بار رسوبی کنترل شده به ازای هر واحد حجم سازه افزایش می‌یابد.



شکل ۷: تن بار رسوبی کنترل شده به ازای هر واحد حجم سازه در سدهای اصلاحی متفاوت در حوزه آبخیز کند

هزینه‌ی کنترل بار رسوبی در منطقه‌ی مطالعاتی با در نظر گرفتن بار رسوبی رسوب کنترل شده به ازای هر واحد حجم سازه، به صورت یک رابطه‌ی توانی است (شکل ۸).

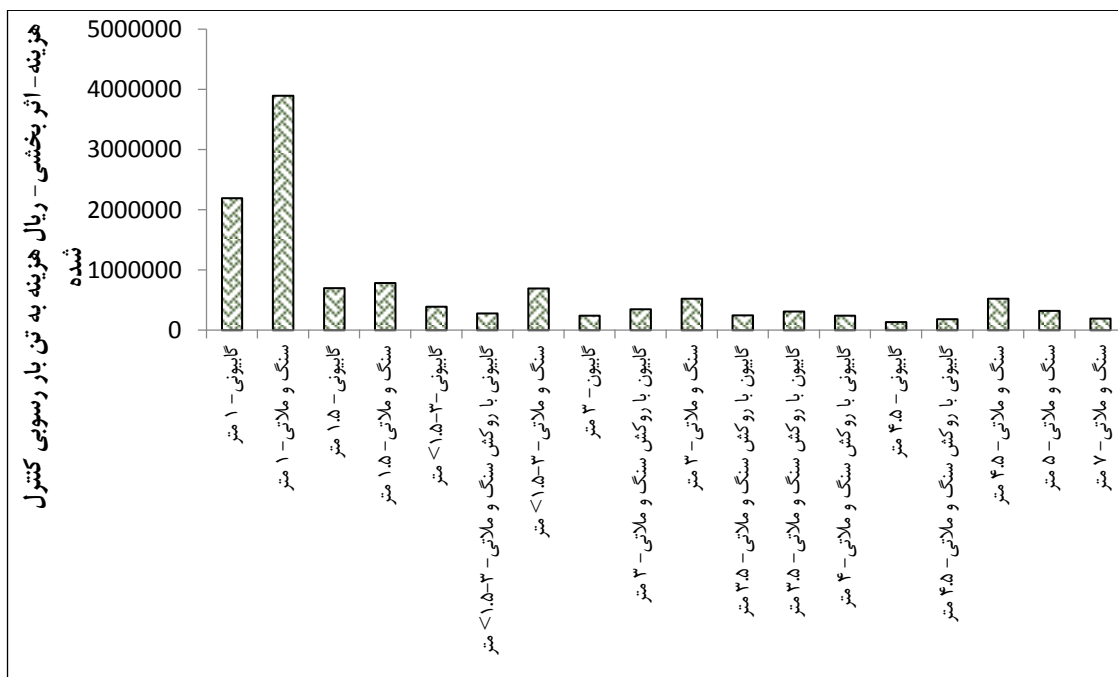


شکل ۸: رابطه‌ی بین تن بار رسوبی کنترل شده در سدهای اصلاحی و هزینه کنترل آن

بر اساس نتایج به دست آمده هزینه‌ی کنترل بار رسوبی در سدهای اصلاحی با ارتفاع بیشتر، کمتر از سدهای اصلاحی کوچک است؛ برای نمونه، در منطقه‌ی مطالعاتی هزینه هر واحد کنترل بار رسوبی در سدهای اصلاحی با ارتفاع یک متر بر مبنای قیمت سال ۱۳۹۸، به میزان ۲۲۵۹۱۷۴ ریال بوده است. اما در همین زمان، این هزینه در سدهای اصلاحی با ارتفاع ۴/۵ متر در حدود ۲۴۴۲۲۴ ریال است که با هزینه کنترل بار رسوبی در سدهای اصلاحی کوچک تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد؛ به عبارت دیگر، هزینه - اثربخشی سدهای اصلاحی با ارتفاع یک متر، بیش از نه برابر سدهای اصلاحی با ارتفاع ۴/۵ متر است. بر همین اساس مشخص می‌شود که کنترل بار رسوبی در منطقه‌ی مطالعاتی با هزینه‌ی بالایی صورت گرفته که یکی از دلایل اصلی آن، وجود تعداد زیادی سدهای اصلاحی در محدوده‌ی ارتفاعی ۱ تا ۱/۵ متر است (۴۳ درصد) که هزینه‌ی کنترل بار رسوبی در آنها بسیار بالا می‌باشد.

علاوه بر ارتفاع و ظرفیت مخزن سدهای اصلاحی، نوع این سد نیز تأثیر بسیار زیادی بر هزینه - اثربخشی آن دارد (شکل ۹). هزینه‌ی احداث سدهای اصلاحی سنگ و ملاتی بیش از هزینه‌ی احداث سدهای گابیونی است؛ به همین دلیل، اثربخشی - هزینه در ارتفاع‌های بیش از ۴/۵ متر - که تعداد سدهای اصلاحی سنگ و ملاتی افزایش می‌یابد - با وجود افزایش ظرفیت مخزن، روند کاهشی داشته است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که سدهای اصلاحی سنگ و ملاتی با ارتفاع یک متر، بالاترین میزان هزینه - اثربخشی را دارد (۳۸۹۴۴۴۹ ریال هزینه به ازای هر تن بار رسوبی کنترل شده) (جدول ۲- اولویت انتخاب ۱۸). در واقع، هزینه کنترل بار رسوبی در این نوع از سدهای اصلاحی بسیار بالا می‌باشد. سدهای اصلاحی گابیونی با ارتفاع یک متر، سدهای اصلاحی سنگ و ملاتی و گابیونی با ارتفاع ۱/۵ متر نیز به ترتیب با هزینه - اثربخشی ۲۱۹۶۲۷۹، ۷۸۴۵۵۳ و ۷۰۱۶۹۷ ریال هزینه به ازای یک تن بار رسوبی کنترل شده، در رده‌های دوم تا چهارم قرار می‌گیرد. از این رو انتخاب این نوع از سازه‌ها در برنامه‌های مدیریتی، هزینه کنترل بار رسوبی را به

میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد. در مقابل، سدهای اصلاحی گابیونی با ارتفاع ۴/۵ متر و هزینه - اثربخشی برابر با ۱۳۴۶۱۵ ریال هزینه به ازای هر تن بار رسوبی کنترل شده، کمترین میزان هزینه - اثربخشی را داشته و مقرون به صرفه‌ترین و بهینه‌ترین نوع سازه برای کنترل بار رسوبی می‌باشد (اولویت انتخاب ۱). بعد از این نوع سازه، سدهای اصلاحی گابیونی با روکش سنگ و ملاتی و ارتفاع ۴/۵ متر و سدهای اصلاحی سنگ و ملاتی با ارتفاع هفت متر به ترتیب با هزینه - اثربخشی ۱۸۳۰۸۱ و ۱۹۴۷۱۵ ریال هزینه به ازای هر تن بار رسوبی، در رده‌ی دوم و سوم مقرون به صرفه‌ترین سازه‌ها قرار می‌گیرد (جدول ۲). این نتیجه نشان می‌دهد انتخاب نوع سازه در برنامه‌های مدیریتی، تأثیر قابل توجهی در هزینه کنترل بار رسوبی دارد و می‌تواند راهنمایی برای برنامه‌های مدیریتی در منطقه‌ی مطالعاتی باشد.



شکل ۹: هزینه - اثربخشی انواع سدهای اصلاحی در گروه‌های ارتفاعی مختلف در حوزه آبخیز کند

جدول ۲: تعیین مقرون به صرفه ترین نوع سد اصلاحی در کنترل بار رسوبی در منطقه‌ی مطالعاتی

ردیف	نوع سد اصلاحی	بار رسوبی کنترلی شده به ازای هر واحد حجم سازه	اثربخشی - هزینه	هزینه - اثربخشی	نسبت هزینه به ازای
		ton.m3	تن بار رسوبی به ازای ریال هزینه	ریال هزینه به ازای یک تن بار رسوبی	m
۱	سد اصلاحی گابیون با ارتفاع یک متر	۲/۳۶	۰/۰۰۰۰۰۰۷۳	۲۱۹۶۲۷۹	۱۷
۲	سد اصلاحی سنگ و ملاتی با ارتفاع یک متر	۲/۳۳	۰/۰۰۰۰۰۰۲۶	۳۸۹۴۴۴۹	۱۸
۳	سد اصلاحی گابیونی با ارتفاع ۱.۵ متر	۷/۰۵	۰/۰۰۰۰۰۰۲۲۰	۷۰۱۶۹۷	۱۵
۴	سد اصلاحی سنگ و ملاتی با ارتفاع ۱.۵ متر	۱۶/۵۳	۰/۰۰۰۰۰۰۱۸۲	۷۸۴۵۵۳	۱۶
۵	سد اصلاحی گابیونی با ارتفاع بیش از ۱.۵ تا سه متر	۱۱/۰۷	۰/۰۰۰۰۰۰۳۴۲	۳۹۲۳۴۶	۱۱
۶	سد اصلاحی گابیونی با روکش سنگ و ملاتی با ارتفاع بیش از ۱.۵ تا سه متر	۱۴/۷۶	۰/۰۰۰۰۰۰۳۵۹	۲۷۸۶۱۴	۷
۷	سد اصلاحی سنگ و ملاتی با ارتفاع بیش از ۱.۵ تا سه متر	۱۶/۰۳	۰/۰۰۰۰۰۰۱۷۷	۶۹۳۰۶۷	۱۴
۸	سد اصلاحی گابیون با ارتفاع سه متر	۱۴/۶۴	۰/۰۰۰۰۰۰۴۵۲	۲۴۰۱۱۰	۴
۹	سد اصلاحی گابیون با روکش سنگ و ملاتی با ارتفاع سه متر	۱۱/۸۳	۰/۰۰۰۰۰۰۲۸۷	۳۴۸۲۵۳	۱۰
۱۰	سد اصلاحی سنگ و ملاتی با ارتفاع سه متر	۱۷/۹۷	۰/۰۰۰۰۰۰۱۹۸	۵۲۲۴۴۳	۱۲
۱۱	سد اصلاحی گابیون با روکش سنگ و ملاتی با ارتفاع ۳.۵ متر	۱۴/۲۰	۰/۰۰۰۰۰۰۴۳۸	۲۴۹۰۴۹	۶
۱۲	سد اصلاحی گابیون با روکش سنگ و ملاتی با ارتفاع ۳.۵ متر	۱۳/۳۴	۰/۰۰۰۰۰۰۳۲۴	۳۰۸۸۳۸	۸
۱۳	سد اصلاحی گابیونی با روکش سنگ و ملاتی با ارتفاع چهار متر	۲۲/۹۸	۰/۰۰۰۰۰۰۵۵۶	۲۴۰۹۰۸	۵
۱۴	سد اصلاحی گابیون با ارتفاع ۴.۵ متر	۲۴/۵۹	۰/۰۰۰۰۰۰۷۵۹	۱۳۴۶۱۵	۱
۱۵	سد اصلاحی گابیون با روکش سنگ و ملاتی با ارتفاع ۴.۵ متر	۲۲/۵۲	۰/۰۰۰۰۰۰۵۴۶	۱۸۳۰۸۱	۲
۱۶	سد اصلاحی سنگ و ملاتی با ارتفاع ۴.۵ متر	۱۷/۳۰	۰/۰۰۰۰۰۰۱۹۱	۵۲۴۶۰۸	۱۳
۱۷	سد اصلاحی سنگ و ملاتی با ارتفاع پنج متر	۲۸/۰۷	۰/۰۰۰۰۰۰۳۰۹	۳۲۳۳۴۱	۹
۱۸	سد اصلاحی سنگ و ملاتی با ارتفاع هفت متر	۴۶/۷۴	۰/۰۰۰۰۰۰۵۱۵	۱۹۴۷۱۵	۳

۵- بحث و نتیجه گیری

اثربخشی سدهای اصلاحی بر اساس مشخصات سازه، محل قرارگیری و ویژگی حوزه آبخیز بالادست آن متفاوت می باشد. با این وجود، اثربخشی حدود ۸۳ درصد از سدهای اصلاحی موجود در حوزه آبخیز کند، کمتر از یک درصد است که دلیل اصلی آن، انتخاب سدهای اصلاحی با ارتفاع کمتر از دو متر می باشد. ارزیابی اقتصادی سدهای اصلاحی احداث شده در حوزه آبخیز کند با رویکرد جدید هزینه - اثربخشی نیز نشان می دهد که در حالت کلی، هزینه -

اثربخشی سری سدهای اصلاحی موجود در منطقه مطالعاتی بالا می‌باشد؛ به عبارت دیگر، کنترل بار رسوبی در این منطقه با هزینه‌ی بالایی صورت گرفته‌است. به دلیل اینکه حدود نیمی از سدهای اصلاحی اجرا شده در حوزه آبخیز کند در محدوده‌ی ارتفاعی ۱ تا ۱/۵ متر قرار دارد، هزینه کنترل بار رسوبی در این نوع از سدهای اصلاحی بسیار بالا می‌باشد. علاوه بر این، نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که بهینه‌ترین و مقرون به صرفه‌ترین نوع و ارتفاع برای سدهای اصلاحی، سدهای اصلاحی گابیونی با ارتفاع ۴/۵ متر است. در این حالت، هزینه کنترل بار رسوبی کمترین مقدار می‌باشد. بعد از این حد ارتفاعی به دلیل افزایش هزینه‌های ناشی از تغییر نوع سدهای اصلاحی، اثربخشی - هزینه سدهای اصلاحی، کاهش و هزینه کنترل هر واحد بار رسوبی نسبت به سدهای اصلاحی گابیونی ۴/۵ متر افزایش می‌یابد. این نتایج نشان می‌دهد انتخاب درست سدهای اصلاحی در برنامه‌های کنترل بار رسوب تا حد زیادی می‌تواند کارایی هزینه‌های صرف شده را افزایش دهد و در نتیجه با افزایش اثربخشی پروژه، هزینه‌ی کلی آن و هزینه‌ی لازم برای کنترل هر واحد بار رسوبی کاهش یابد.

روند تخریبی در حوزه‌های آبخیز کشور بیانگر این واقعیت است که راهبردهای حفاظت آب و خاک به بازنگری اساسی نیاز دارد. لازمه‌ی این کار نیز شناخت نقاط ضعف و قوت راهکارهای استفاده شده و استفاده از آنها در برنامه‌ریزی‌های آینده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در صورت لزوم کنترل بار رسوبی در مسیر جریان، انتخاب تعداد کمتری از سدهای اصلاحی با ارتفاع و نوع بهینه، نتایج بهتر و هزینه‌ی کمتری را نسبت به انتخاب تعداد زیادی سد اصلاحی کوچک به همراه خواهد داشت.

۶- سپاس‌گزاری

این تحقیق با حمایت مالی شرکت مادر تخصصی مدیریت منابع آب ایران انجام شده‌است؛ از این رو، نگارندگان مراتب تقدیر و تشکر خود را اعلام می‌کنند.

منابع

1. Ahmadi, H.; Nazari Samani, A. A.; Ghoddousi, J.; & M. R. Ekhtesasi, 2004. A model for evaluation of watershed management project, Iranian J, *Natural Res*, 56(4), 337-351. (In Persian)
2. Arabi, M.; Govindaraju, R. S.; & M. M. Hantush, 2006. Cost-effective allocation of watershed management practices using a genetic algorithm, *Journal of Water Resources Research*, 42, 1-14.
3. Arabkhedri, M.; Hakimkhani, Sh.; & J. Varvani, 2004. The validity of extrapolation methods in estimation of annual mean suspended sediment yield (17 hydrometric stations), *Journal of Agricultural Science and Natural Resources*, 11(3), 123-131. (In Persian)
4. Boerema, A.; Van Passel, S.; & P. Meire, 2018. Cost-Effectiveness Analysis of Ecosystem Management With Ecosystem Services: From Theory to Practice, *Ecological Economics*, 152, 207-218.
5. Brown, K. R.; McGuire, K. J.; Hession, W. C.; & W. M. Aust, 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. Comello, S. D.; Maltais-Landry, G.; Schwegler, B. R.; & M. D. Lepech, 2014. Firm-level ecosystem service valuation using mechanistic biogeochemical modeling and functional substitutability, *Ecol. Econ*, 100, 63-73.

7. Cucchiaro, S.; Cavalli, M.; Vericat, D.; Crema, S.; Llana, M.; Beinat, A.; Marchi, L.; & F. Cazorzi, 2019. Geomorphic effectiveness of check dams in a debris-flow catchment using multi-temporal topographic surveys, *CATENA*, 174, 73-83.
8. Dawson, R. J.; Ball, T.; Werritty, J.; Werritty, A.; Hall, J. W.; & N. Roche, 2011. Assessing the effectiveness of non-structural flood management measures in the Thames Estuary under conditions of socio-economic and environmental change, *Glob. Environ Chang*, 21, 628-646.
9. Dabiri, S.; Soufi, M.; & N. Talebbidokhti, 2013. Investigating the Function of Check Dams on Sediment Control (Case Study: Watersheds of Eghlid, Marvdasht & Mamasani Regions of Fars Province), *Journal Management System*, 6(18), 1-22. (In Persian)
10. Duan, N., 1983. Smearing estimate, a nonparametric retransformation method. *J. Amer. Statistical Association*, 78(383), 605-610.
11. Ferguson, R., 1987. Accuracy and precision of methods for estimating river loads, *Earth Surface Processes and Land Forms*, 12, 95-104.
12. Giri, S.; Nejadhashemi, A. P.; Woznicki, S.; & Z. Zhang, 2014. Analysis of best management practice effectiveness and spatiotemporal variability based on different targeting strategies, *Hydrological Processes*, 28(3), 431-445.
13. Gitau, M. W., 2003. A quantitative assessment of BMP effectiveness for phosphorus pollution control: The Town Brook Watershed, NY PhD diss. University Park, Pa.: Pennsylvania State University.
14. Guyassa, E.; Frankl, A.; Zenebe, A.; Poesen, J.; & J. Nyssen, 2017. Effects of check dams on runoff characteristics along gully reaches, the case of Northern Ethiopia, *Journal of Hydrology*, 545, 299-309.
15. Helm, D., & C. Hepburn., (2012). The economic analysis of biodiversity: an assessment. *Oxf. Rev. Econ. Policy*. 28, 1-21.
16. Heshmati, M.; Parvizi, Y.; Gheitury, M.; Sanee, M.; Shadfar, S.; & M. Goodarzi, 2019. Stakeholder's Opinion on Watershed Management Measures in Razin Catchment, Kermanshah, Iran, *Journal of Watershed Engineering and Management*, 11(1), 101-111. (In Persian)
17. Iadanza, C., & F. Napolitano., (2006). Sediment transport time series in the Tiber River. *Journal of Physics and Chemistry of the Earth*. 31, 1212-1227.
18. Jones, K. R.; Berney, O.; Carr, D. P.; & E. C. Barret, 1981. Arid zone hydrology for agricultural development, *FAO Irrigation and Drainage Paper*, 37, 271.
19. Kaini, P.; Artita, K.; & J. W. Nicklow, 2012. Optimizing Structural Best Management Practices Using SWAT and Genetic Algorithm to Improve Water Quality Goals, *Journal of Water Resour. Manage*, 26, 1827-1845.
20. Kao, Sh.; Lee, T.; & J. D. Milliman, 2005. Calculating highly fluctuated suspended sediment fluxes from mountainous rivers in Taiwan, *TAO*, 16(3), 653-675.
21. watershed of Kurdistan province. *J. of Water and Soil Conservation*, 24(6), 243-255. (In Persian)
22. Li, E.; Mu, X.; Zhao, G.; Gao, P.; & W. Sun, 2017. Effects of check dams on runoff and sediment load in a semi-arid river basin of the Yellow River, *Journal of Stoch Environ Res Risk Assess*, 31, 1791-1803.
23. Liu, Y.; Cibin, R.; Bralts, V. F.; Chaubey, I.; Bowling, L. C.; & B. A. Engel, 2016. Optimal selection and placement of BMPs and LID practices with a rainfall-runoff model, *Environmental Modelling & Software*, 80, 281-296.
24. MacLeod, M.; Moran, D.; Eory, V.; Rees, R. M.; Barnes, A.; Topp, C. F. E.; Ball, B.; Hoad, S.; Wall, E.; McVittie, A.; Pajot, G.; Matthews, R.; Smith, P.; & A. Moxey, 2010. Developing greenhouse gas marginal abatement cost curves for agricultural emissions from crops and soils in the UK, *Agric. Syst*, 103, 198-209.

25. Najafinejad, A., 1992. Guide to economic evaluation of watershed management plans (Vol.1), Ministry of Jihad, 79 pages. (In Persian)
26. Nichols, M. H., & V. O. Polyakov., (2019). The impacts of porous rock check dams on a semiarid alluvial fan. *Journal of Science of the total Environment*. 664, 576-582.
27. Nakhjavani, F., 1972. Watershed management, University of Tehran. (In Persian)
28. Pal, D.; Galelli, S.; Tang, H.; & Q. Ran, 2018. Toward improved design of check dam systems: A case study in the Losse Plateau, China, *Journal of Hydrology*, 559, 762-773.
29. Phillips, J. M.; Webb, B. W.; Walling, D. E.; & G. J. L. Leeks, 1999. Estimating the suspended sediment loads of rivers in the LOIS study area using infrequent, *Journal of Hydrological Processes*, 13(7), 1035-1050.
30. Planning and Budget Organization., 2019. Price list of watershed management and natural resources, 131 p.
31. Roghani, M., 2012. Surveing the Mecanical Implementation Roles in Runoff Controlling on the Watershed (Case Study in Hydarie Catchment), *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 2(7), 11-23. (In Persian)
32. Sadoddin, A.; Shahabi, M.; & M. By, 2017. Assessing and integrated watershed management: Principles and modelling approach and decision making, *Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources Press*, 170 pages. (In Persian)
33. Searcy, J. K., & C. H. Hardison., (1960). Double Mass Curve. U.S. *Geological Survey, Water-Supply Paper, 1541-B*. 66 pages.
34. Tang, H.; Ran, Q.; & J. Gao, 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, *Journal of Water*, 11, 1161.
35. Teimurian, T.; Feiznia, S.; & S. D. Seyyedalikhani, 2018. The impact of watershed rehabilitation measure on the flow and sediment characteristics of the Fashand Catchment, Hashtgerd, *Journal of Watershed Management Research*, 118, 13-22. (In Persian)
36. Tóth, S. F.; Ettl, G. J.; Könnnyü, N.; Rabotyagov, S. S.; Rogers, L. W.; & J. M. Cornick, 2013. ECOSEL: multi-objective optimization to sell forest ecosystem services, *Forest Policy Econ*, 35, 73-82.
37. Yang, W., 2011. A multi-objective optimization approach to allocate environmental flows to the artificially restored wetlands of China's Yellow River Delta, *Ecol. Model*, 222, 261-267.
38. Yuan, S.; Li, Z.; Li, P.; Xu, G.; Gao, H.; Xiao, L.; Wang, F., & T. Wang, 2019. Influence of Check Dams on Flood and Erosion Dynamic Processes of a Small Watershed in the Loss Plateau, *Journal of Water*, 11, 834.
39. Zanou, B., Kontogianni, A., & M. Skourtos, 2003. A classification approach of cost effective management measures for the improvement of watershed quality, *Ocean & Coastal Management*, 46, 957-983.
40. Zare Garizi, A., 2016. Development of a simulation-optimization framework for optimizing Best Management Practices (BMPs) for soil and water conservation at the watershed level (case study: Ghare-sou watershed, Golestan province), *Ph.D Thesis, Yazd University*, 150 pages. (In Persian)

Spatial Assessing of cost-effectiveness of check dams in controlling sediment load (Case study: Kond watershed)

Shahrbano Abbasi Jondaniⁱ: *Ph.D Student in Watershed Management, Natural Resources Department, University of Tehran, Karaj*

Aliakbar Nazari Samani: *Associate professor, Natural Resources Department, University of Tehran, Karaj*

Seyed Mahdi Heshmatol Vaezin: *Associate professor, Natural Resources Department, University of Tehran, Karaj*

Omid Bozorg-Haddad: *Professor, Agricultural Engineering and Technology Department, University of Tehran*

Article History (Received: 27/12/2019

Accepted: 14/01/2020)

Extended abstract

1- Introduction

Evaluation is a process of assessing the degree of achievement to determined goals. In the meantime, choosing the right method for evaluating the effects will have a significant role on the results and management strategies. Therefore, considering the importance of check dams in watershed management programs in Iran, in this study, performance of check dams in Kond watershed in Tehran province is evaluated with a new economic approach named Cost-Effectiveness Analysis.

2- Methodology

At first, the cost associated with check dams is Actualized based on 2019. Then, their effectiveness in controlling sediment load is determined by calculating the volume of stored sediment in their reservoir by Nakhjavani method. Next, Economic evaluation of check dams done using Cost-Effectiveness approach and their spatial distribution is obtained. Finally, the most cost-effectiveness and optimal type and height of check dams in the Kond watershed is determined.

3- Results

Obtained results showed that the effectiveness of check dams in the Kond watershed was equal to the control of 131782 t of sediment load, which is a high value. Overall cost-effectiveness of these check dams is equal to 317180 IRR per each ton of controlled sediment load. Their effectiveness-cost is also equal to 0.00000315 ton of controlled sediment load per each IRR, which is a small amount. The results show that the cost-effectiveness criterion increases as the height of check dams up to 4.5 m in the study area. After height of 4.5 m, the cost effectiveness decreases due to the change of the type of check dams from gabion to Masonry. In fact, the cost of sediment load control in check dams with a height of 4.5 meters is about nine times less than that of the check dams with a height of one meter. Accordingly, it is found that sediment load control in this case study has been done with high cost. One of the main reasons of high cost-effectiveness is the large number of check dams in the height range of 1 to 1.5 m (43%) where the cost of sediment load control with them is very high. Obtained results by considering the type of check dams also showed that Gabion check dams with 4.5 m height and cost-effectiveness equal to 134615 IRR per each ton of sediment load have the lowest cost-effectiveness and are the most economical and optimal types of check dams for sediment load control. In contrast, masonry and gabion check dams with heights of 1 and 1.5 m

ⁱ Corresponding Author: sh.abbasi@ut.ac.ir

also have highest cost-effectiveness and the cost of sediment load control in this type of dams is very high.

4- Discussion & Conclusions

This result indicates that the choice of right type of check dams in the management plans will have a significant impact on the efficiency of cost of sediment load control. Also these results show that watershed management approach in Iran needs to change its attitude. In fact, if it is necessary to control the sediment load on the stream, the choice of a less number of check dams with optimal height and type, will load better results than choosing a large number of small check dams.

Key Words: Assessment, Optimal Selection, Sediment Load, Check dam, Cost-Effectiveness.