استفاده از یک مدل تجربی ویژه در برآورد تولید رسوب حوزه‌ی آبخیز سد کوه‌برد در شهرستان کهگیلویه

محسن آرمین*: *استادیار گروه مهندسی منابع طبیعی، پژوهشکده‌ی منابع طبیعی و زیست محیطی، دانشگاه یاسوج*
معصومه بازگیر: *دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یاسوج*
سید علی‌صالح ولایتی‌نژاد: *دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد آبخیزداری، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری*

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۱/۱۹)

چکیده

بررسی دستورالعمل‌های طراحی سدهای کوتاه نشان می‌دهد که معمولاً موضوع تولید رسوب و اثر رسوب‌گذاری آینده بر عمر سد و ذخیره‌ی آب در آن قابل توجه نیست و اغلب بر طراحی مهندسی عمران و جنبه‌های سازه‌ای آن توجه می‌شود. عملیات احداث سد مخزنی در خروجی حوزه‌ی آبخیز کوه‌برد با مساحت ۳۸/۲۹ کیلومتر مربع در استان کهگیلویه و بویراحمد، از سال ۱۳۹۰ شروع شده‌است. حوزه‌ی آبخیز کوه‌برد یکی از حوزه‌های آبخیز بدون آمار رسوب است که استفاده از مدل‌های تجربی برآورد رسوب در آن الزامی به نظر می‌رسد تا داده‌های حاصل شده، مبنایی برای برنامه‌ریزی‌های مدیریتی در حوضه‌ی سد باشد. هدف از تحقیق حاضر، برآورد تولید رسوب حوزه‌ی آبخیز کوه‌برد با استفاده از یک مدل تجربی ویژه، همچنین ارزیابی فنی سد در حال احداث در خروجی حوضه با استفاده از یک‌سری شاخص‌های ساده است که در مناطق مختلف دنیا توسعه یافته‌اند. در این تحقیق با استفاده از نقشه-های پایه و اطلاعات بررسی‌های صحرایی، امتیاز ۳ عامل مؤثر بر میزان تولید رسوب در مدل تجربی مذکور در قسمت‌های همگن حوضه تعیین و کل حوضه میانگین‌گیری وزنی شد. سپس با قرار دادن امتیازهای به دست آمده در رابطه‌ی مدل، میزان تولید رسوب برآورد شد. نتایج نشان داد میزان رسوب تولیدی در حوضه‌ی سد کوه‌برد ۸/۱۳ تن بر هکتار در سال است که با احتساب نسبت تحویل رسوب ۰/۱۸، میزان فرسایش خاک حوضه معادل ۴۵/۱۶ تن بر هکتار در سال است. پیش‌بینی می‌شود که بعد از ۲۰ سال (عمر مفید سد)، حدود ۲۷ درصد از ظرفیت ذخیره‌ی اولیه‌ی سد از دست برود. نتایج این تحقیق برای برنامه‌ریزی اقدامات اصلاحی در زمینه‌ی حفاظت خاک در سطح حوزه‌ی آبخیز و کاهش حجم رسوبات ورودی به مخزن سد و در نتیجه افزایش عمر آن مفید خواهد بود.

واژگان کلیدی: ظرفیت سد، فرسایش خاک، نوع و زهکشی خاک، وضعیت پوشش گیاهی.

۱- مقدمه

کشور ایران با میانگین بارش ۲۵۰ میلی‌متر در سال، جزء نقاط خشک دنیا محسوب می‌شود. همه‌ی مسئولین، متولیان و دست‌اندرکاران صنعت آب کشور، خود را به بهره‌برداری و استفاده‌ی بهینه از آب‌های موجود در این سرزمین موظف می‌دانند. در همین راستا، سازمان جهاد کشاورزی استان کهگیلویه و بویراحمد بر اساس رسالت بهره‌برداری از

* نویسنده مسئول: mohsenarmin2007@gmail.com

آب و استفاده بهینه از آن و به استناد اعتقادات علمی، مطالعات مهار بخشی در زمینه‌ی سیلاب و رواناب‌های سطحی و تنظیم، ذخیره و استفاده‌ی درست از این نعمت خدادادی را در دستور کار خود قرار داده‌است. آنها برای رسیدن به این هدف والا ــ که همان رفع محرومیت از بخشی از استان است ــ مطالعه در زمینه‌ی ساخت سدهای کوتاه چند منظوره را هدف قرار داده‌اند. پس از بررسی و بازدیدهای صحرایی و غربال ۴۷ ساختگاه، ۶ ساختگاه برای احداث سد مخزنی، ذخیره و تنظیم آب‌های موجود، مشخص و به‌گزینی شد و مطالعات تکمیلی آنها در دستور کار قرار گرفت که سد کوتاه چند منظوره کوه‌برد یکی از این سدها است. بررسی دستورالعمل‌های طراحی سدهای کوتاه نشان می‌دهد که معمولاً نسبت به برآورد تولید رسوب در حوزه‌ی آبخیز این سدها، اثر رسوب‌گذاری آینده بر عمر سد و ذخیره‌ی آب آنها توجه چندانی صورت نمی‌گیرد. بررسی فرسایش و رسوب در زنجیره‌ی مطالعات سدها به عنوان یکی از حلقه‌های مهم تصمیم‌گیری، موفقیت و کارآمدی سدها، با هدف آگاهی از وضعیت تخریبی حوضه‌ی سد و برنامه‌ریزی برای حفاظت از خاک آن اهمیت زیادی دارد. حتی اگر برای هر مخزن، برنامه‌ریزی برای ظرفیت ذخیره‌ای مشخص به ویژه برای حجم مرده (نهشته شدن رسوبات) تدارک دیده شود، بخش زیادی از رسوب در طی سال‌های عمر سد در ظرفیتی بیش از حجم مرده در مخزن سد نهشته می‌شود و این روند را نمی‌توان با هزینه‌ی کم تغییر داد. از آنجایی که سدهای کوتاه معمولاً در حوضه‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک فاقد هر گونه آمار واقعی فرسایش و رسوب احداث می‌شود، استفاده از مدل‌های تجربی در برآورد فرسایش و رسوب امری اجتناب‌ناپذیر است. متأسفانه معمولاً از مدل‌های تجربی مثل EPM و MPSIAC ــ که در مقیاس حوضه‌های رودخانه‌ای بزرگ کاربرد دارند ــ استفاده می‌شود که به دلیل برآوررد غیر واقعی بعضی از این سدها، بعد از چند سال به سرعت از رسوب پر می‌شود. در نتیجه جوامع روستایی که برای تأمین آب مورد نیاز دام و آبیاری زمین‌های کشاورزی‌شان به آنها وابسته بودند، از خدمات سد بی‌بهره می‌شوند و امرار معاش آنها به طور جدی تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد.

هاشمی و عرب خدری (۱۳۸۸)، کارایی مدل MPSIAC را با استفاده از رسوب‌سنجی ۹ سد مخزنی کوتاه در استان سمنان ارزیابی کردند. آنها گزارش دادند مدل MPSIAC، در منطقه‌ی مورد بررسی کارایی لازم ندارد. Alemaw و همکاران (۲۰۱۳)، اثرات رسوب‌گذاری بر سدهای کوتاه را در ۲۲ مخزن از سدهای کوتاه در حوزه‌ی آبخیز Lotsane در بوتسوانا ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که میزان تولید رسوب و نسبت تحویل آن، به ترتیب ۱/۷۴ تن بر هکتار در سال و ۸۱ درصد است. آنها بیان کردند این پارامترها، برای برآورد طول عمر مفید سد و برنامه‌ریزی اقدامات اصلاحی مرتبط با مشکلات رسوب‌گذاری مفید است. Khanchoul و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای با عنوان روابط رگرسیونی بین دبی ماهانه جریان و دبی رسوب برای پیش‌بینی جریان رسوب ورودی به مخزن سد Algeria، به این نتیجه رسیدند که مقدار رسوب معلق ورودی به سد بین سال‌های ۱۹۷۵ تا ۱۹۸۸، حدود $۳/۹ \times ۱۰^{۶}$ تن و میانگین تولید سالانه ۲۷۱ (تن بر کیلو گرم در سال) است. همچنین نتایج نشان داد در طی ۱۹ سال از عمر سد، حدود $۶/۲۹ \times ۱۰^{۶}$ متر مکعب رسوب در مخزن آن تجمع می‌یابد که این مسئله به کاهش ۱۷ درصدی حجم مخزن سد در هر سال منجر می‌شود. Ijam و Tarawneh (۲۰۱۲)، تولید رسوب حوزه‌ی آبخیز سد Wala در اردن را با استفاده از مدل SWAT[1] و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی [2] (GIS) ارزیابی کردند. نتایج پیش‌بینی میانگین تولید رسوب برای دوره‌ی نوامبر ۲۰۰۲ تا دسامبر

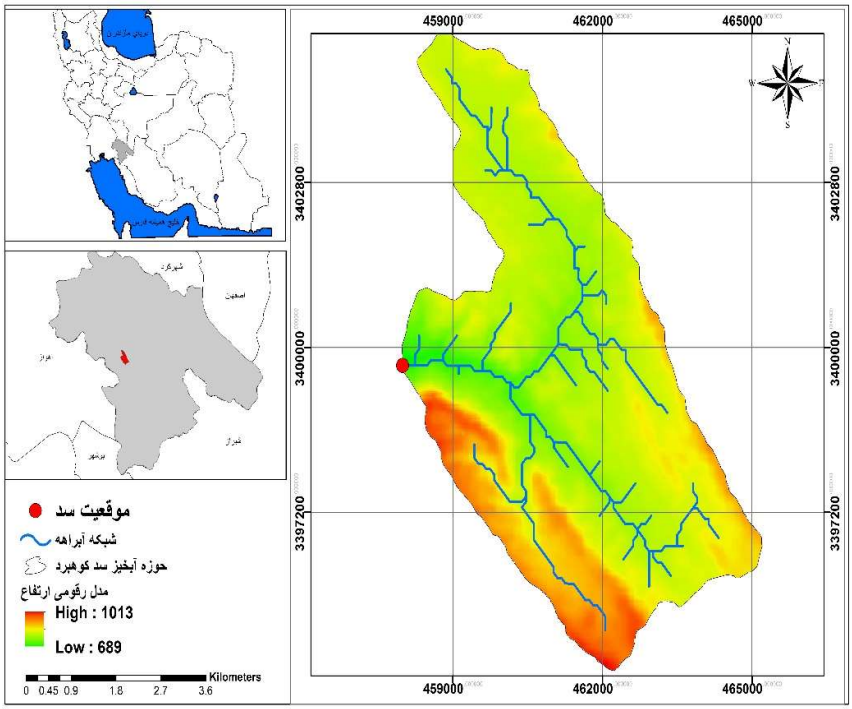
[1] Soil and Water Assessment Tool
[2] Geographical Information System

۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۰، به ترتیب ۱۴۳۷۸۰ و ۱۲۳۱۰۰ تن در سال گزارش شده‌است. آنها بیان کردند نتایج این مطالعه می‌تواند در زمینه‌های مختلف مفید باشد؛ از جمله کمی کردن میزان تولید رسوب در بلند مدت، شناسایی حساس‌ترین مناطق به فرسایش در درون حوزه‌ی آبخیز و کمک به سیاست‌گذاران در اتخاذ تصمیم‌های اثربخش و کارا.

مسئله‌ی تولید رسوب در حوضه‌ی سدها، موضوع بسیار مهمی است که در عملکرد و استفاده از آن نقش به سزایی دارد. در نتیجه نیاز است با استفاده از روش‌های مختلف به برآورد آن پرداخت، اما متأسفانه این مسئله در حوضه‌ی سدهای کوتاه چندان بررسی نمی‌شود. دستورالعمل تعیین تولید رسوب مورد استفاده در این تحقیق، با استفاده از داده‌های رسوب‌گذاری در حوزه‌ی آبخیز سدهای کوتاه توسعه داده شد (Wallingford, 2003) که نخستین بار است در ایران از آن استفاده می‌شود. لذا این مطالعه با هدف معرفی این مدل و برآورد تولید رسوب در حوضه‌ی سد کوه‌برد در شهرستان کهگیلویه با استفاده از آن، همچنین ارزیابی فنی این سد با یکسری از شاخص‌های ساده ــ که در مناطق مختلف دنیا ارائه شده‌اند ــ انجام شده‌است.

۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

حوزه‌ی آبخیز کوه‌برد با مساحت ۳۸/۲۹ کیلومتر مربع در جنوب شرقی شهرستان کهگیلویه در استان کهگیلویه و بویراحمد واقع است و در مختصات تقریبی ۴۵۸۰۰۰ تا ۴۶۵۰۰۰ متر طول جغرافیایی شرقی و ۳۳۹۴۴۰۰ تا ۳۴۰۵۶۰۰ متر عرض جغرافیایی شمالی، در مسیر رودخانه‌ی کوه‌برد بین دو روستای پوزه کوه‌برد و گدارخونی قرار دارد (شکل ۱). بلندترین نقطه‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه، ۱۰۱۳ متر و پست‌ترین نقطه‌ی آن، در محل احداث سد ۶۸۹ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. حدود ۹۰ درصد از مساحت حوزه‌ی آبخیز کوه‌برد، در محدوده‌ی سازندهای گچساران (Mgs) و میشان (Mmn) با واحدهای سنگی رس و مارن آهکی و املاح‌دار مربوط به دوره‌ی میوسن قرار دارد که نسبت به فرسایش آبی بسیار حساس است. بر اساس وضعیت پوشش گیاهی، بیش از ۹۰ درصد از مساحت حوزه‌ی آبخیز کوه‌برد تحت پوشش مراتع بسیار فقیر با پوشش گیاهی بسیار تنک و عمدتاً خاک لخت واقع است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

۳- مواد و روش

تهیه‌ی اطلاعات پایه و محاسبه‌ی خصوصیات فیزیوگرافی

اطلاعات پایه‌ی این تحقیق شامل اطلاعات بارندگی مرکز تحقیقات هواشناسی یاسوج، نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور، نقشه‌ی کاربری اراضی و پوشش زمین (سازمان مدیریت منابع آب) و اطلاعات دفترچه طراحی سد (سازمان جهاد کشاورزی استان کهگیلویه و بویراحمد) است. برای به دست آوردن پارامترهای فیزیوگرافی و دیگر اطلاعات مربوط به منطقه‌ی مورد مطالعه، از نقشه‌ی مدل رقومی ارتفاع (DEM) استفاده شد؛ به این صورت که محل سد بر روی نقشه‌ی مدل رقومی ارتفاع مشخص شد، سپس با استفاده از نرم‌افزار Google Earth و نقشه‌ی توپوگرافی، مرز حوضه‌ی سد ترسیم و نقشه‌های پایه‌ی سد از نقشه‌های کلی‌تر استخراج شد. برای ترسیم شبکه آبراهه، از الحاقیه Arc Hydro در نرم‌افزار Arc Map استفاده شد. پس از این مراحل، خصوصیات فیزیوگرافی از قبیل مساحت حوضه، شیب حوضه، طول آبراهه‌ی اصلی، متوسط شیب آبراهه‌ی اصلی و حداکثر و حداقل ارتفاع حوضه استخراج شد (جدول ۱).

جدول ۱: ویژگی‌های منطقه‌ی مورد مطالعه

مساحت (km^2)	محیط (m)	ارتفاع متوسط (m)	اختلاف ارتفاع (m)	میانگین بارندگی سالانه (mm)	طول آبراهه اصلی (m)	اختلاف ارتفاع آبراهه اصلی (m)	شیب آبراهه اصلی (درصد)
۳۸/۲۹	۳۱۳۵۱	۸۲۴	۳۲۴	۵۰۲/۷	۱۰۲۰۹	۱۳۵	۱/۲۴

مدل تجربی مورد استفاده برای برآورد تولید رسوب

با استفاده از اطلاعات مربوط به نوع و زهکشی خاک، وضعیت فرسایش و پوشش گیاهی، همراه با داده‌های توصیف شیب رودخانه‌ی اصلی، مساحت حوزه‌ی آبخیز و بارندگی سالانه (Wallingford, 2003)، تولید رسوب در حوضه‌ی سد کوه‌برد برآورد شد (رابطه‌ی ۱).

$$S_y = 0.0194 * Area^{-0.2} * MAP^{0.7} * Slope^{0.3} * SASE^{1.2} * STD^{0.7} * VC^{0.5} \quad (۱)$$

Sy: تولید رسوب (تن بر کیلومتر مربع در سال)، Area: مساحت حوزه‌ی آبخیز (کیلومتر مربع)، MAP: متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر)، Slope: شیب رودخانه از مرز حوضه به طرف محل سد، SASE: علائم فرسایش خاک فعال (امتیاز فرم تعیین ویژگی‌های حوزه‌ی آبخیز)، STD: نوع و زهکشی خاک (امتیاز فرم تعیین ویژگی‌های حوزه‌ی آبخیز) و VC: وضعیت پوشش گیاهی (امتیاز فرم تعیین ویژگی‌های حوزه‌ی آبخیز) است. امتیازهای نوع و زهکشی خاک، وضعیت فرسایش خاک و پوشش گیاهی با استفاده از بازدیدهای صحرایی و فرم ارائه شده در جدول ۲ ثبت می‌شود که انتخاب مناسب‌ترین عامل، براساس تشریح موضوع و دامنه‌ی اعداد صورت می‌گیرد. امتیازدهی عوامل ذکر شده براساس اصول زیر است.

ارزیابی نوع و زهکشی خاک در خشک‌ترین زمان سال، با توجه به بافت خاک سطحی (درشت، متوسط یا ریز) همراه با اطلاعاتی از کشاورزان محلی انجام گرفت. وضعیت پوشش گیاهی در حوزه‌ی آبخیز از نظر کشت محصولات زراعی سالانه و ماهیت و کیفیت گراسلندها، بوته‌زارها یا جنگل نیز به صورت جداگانه ارزیابی شد.

علائم آشکار فرسایش فعال به ویژه وجود یا فقدان خندق‌های فرسایش‌پذیر فعال ــ که به صورت مستقیم در داخل سد یا آبراهه‌ها زهکش می‌شوند ــ و فرسایش پس‌رونده‌ی (قهقرایی) کناره‌ی رودخانه‌ها در امتداد مسیرهای اصلی آب نیز ثبت شد.

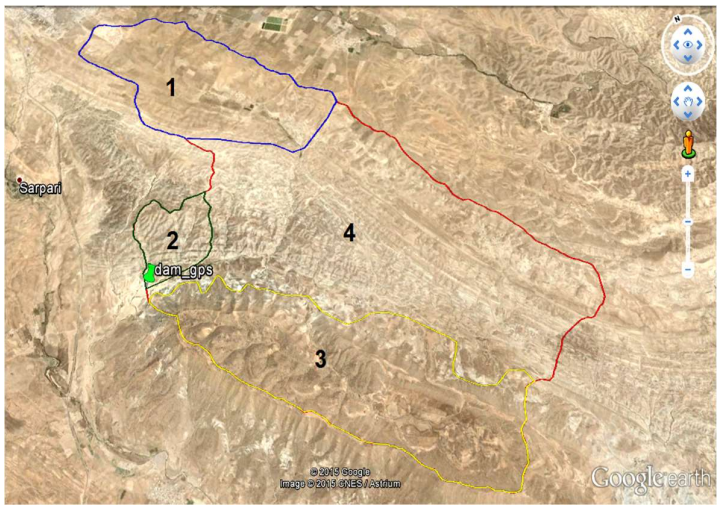
جدول ۲: فرم تعیین ویژگی‌های حوزه‌ی آبخیز (Wallingford, 2003)

عامل	بی‌نهایت	امتیاز	زیاد	امتیاز	نرمال	امتیاز	کم	امتیاز
نوع و زهکشی خاک	بدون پوشش مؤثر خاک، سنگ و خاک‌های کم عمق نازک	۴۰	خاک‌های خیلی متراکم با زهکشی ضعیف، بعد از باران-های سنگین شرایط ماندابی زیادی در سطح خاک ایجاد می‌شود.	۳۰	خاک‌های متوسط بافت با زهکشی نسبتاً خوب، بعد از باران‌های سنگین شرایط ماندابی کمی در سطح خاک شکل می‌گیرد.	۲۰	خاک‌های درشت بافت با زهکشی خوب، بعد از باران-های سنگین شرایط ماندابی کمی در سطح خاک شکل می‌گیرد.	۱۰
وضعیت پوشش گیاهی در کل حوزه‌ی آبخیز	پوشش گیاهی مؤثر کم، زمین لخت یا پوشش خیلی تنک در ۸۰ درصد حوزه‌ی آبخیز	۴۰	پوشش نسبتاً خوب، بیش از ۵۰ درصد حوزه‌ی آبخیز با محصولات سالانه کشت شده‌است.	۱۵	پوشش خوب، ۲۰ تا ۵۰ درصد حوزه با محصولات سالانه کشت شده-است.	۱۰	پوشش عالی، کمتر از ۲۰ درصد حوزه با محصولات سالانه کشت شده‌است.	۵
			کمتر از ۳۰ درصد حوزه‌ی آبخیز زیر پوشش گراس‌های خوب یا پوشش جنگلی حفاظت شده‌است.	۱۵	۳۰ تا ۶۰ درصد حوزه‌ی آبخیز زیر پوشش گراس‌های خوب یا پوشش جنگلی حفاظت شده‌است.	۱۰	بیش از ۶۰ درصد حوزه‌ی آبخیز زیر پوشش گراس‌های خوب یا پوشش جنگلی حفاظت شده‌است.	۵
علائم فرسایش خاک فعال	تعداد زیادی خندق‌های فرسایش‌پذیر فعال که مستقیماً به درون سد یا مسیرهای آب زهکش می‌شوند، فرسایش پس رونده و قهقرایی فعال کناره رودخانه‌ها	۴۰	تعداد خندق فرسایش‌پذیر فعال که مستقیماً به درون سد یا مسیرهای آب زهکش می‌شوند، فرسایش پس رونده و قهقرایی متوسط کناره رودخانه‌های در امتداد مسیرهای اصلی آب	۲۰	تعداد کمی خندق فرسایش‌پذیر فعال که مستقیماً به درون سد یا مسیرهای آب زهکش می‌شوند، فرسایش پس رونده و قهقرایی کم کناره رودخانه‌های در امتداد مسیرهای اصلی آب	۱۰	بدون خندق فرسایش‌پذیر فعال که مستقیماً به درون سد یا مسیرهای آب زهکش می‌شوند، بدون فرسایش پس رونده و قهقرایی کناره رودخانه‌های در امتداد مسیرهای اصلی آب	۵

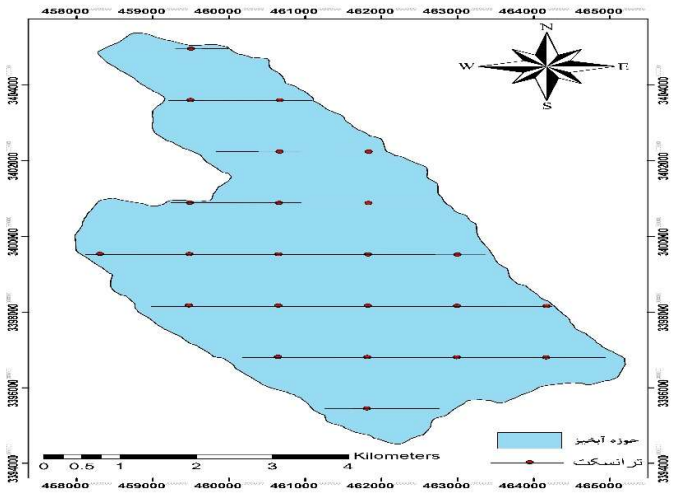
تعیین امتیاز پارامترهای نوع و زهکشی خاک، وضعیت فرسایش خاک و پوشش گیاهی از طریق بازدید میدانی منطقه‌ی مورد مطالعه

ابزارهای ضروری مورد نیاز برای تعیین ویژگی‌های حوزه‌ی آبخیز از نظر پارامترهای نوع و زهکشی خاک، وضعیت فرسایش خاک و پوشش گیاهی عبارت است از: نقشه‌ی توپوگرافی مربوط به حوزه‌ی آبخیز، قطب‌نما، دستگاه

موقعیت‌یاب جهانی (GPS) و عکس‌های هوایی ترجیحاً در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰. قبل از رفتن به صحرا، باید مکان پیشنهادی یا واقعی احداث سد و مرز فیزیکی حوزه‌ی آبخیز به دقت روی نقشه‌ی توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ مشخص شود. در جایی که توپوگرافی خیلی مسطح است، گاهی اوقات تعیین مرز حوزه‌ی آبخیز روی نقشه مشکل است؛ در این حالت نیاز است که مرز حوزه‌ی آبخیز در طی بازدیدهای صحرایی تأیید شود. در جایی که تنوع پستی بلندی، نوع خاک یا کاربری اراضی وجود دارد، تقسیم حوزه‌ی آبخیز به زیر حوضه‌های کوچک‌تر نیز مفید است. تعیین ویژگی‌های حوزه‌ی آبخیز بر اساس اطلاعاتی حاصل می‌شود که بخشی از آن از طریق مصاحبه با افراد مقیم محلی ــ که با حوزه‌ی آبخیز آشنایی دارند ــ و بخشی دیگر، بر اساس مشاهداتی است که از پیمایش و پیاده‌روی در امتداد تعدادی ترانسکت انتخابی تصادفی در عرض حوزه به دست آمده‌است. جهت و موقعیت ترانسکت‌ها را می‌توان با مطالعه‌ی دقیق نقشه‌ی توپوگرافی انتخاب کرد. با توجه به توضیحات بالا، برای تعیین مقدار عامل‌های نوع و زهکشی خاک، وضعیت فرسایش خاک و پوشش گیاهی، ابتدا با استفاده از شناختی که از حوزه‌ی آبخیز سد براساس نقشه‌ی زمین‌شناسی، شیب، جهت جغرافیایی، خطوط تراز ارتفاعی و مطالعات بصری نرم‌افزار Google Earth حاصل شده‌است، منطقه به چند زون نسبتاً همگن تقسیم شد (شکل ۲). سپس بر اساس این زون‌ها، ترانسکت‌هایی برای بازدیدهای صحرایی در سطح حوضه تعیین شد (شکل ۳). ذکر این امر لازم است این ترانسکت‌ها به گونه‌ای تعیین شد که بتوان انواع جنس سنگ‌های مختلف، انواع شیب و جهت‌های جغرافیایی مختلف را از نظر مقدار پارامترهای نوع و زهکشی خاک، وضعیت فرسایش خاک و پوشش گیاهی در صحرا بازدید و بررسی کرد. پس از حضور در منطقه، در امتداد ترانسکت‌ها پیمایش صورت گرفت و امتیاز هر یک از پارامترها در هر زیر حوضه بر اساس اطلاعات جدول (۱) مشخص شد. بعد از امتیاز دهی به هر عامل در هر زیر حوضه، امتیاز نهایی حوزه‌ی آبخیز بر اساس میانگین وزنی تعیین شد.



شکل ۲: مناطق همگن برای تعیین ویژگی‌های حوضه‌ی سد



شکل۳: نقشه‌ی ترانسکت‌های انتخابی

شکل (۴) فرسایش خندقی را در حوضه‌ی سد نشان می‌دهد.

شکل ۴: فرسایش خندقی در منطقه‌ی مورد مطالعه

برآورد کاهش ظرفیت سد ناشی از رسوب‌گذاری

با استفاده از امتیاز عوامل نوع و زهکشی خاک، وضعیت پوشش گیاهی و علائم فرسایش خاک، همچنین اطلاعات بارندگی و فیزیوگرافی حوزه‌ی آبخیز، رسوب تولیدی در بالادست سد کوه‌برد از طریق رابطه‌ی (۱) برآورد شد. مرحله‌ی بعدی، برآورد کاهش ظرفیت سد ناشی از این میزان رسوب تولیدی در حوضه و در نهایت رسوب‌گذاری آنها در مخزن سد است. ته‌نشست مقدار بار رسوبی ورودی به سد (درصد تله‌اندازی رسوب) متناسب با مقدار رسوبات منتقل شده به سد، سرعت آب یا زمان ماندگاری در سد و مقدار جریان ورودی عبوری از سرریز متغیر است. بررسی روابط درونی این پارامترها در طرح سدهای کوتاه خیلی پیچیده است، لذا در این تحقیق درصد تله‌اندازی رسوب با استفاده از یک رابطه‌ی تجربی مناسب ــ که در دهه‌ی ۱۹۵۰ در آمریکا توسعه یافته ــ برآورد شده‌است (Brune, 1953). این معادله درصد تله‌اندازی سالانه‌ی رسوب یک سد را با توجه به نسبت ظرفیت سد به جریان ورودی سالانه پیش‌بینی می‌کند. مقدار تله‌اندازی رسوب برای دامنه‌ای از نسبت‌های ظرفیت سد به جریان ورودی، در جدول ۳ نشان داده شده‌است.

هنگامی که سدهای کم عمق از رسوب پر می‌شوند، تولید آب به واسطه تلفات بیشتری در ظرفیت ذخیره کاهش می‌یابد. این موضوع حاصل از این است که وقتی سدها کم عمق‌تر باشند، مقدار نسبتاً بیشتری از آب ذخیره شده در اثر تبخیر از دست می‌رود.

جدول ۳: درصد تله‌اندازی رسوب

نسبت ظرفیت سد به جریان ورودی	مقدار تله‌اندازی رسوب
۱	۱
۰/۵	۰/۹۹
۰/۴	۰/۹۸
۰/۳	۰/۹۷
۰/۲	۰/۹۵
۰/۱	۰/۸۸
۰/۰۸	۰/۸۶
۰/۰۶	۰/۸۲
۰/۰۴	۰/۷۵
۰/۰۲	۰/۶۳
۰/۰۱	۰/۴۸

کاهش ظرفیت ذخیره‌ی سد در طی یک دوره‌ی زمانی مشخص، با استفاده از رابطه‌ی ۲ برآورد می‌شود:

$$C_n = 1 - \left[n * S_y * CA * TE / (C * Den) \right] \quad (۲)$$

Cn: مقدار ظرفیت ذخیره‌ی اولیه باقی‌مانده بعد از n سال رسوب‌گذاری، n: تعداد سال‌ها، Sy: تولید رسوب حوزه‌ی آبخیز (تن بر کیلومتر مربع در سال)، CA: مساحت حوزه‌ی آبخیز (کیلومتر مربع)، TE: درصد تله‌اندازی رسوب، C: ظرفیت ذخیره‌ی اولیه‌ی سد در تراز ذخیره‌ی کامل (متر مکعب) و Den: چگالی نهشته‌های رسوب ته‌نشین شده در سد است. چنان که در رابطه‌ی (۲) مشخص است، برآورد کاهش ظرفیت سد نیازمند تعیین پارامترهایی است؛ از جمله تعداد سال‌های عمر مفید سد، تولید رسوب حوزه‌ی آبخیز، مساحت حوزه‌ی آبخیز، چگالی نهشته‌های رسوب ته‌نشین شده در سد، ظرفیت ذخیره‌ی اولیه سد در تراز ذخیره‌ی کامل و درصد تله‌اندازی رسوب در مخزن سد. تعداد سال‌های عمر مفید سد نیز بر اساس عمر مفید معمول سدهای کوتاه، مساحت حوزه‌ی آبخیز با استفاده از مطالعه‌ی فیزیوگرافی حوضه، تولید رسوب حوزه بر اساس رابطه‌ی (۱)، چگالی نهشته‌های رسوب براساس جنس سنگ‌های موجود در منطقه، ظرفیت سد و درصد تله‌اندازی رسوب هم براساس مطالبی که در ادامه می‌آید، تعیین شد.

ظرفیت سد

برآوردهای ظرفیت سد را می‌توان با استفاده از عمق و عرض پیشنهاد شده و طول دریاچه‌ی سد (میزان برگشت آب) در تراز ذخیره‌ی کامل انجام داد. میزان برگشت آب، فاصله‌ی افقی بین محور سد و حد بالایی استخر مخزن در ارتفاع تاج سرریز است.

معادله‌ی Nelson (۱۹۹۱) برای برآورد ظرفیت سد به صورت زیر است:

$$Capacity(C) = 0.264 * D * W * TB \quad (۳)$$

C: ظرفیت سد به متر مکعب، D: حداکثر عمق آب سد؛ به عبارت دیگر اختلاف ارتفاع بین پایین‌ترین نقطه در کف بستر مخزن سد و تراز تاج سرریز به متر، W: عرض سطح آب در سد در تراز تاج سرریز به متر و TB: میزان برگشت آب در تراز تاج سرریز به متر است. حداکثر عمق و عرض سطح آب، از دفترچه راهنمای طراحی سد به دست آمده‌است. میزان برگشت آب نیز با توجه به شیب رودخانه و ارتفاع سد، در محل تاج سرریز محاسبه شد. درصد تله-اندازی رسوب، معادل نسبت پارامترهای ظرفیت سد به جریان ورودی آن است (Brune, 1953).

میزان رسوب خروجی از حوزه‌ی آبخیز با استفاده از رابطه‌ی (۴)، به فرسایش خاک در سطح حوضه تبدیل می‌شود (Rohel, 1962).

$$SDR=0.343*A^{-0.175}$$ رابطه‌ی (۴)

SDR: نسبت تحویل رسوب و A: مساحت حوزه‌ی آبخیز (کیلومتر مربع) است.

متوسط رواناب سالانه

برآوردهای انجام گرفته با استفاده از داده‌های طولانی مدت جریان رودخانه، دقیق‌ترین ابزار برآورد رواناب متوسط سالانه در حوزه‌ی آبخیز است. اما این داده‌ها در محل احداث اغلب سدهای کوتاه وجود ندارد. استفاده از جداول و نقشه‌های رواناب واحد ــ که در اغلب کشورها وجود دارد ــ چنانچه براساس داده‌های اندازه‌گیری شده‌ی رواناب باشد، ممکن است ابزار دقیق‌تر بعدی برآورد رواناب باشد. هنگامی که هیچ کدام از روش‌های بالا را نتوان به کار برد، برآورد رواناب را می‌توان با استفاده از روابط تجربی منطقه‌ای انجام داد که در این روابط، رواناب با استفاده از بارندگی متوسط سالانه پیش‌بینی می‌شود. رابطه‌ی تجربی زیر، به وسیله‌ی Bullock و همکاران (۱۹۹۰) با استفاده از مجموعه داده‌های بیش از ۱۰۲ حوزه‌ی آبخیز در مالاوی، تانزانیا و زیمبابوه توسعه‌یافته‌است.

$$MAR = 0.0000467 * MAP^{2.204} \quad (۵)$$

MAR: متوسط رواناب سالانه (میلی‌متر) و MAP: متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر) است.

حجم رواناب سالانه‌ی (AVR) یک حوزه‌ی آبخیز، از حاصلضرب MAR و مساحت حوزه‌ی آبخیز محاسبه می‌شود.

$$AVR = MAR * CA * 1000 \quad (۶)$$

AVR: حجم رواناب سالانه (متر مکعب)، MAR: متوسط رواناب سالانه (میلی‌متر) و CA: مساحت حوزه‌ی آبخیز (کیلومتر مربع) است.

احتمال پر شدن سد

می‌توان احتمال پر شدن سد را با استفاده از ضریب تغییرات رواناب سالانه و نسبت ظرفیت سد به جریان ورودی سالانه برآورد کرد که این دستورالعمل در مطالعه‌ی Mitchell (۱۹۸۷) تشریح شده‌است. Mitchell استدلال کرد که به دلیل ثبت دوره‌های آماری نسبتاً کوتاه و نقص‌های دیگر در داده‌های موجود، کاربرد توابع آماری پیچیده توجیهی ندارد. ایشان همچنین استدلال کرد برای بیان توزیع جریان ورودی سالانه به یک سد می‌توان از توزیع ویبول استفاده کرد:

$$P = e^{-km} \quad (۷)$$

P: احتمال پر شدن سد در مقایسه با خالی بودن آن است.

$$Km=(c*V/I)\ n$$

V: حجم ذخیره‌ی سد (متر مکعب)، I: جریان ورودی سالانه (یا AVR به متر مکعب)، c و n: ضرایب ثابت مرتبط با Cv (جدول ۴) است.

جدول ۴: رابطه‌ی c و n با ضریب تغییرات رواناب سالانه

ضریب تغییرات (درصد)	c	n
۶۰	۰/۹	۱/۷۲
۷۰	۰/۹۱	۱/۴۵
۸۰	۰/۹۴	۱/۲۶
۹۰	۰/۹۷	۱/۱۱
۱۰۰	۱	۱
۱۱۰	۱/۰۵	۰/۹۱
۱۲۰	۱/۱۱	۰/۸۴
۱۳۰	۱/۱۷	۰/۷۸
۱۴۰	۱/۲۴	۰/۷۳

ضریب تغییرات رواناب سالانه

اطلاعات راجع به این پارامتر برای تعیین احتمال پر شدن سد مورد نیاز است. در بعضی از کشورها جداول و نقشه-هایی وجود دارد که راجع به ضریب تغییرات رواناب (Cv) است. در جایی‌که این داده وجود نداشته باشد، باید مقدار Cv را برآورد کرد. در جایی که این داده وجود نداشته باشد، برآورد ضریب تغییرات رواناب سالانه با استفاده از رابطه‌ی تعدیل شده‌ی زیر صورت می‌گیرد (وزارت آب و اراضی زیمبابوه، ۱۹۸۴).

$$Cv = 0.00139 * MAR^2 - 0.7538 * MAR + 154.5 \quad (۸)$$

CV: ضریب تغییرات رواناب سالانه (درصد) و MAR: متوسط رواناب سالانه (میلی‌متر) است.

حجم مصالح

برای برآورد حجم مصالح در مرحله‌ی امکان‌سنجی یا مرحله‌ی انتخاب مکان برای احداث سد در پروژه‌های سدهای کوتاه، می‌توان از معادله‌ی ارائه شده توسط وزارت کشاورزی زیمبابوه استفاده کرد. دقت قابل قبول این معادله، در سال ۱۹۹۱ به وسیله‌ی Stephens گزارش شده‌است. این معادله به صورت زیر است:

$$V = 0.216 * H * L * (2 * Cw + H * S) \quad (۹)$$

V: حجم مصالح به متر مکعب، H: ارتفاع تاج سد؛ به عبارت دیگر مجموع ارتفاع ذخیره کامل و ارتفاع آزاد به متر، L: طول سد در محل تاج به متر که شامل طول سرریز نیز می‌باشد، Cw: عرض تاج به متر و S: شیب ترکیبی سراب و پایاب خاکریز است؛ به عنوان مثال اگر شیب‌های خاکریز دو به یک و ۱/۷۵ به یک باشد، S برابر با ۳/۷۵ است. همه‌ی این عوامل از کتابچه‌ی راهنمای طراحی سد استخراج شده‌اند.

ذخیره‌ی آب مفید فصل خشک

تولید آب مفید فصل خشک با استفاده از معادله‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$Y_0 = C * (1 - P_{e0}) \quad (۱۰)$$

Y_0: تولید آب فصل خشک در سال (متر مکعب)، C: ظرفیت اولیه سد در تراز ذخیره کامل (متر مکعب) و Pe_0: بخشی از ظرفیت سد است که در اثر تبخیر از دست می‌رود.

۴- یافته‌ها (نتایج)

برآورد میزان تولید رسوب حوضه‌ی سد

با بررسی‌ها و مشاهدات صحرایی در حوضه‌ی سد کوه‌برد، عوامل سه‌گانه‌ی نوع و زهکشی خاک، وضعیت پوشش گیاهی و علائم فرسایش خاک فعال، بر اساس جدول مربوطه در زیرحوضه‌های همگن در امتداد ترانسکت‌های صحرایی امتیازدهی شد که نتیجه‌ی آن در جدول (۵) ارائه شده‌است.

جدول ۵: امتیاز عوامل نوع و زهکشی خاک، وضعیت پوشش گیاهی و علایم فرسایش خاک فعال در کل حوضه

عوامل	زیرحوضه	امتیاز	مساحت (هکتار)	امتیاز برحسب میانگین وزنی
نوع و زهکشی خاک	۱	۳۵	۸۶۷	۳۲/۳
	۲	۳۰	۱۵۴	
	۳	۱۵	۹۳۳	
	۴	۴۰	۱۸۷۵	
علایم فرسایش خاک فعال	۱	۳۵	۸۶۷	۳۱/۹
	۲	۲۰	۱۵۴	
	۳	۱۰	۹۳۳	
	۴	۴۰	۱۸۷۵	
وضعیت پوشش گیاهی	۱	۳۰	۸۶۷	۳۲/۹
	۲	۱۵	۱۵۴	
	۳	۲۵	۹۳۳	
	۴	۴۰	۱۸۷۵	

میانگین وزنی امتیاز سه عامل مطرح شده در جدول (۵)، همراه با سایر اطلاعات مورد نیاز در مدل برآورد تولید رسوب شامل شیب رودخانه‌ی اصلی، مساحت حوزه‌ی آبخیز و متوسط بارندگی سالانه در جدول (۶) ارائه شده‌است.

جدول ۶: عوامل مورد استفاده در مدل برآورد تولید رسوب

پارامتر	مقدار	روش تعیین و اندازه‌گیری
مساحت حوزه‌ی آبخیز (کیلومتر مربع)	۳۸/۲۹	از نقشه مدل رقومی ارتفاع
متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر)	۵۰۲/۷	از داده‌های هواشناسی
متوسط رواناب سالانه (میلی‌متر)	۴۲	از معادلات مربوطه
شیب رودخانه (درصد)	۰/۰۱۲۴	از نقشه مدل رقومی ارتفاع
علائم فرسایش خاک فعال (امتیاز)	۳۱/۹	بازدید صحرایی
نوع و زهکشی خاک (امتیاز)	۳۲/۳	بازدید صحرایی
وضعیت پوشش گیاهی (امتیاز)	۳۲/۹	بازدید صحرایی

با توجه به رابطه‌ی (۱)، میزان تولید رسوب در منطقه‌ی مورد مطالعه برابر با ۸۱۳ تن بر کیلومتر مربع در سال (۸/۱۳ تن بر هکتار در سال) برآورد شد. با توجه به رابطه‌ی (۴)، نسبت تحویل رسوب حوزه‌ی آبخیز کوه‌برد ۱۸ درصد می‌باشد؛ بنابراین رسوب تولیدی در حوضه، معادل ۴۵/۱۶ تن در هکتار در سال فرسایش خاک است.

برآورد کاهش ظرفیت سد ناشی از رسوب‌گذاری در مخزن آن

عمر مفید سد بر اساس عمر مفید معمول سدهای کوتاه، ۲۰ سال در نظر گرفته شد. چگالی نهشته‌های رسوب بر اساس جنس سنگ غالب منطقه ۱/۲ تن بر متر مکعب، مساحت و تولید رسوب حوزه‌ی آبخیز نیز قبلاً تعیین شده‌اند. ظرفیت سد و ضریب تله‌اندازی رسوب هم بر اساس توضیحات زیر، تعیین شده‌اند.

ظرفیت سد

ظرفیت سد، با استفاده از عمق و عرض پیشنهاد شده‌ی آن و میزان برگشت آب در تراز ذخیره‌ی کامل محاسبه شد؛ بدین منظور حداکثر عمق آب سد با استفاده از تراز تاج سرریز و تراز کف بستر، ۱۸ متر برآورد شد. میزان برگشت آب نیز با توجه به شیب رودخانه (۰/۰۱۲۴ درصد) و ارتفاع سد (۱۸ متر) محاسبه شد که این میزان حدود ۱۴۵۲ متر بود.

با توجه به اینکه طول سد ۳۱۳ متر بود و با توجه به شیب کناره‌های سد یعنی ۱۸ و ۲۹ درصد، عرض سطح آب در تراز تاج سرریز ۲۸۲ متر برآورد شد. با جای‌گذاری پارامترهای بالا در رابطه‌ی (۳)، میزان ظرفیت سد ۱۹۴۵۷۷۳ متر مکعب به دست آمد.

ضریب تله‌اندازی رسوب

درصد تله‌اندازی رسوب، مرتبط با نسبت پارامترهای ظرفیت سد به جریان ورودی به سد است (جدول ۲) که جریان ورودی در واقع همان متوسط رواناب سالانه‌ی تولیدی و به تبع آن، حجم رواناب تولیدی در حوضه‌ی سد است. متوسط رواناب سالانه (میلی‌متر) و به تبع آن حجم رواناب تولیدی در حوزه‌ی آبخیز یا همان جریان ورودی سالانه به سد، بر اساس رابطه‌ی (۴) و (۵) به ترتیب به میزان ۴۲ میلی‌متر و ۱۶۰۸۱۸۰ مترمکعب برآورد شد.

بر اساس نسبت ظرفیت سد به جریان ورودی سالانه و داده‌های جدول (۳)، می‌توان گفت که ضریب تله‌اندازی رسوب یک و به عبارت دیگر، کل رسوبات ورودی در سد ته‌نشست می‌کنند.

با توجه به توضیحات بالا و رابطه‌ی (۲)، مقدار ظرفیت ذخیره‌ی باقی‌مانده بعد از ۲۰ سال رسوب‌گذاری برابر با ۰/۷۳ برآورد شد؛ بنابراین پیش‌بینی می‌شود که سد بعد از ۲۰ سال حدود ۲۷ درصد (۵۲۵۳۵۸ متر مکعب) از ظرفیت ذخیره‌ی اولیه‌اش را از دست بدهد. در طی همین دوره انتظار می‌رود کاهش ذخیره‌ی آب به بیش از ۲۷ درصد برسد؛ این امر به علت کاهش عمق آب و تبخیر مقدار بیشتری از آب ذخیره شده‌است.

حجم مصالح

حجم مصالح مورد استفاده برای ساخت سد، از رابطه‌ی (۹) محاسبه می‌شود. هدف از محاسبه‌ی حجم سد در این تحقیق، دست‌یابی به نسبت ظرفیت سد به حجم مصالح است که شاخصی از اقتصادی بودن ساخت سد به شمار می‌رود.

داده‌های مورد استفاده در رابطه‌ی (۹)، برای محاسبه‌ی حجم مصالح در جدول (۷) ارائه شده‌است.

جدول ۷: داده‌های مورد استفاده برای محاسبه‌ی حجم مصالح (برگرفته از دفترچه‌ی طراحی سد)

پارامتر	مقدار
ارتفاع تاج سد (متر)	۲۱/۵
طول سد در محل تاج (متر)	۳۱۳
عرض تاج (متر)	۸
شیب سراب	دو و نیم به یک
شیب پایاب	دو به یک

بر این اساس حجم مصالح مورد استفاده در ساخت سد با توجه به ابعاد پیشنهادی، ۱۶۳۸۹۰ متر مکعب برآورد شد. نسبت ظرفیت سد به حجم مصالح نیز برابر با ۱۱/۹ خواهد شد.

احتمال پر شدن سد

بر اساس رابطه‌ی مربوطه (معادله‌ی ۷) و با توجه به عوامل مورد استفاده شامل حجم ذخیره‌ی سد و رواناب سالانه و ضرایب مرتبط با ضریب تغییرات رواناب سالانه (ضرایب c و n)، احتمال پر شدن سد ۰/۲۷ برآورد شد.

براساس ضریب تغییرات رواناب و داده‌های جدول (۴) و میان‌یابی داده‌ها، مقدار c و n به ترتیب ۱/۱۴ و ۰/۸۷ است.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

بررسی‌ها نشان می‌دهد که در طراحی سدهای کوتاه غالباً بر طراحی مهندسی عمران و جنبه‌های سازه‌ای آنها توجه شده‌است و به موضوع تولید رسوب در حوضه‌ی این گونه سدها توجه خاصی نمی‌شود. همین موضوع نیز سبب می‌شود که بسیاری از این سدها پس از چند سال به سرعت از رسوب پر شود. هنگامی که سدها با رسوب پر می‌شود، جوامع روستایی که برای تأمین آب مورد نیاز دام‌ها و آبیاری زمین‌های کشاورزی‌شان به آنها وابسته هستند از خدمات سد بی‌بهره می‌شوند و امرار معاش آنها به طور جدی تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد. روش‌های مختلفی برای برآورد تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز فاقد آمار وجود دارد که استفاده از هر یک از این روش‌ها، به دقت روش، میزان اهمیت و مدت زمان اجرای طرح بستگی دارد. مدل تجربی مورد استفاده در این تحقیق خاص، برآورد فرسایش و رسوب در حوزه‌های آبخیز سدهای کوتاه است که برای اولین بار در ایران استفاده شده‌است. طبیعی است که نتایج آن باید با داده‌های حاصل از روش‌های واقعی‌تر مثل پلات‌های فرسایش و رسوب، مقایسه و کارایی آن سنجیده شود و در صورت قابل قبول بودن به عنوان روشی جدید که به پارمترها و زمان کمتری نیاز دارد، برای برآورد تولید رسوب در سایر مناطق کشور توصیه شود، ولی می‌توان بیان کرد که در شرایط فعلی حوضه از نظر نبود آمار، بهترین مدل برای برآورد تولید رسوب با هدف معرفی اقدامات حفاظت خاک در سطح حوضه است. روش ارائه شده و نتایج این تحقیق می‌تواند به عنوان یک سیستم برنامه‌ریزی نگهداری سد استفاده شود. بازدیدهای صحرایی و بررسی عوامل مؤثر بر فرسایش در منطقه‌ی مورد مطالعه نشان داد که حوضه‌ی سد کوه‌برد از نظر فرسایش و تولید رسوب شرایط بحرانی دارد و با میزان تولید رسوب ۸/۱۳ تن در هکتار در سال ــ که معادل ۴۵/۱۶ تن در هکتار در سال فرسایش است ــ مطابقت دارد. البته احتیاط بیشتر آن است که نتایج این مدل با داده‌های واقعی مقایسه و کارایی آن سنجیده شود، اما متأسفانه هیچ نوع

داده‌ی واقعی از فرسایش و تولید رسوب در منطقه‌ی مورد مطالعه وجود ندارد. برای اطمینان از اینکه روان‌آب سالانه تولید شده در حوضه به حدی است که مخزن سد را پر می‌کند، مساحت حوزه‌ی آبخیز باید به اندازه کافی بزرگ باشد.

وزارت توسعه‌ی آب کنیا (MOWD,1992) پیشنهاد می‌کند که حداقل مساحت حوزه‌ی آبخیز، با تقسیم ظرفیت سد به ۱۰ درصد بارندگی سالانه به دست آید که ظرفیت سد به متر مکعب، بارندگی سالانه به متر و حداقل مساحت حوزه‌ی آبخیز به متر مربع است. هر چه مساحت حوزه بزرگ‌تر از حداقل مساحت به دست آمده با استفاده از شاخص مذکور باشد، احتمال پر شدن سد در مقایسه با خالی بودن آن در سال‌های خشک‌تر نسبت به سال، میانگین افزایش می‌یابد. حداقل مساحت استخراج شده‌ی حوزه‌ی آبخیز، از شاخص مذکور ۳۸/۷ کیلومتر مربع است که تقریباً با مساحت حوزه‌ی آبخیز سد کوه‌برد (۳۸/۲۹ کیلومتر مربع) برابر است و از لحاظ فنی، از این نظر سد به درستی جانمایی شده‌است. راجع به اندازه‌ی مساحت حوزه‌ی آبخیز به ویژه در مناطق با تولید رسوب زیاد یک حد بالایی وجود دارد. سدهای احداث شده در حوزه‌های آبخیزی که روان‌آب سالانه‌ی زیادی در مقایسه با حجم ذخیره‌شان دارند، سرعت رسوب‌گذاری سریعی خواهند داشت؛ بنابراین، به سرریزهای بزرگ و پر هزینه نیاز دارند. برای سدهای کوتاه احداث شده در کشور زیمبابوه حداقل نسبت بین ظرفیت سد به جریان سالانه ۰/۱ توصیه شده‌است؛ به عبارت دیگر، جریان سالانه‌ی تولیدی حداقل ۱۰ برابر ظرفیت است (وزارت اراضی و منابع آب زیمبابوه، ۱۹۸۴). در حوزه‌های آبخیزی که تولید رسوب زیادی پیش‌بینی می‌شود، احداث سدهایی با نسبت ظرفیت سد به جریان سالانه کمتر از ۰/۳ توصیه نمی‌شود؛ به عبارت دیگر، نسبت به حوزه‌های آبخیزی که شدت تخریب کمتری دارند، باید سدی با مخزن بزرگ‌تر طراحی کرد. در حوضه‌ی سد کوه‌برد نسبت بین ظرفیت سد به جریان سالانه ۱/۲ است؛ یعنی در واقع جریان سالانه تولیدی ۰/۸ ظرفیت سد است و احتمال پر بودن سد در مقایسه با خالی بودن آن به ویژه در سال‌های خشک‌تر نسبت به میانگین (سال نرمال) بسیار کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد از این نظر سد درست جانمایی نشده‌است. به طور ایده‌آل، سد باید در مقطع تنگ دره رودخانه که بلافاصله در پایین‌دست یک سطح مقطع عریض قرار گرفته‌است و در جایی‌که شیب رودخانه خیلی زیاد نباشد، احداث شود. در چنین مکانی در مقایسه با حجم مصالح مورد نیاز برای ساخت سد، حجم آبی که ذخیره خواهد شد تا حدودی زیاد خواهد بود. نسبت حجم آب ذخیره شده به حجم مصالح مورد نیاز برای ساخت یک سد ــ که از لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر باشد ــ به حجم آب ذخیره شده در مقایسه با هزینه‌های ساخت سد بستگی دارد. وزارت توسعه‌ی آب کنیا (MOWD,1992) دستورالعملی پیشنهاد کرد که این نسبت باید بزرگ‌تر از هشت باشد و در مناطقی که این نسبت کمتر از پنج است، نباید سدی احداث شود.

در حوضه‌ی سد کوه‌برد نسبت بین حجم سد به حجم مصالح مورد نیاز برای ساخت آن حدوداً ۱۲ است که نشان می‌دهد ساخت این سد از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است. مقدار ظرفیت ذخیره‌ی باقی‌مانده بعد از ۲۰ سال رسوب‌گذاری ۰/۷۳ برآورد شده‌است؛ بنابراین، پیش‌بینی می‌شود این سد بعد از ۲۰ سال حدود ۲۷ درصد از ظرفیت ذخیره‌ی اولیه‌اش را از دست بدهد. هنگامی که سدی از رسوب پر می‌شود، عمق آن کاهش می‌یابد و مقدار نسبتاً بیشتری از آب ذخیره شده، در اثر تبخیر از دست می‌رود. بنابراین، در طی همین دوره انتظار می‌رود کاهش ذخیره‌ی آب به بیش از ۲۷ درصد برسد؛ این امر به علت کاهش عمق آب و تبخیر مقدار بیشتری از آب ذخیره شده‌است. بخشی از سد که در اثر تبخیر از دست می‌رود برابر با ۰/۳۲ است، پس ذخیره‌ی آب فصل خشک برابر ۱۳۲۳۱۲۶ متر مکعب است. با توجه به

ظرفیت سد و حجم رواناب سالانه، احتمال پر شدن سد به میزان ۰/۲۷ برآورد شد که این میزان احتمال نسبت به سال میانگین (نرمال) است که قطعاً نسبت به سال‌های کم باران این احتمال بسیار کمتر خواهد شد. نتایج این مدل می‌تواند به اجرای اقدامات حفاظتی و کاهش حجم رسوبات در سطح حوزه‌ی آبخیز و در نهایت کاهش رسوب در مخزن سد و در نتیجه، افزایش عمر مفید آن کمک کند. علاوه بر این، جنبه‌های بهداشتی، اکولوژیکی و اکوسیستمی مدیریت مخازن سدهای کوتاه، باید ذینفعان و شاخص‌های کلیدی را که برای پایداری مخازن سدها در چنین محیط‌هایی مفید هستند، شامل شود (Alemaw et al, 2013).

جمهوری اسلامی ایران بعد از کشورهای چین و ترکیه، سومین کشور سدساز دنیا است. قطعاً تعدادی از سدهای احداث شده در کشور به خوبی نقش خود را ایفا و با اثرگذاری، از هدر رفت آب‌ها جلوگیری کرده‌است. این سدها علاوه بر سیراب کردن زمین‌های زراعی پایین دست خود، آب شرب میلیون‌ها انسان را نیز تأمین کرده‌است. اما معتقدیم اگر سدی با مطالعات دقیق و بررسی‌های علمی ساخته نشود، نه تنها سودی نخواهد داشت بلکه به تلف شدن آب‌ها و خشک شدن زمین‌های پایاب سد و از بین رفتن میلیاردها تومان از منابع مالی کشور می‌انجامد.

منابع

1. Alemawe, B. F., 2013. Assessment of Sedimentation Impacts on Small Dams—A Case of Small Reservoirs in the Lotsane Catchment, *Journal of Water Resource and Protection*, 5, 1127-1131.
2. Brune, G. M., 1953. Trap efficiency of reservoirs, *Transactions American Geophysical Union*, 34 (3), 407-418.
3. Bullock, A., 1993. Hydrological procedures for the design of small dams in Botswana, United Nations Development Program, BOT/86/010-UNO/BOT/003/CDF.
4. Wallingford, HR., 2003a. Sedimentation in small dams - impacts on the incomes of poor rural communities, OD TN 118.
5. Wallingford, HR., 2003b. Sedimentation in small dams - hydrology and drawdown computations, OD TN 119.
6. Wallingford, HR., 2003c. Sedimentation in small dams - development of catchment characterization and sediment yield prediction procedures, OD TN 120.
7. Ijam, A. Z., & E. R. Tarawneh., (2012). Assessment of sediment yield foe Wala dam catchment area in Jordan. *European Water*. 38, 43-58.
8. Khanchoul, K.; Benslama, M.; & B. Remini, 2010. Regressions on Monthly stream discharge to a reservoir in Algeria, *Journal of Geography and geology*, 2(1).
9. Ministry of Lands and Water Resources, Zimbabwe, 1984. An Assessment of the Surface Water Resources of Zimbabwe and Guidelines for Development Planning, Ministry of Lands and Water Resources, Harare, Zimbabwe.
10. Ministry of Water Development (MOWD), Kenya, 1992. Guidelines for the design, construction and rehabilitation of small dams and pans in Kenya, Nairobi, Ministry of Water Development.
11. Mitchell, T. B., 1987. The yield from irrigation dams of low storage ratio, *Journal and proceedings, Zimbabwe Institution of Engineers*, 627-630.
12. Nelson, KD., 1991. Design and construction of small earth dams, Inkata press, Australia. ISBN 0 909605 343.
13. Stephens, T., 1991. Handbook on small dams and weirs, Cranfield press.

Using a special empirical model to estimate sediment yield of Koohbord dam watershed in Kohgilouyeh County

Mohsen Armin*: Assistant Prof., Faculty of Natural Resources and Natural Resources and Environmental Research Institute, Yasouj University, Yasouj, I.R. Iran.
Masoumeh Bazgir: Graduated Master of Civil Engineering, Islamic Azad University Yasouj Branch, Yasouj, Iran.
Sayed Alisaleh Velayatinejad: Graduated Master of Watershed Management, University of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources, Mazandaran, Iran.

Article History (Received: 2017/10/24 Accepted: 2018/04/08)

Extended abstract

1- Introduction

There are strong links between the availability of water for agricultures and livestock productions, and the incomes for poor rural nation. Rainfall variations, particularly droughts, effect on their living as well One meaning of increasing people's resilience to these shocks is to store water in dams – so that crops can be irrigated and cattle watered during dry seasons. Many of the small dams are constructed in semi-arid regions of Africa which is rapidly filled with sediments and sometimes only after a few years. When dams silt up the rural areas that is relied on them for cattle watering or small-scale irrigations that deprived of the water and food security that dams provide them, and their source of income is seriously affected too. Predicting soil erosions, sediment yields and dam sedimentation rates can be a complex task, it requires professional experts, and in generally it has poorly covered in small dam design manuals. These results in many small dams constructed with little or no consideration of the impact of future siltation of a dam's life or on water yields. This issue is poorly covered in most small dam design manuals, which mostly focuses on civil engineering designing and construction aspects. A capability to estimate future siltation rates in small dams is essential to ensure that: dams are not constructed in catchments with excessively high sediment yields; dams are sized correctly; catchments where the rapid introduction of soil and water conservation or other measures will be essential if a reasonable dam life is being obtained, are identified early enough for remedial activities to have a significant impact on dam siltation.

2- Methodology

Sediment yield from a small dam catchment is determined by rates of soil erosion, and the sediment transport ation and deposition processes that control the delivery of eroded sediment via the fluvial system to the catchment outlet. The characteristics of the catchment, including soil types, land use, rainfall distribution and intensity, and conservation activities all affect sediment yields, which in semi-arid regions vary widely from year to year. Koohbord dam watershed with a total area of 38.29 square kilometers in Kohgiluyeh and Boyerahmad province is one of the watersheds without a sedimentation data, which requires the use of empirical models for estimating sediments, so that the obtained data is the basis for the management plans of dam watershed. The used procedure based on an empirical sediment yield predictor that combines quantitative information on the catchment area, annual rainfall and slope, with qualitative factors describing soils, vegetative cover, and evidence of accelerated erosion. The qualitative factors scored in a rapid catchment characterization exercise. Scores for soil type and drainage, erosion status and vegetation cover used with data describing the slope of the main stem river, the catchment area, and the annual rainfall. From the information the sediment yield can predicted, using an empirical function (which is) developed from small dam

* **Corresponding Author:** mohsenarmin2007@gmail.com

catchment and sedimentation data. The catchment annual rainfall and area also will calculate. The slope of the main stem river is obtained from 1:50 000 maps. The elevation difference between the catchment boundary and the river bed at the dam location is divided by the distance, measured along the main stem river, from the catchment boundary to the dam site.

3- Results

The results showed that the amount of sediment yield in the Koohbord dam watershed is 13.8 tons per hectare per year, taking into account the sediment delivery ratio of 0.18, this sediment yield rate is equivalent to 45.16 tons per hectare per year for soil erosion. It is estimated that after 20 years the lifetime of the dam, about 27% of the initial capacity of dam's storage is lost. Meanwhile, due to the evaporation, about 32% of dam's volume is lost too.

4- Discussion & Conclusions

The catchment must be large enough to ensure that the annual runoff fills a dam. It is suggested a lower limit for the catchment area derived by dividing the dam capacity by 10% of the annual rainfall (Dam capacity in m^3, rainfall in m, gives the minimum catchment area in m^2). If the runoff coefficient for the catchment were 0.1, a typical value for small, semi-arid catchments, this criterion results in a ratio of dam capacity to annual inflow volume of 1, i.e. the dam would store all of the annual runoff generated in an average year. Minimum extracted watershed area of this indicator (38/7 km2) is approximately equal to the area of the catchment area of the Koohbord dam (38/30 km2) and technically the dam has been properly located. A catchment area larger than the minimum area derived using the criteria described above will increase the probability of the dam filling from emptiness in drier than average years. However, there is also an upper limit on catchment areas, particularly in regions with significant sediment yields. Dams in catchments with a large annual runoff in comparison to their storage volume will have rapid siltation rates, and will require large and costly spillways. A lower limit on the ratio between dam capacities to the annual inflow of 0.1 recommended for small dams, in catchments where significant sediment yields anticipated dams with a capacity to inflow ratio of less than 0.3 are not recommended. In the Koohbord dam watershed, the ratio between the capacities of the dam to the annual flow is 1.2, In fact, the annual flow is 0.8 times the capacity of the dam. It seems that the dam has not been properly located. The ratio of the volume of stored water to the volume of earthwork required to justify constructing a dam (in economic terms) depends on the value of the stored water compared to the dam construction costs. It suggested that this ratio should be above eight, and if it is below five the dam site should reject. In the Koohbord dam watershed, the ratio between the volumes of stored water to the volume of earthwork required to constructing a dam is 12, which suggests that the construction of the Koohbord dam is economically feasible.

Key Words: reservoir capacity, soil erosion, soil type and drainage, vegetation status.