Arch

مقاله کامل علمی- پژوهشی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و هفتم، شماره پنجم، ۱۳۹۹
۲۰۱-۲۱۶
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2020.17747.3328

بررسی عملکرد بندهای سنگی‌توری در مقدار و دانه‌بندی رسوبات در حوزه آبخیز رزین در غرب ایران

*علی‌رضا واعظی[۱]، کامبیز رستمی[۲] و سیدحمیدرضا صادقی[۳]

[۱]استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، [۲]دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان،
[۳]استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۰۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۳۰

چکیده

سابقه و هدف: بندهای حفاظت خاک به‌منظور کاهش شدت جریان آب، نگهداشت رسوب و پایش آن، کاهش دبی اوج سیلاب‌ها، افزایش زمان تمرکز حوضه و اصلاح نیمرخ طولی در آبراهه‌ها احداث می‌شوند. بندهای سنگی‌توری سازه‌های متخلخلی هستند، آن‌ها غالباً در بسیاری از حوزه‌های آبخیز ایران در مناطقی که دارای سدهای مخزنی آب هستند و فرسایش آبی در زمین‌های بالادست به‌شدت رخ می‌دهد، ایجاد می‌شوند. عوامل مختلفی از جمله مکان احداث بند در طول آبراهه، شیب آبراهه، مساحت زه‌کشی هر بند و اندازه ذرات خاک حوزه بر عملکرد بندهای سنگی‌توری مؤثر است. تاکنون کارایی بندهای سنگی‌توری در رسوب‌گیری ذرات خاک در حوزه‌های آبخیز منطقه نیمه‌خشک موردبررسی قرار نگرفته است. این پژوهش با هدف بررسی عملکرد بندهای سنگی‌توری و نقش عوامل مختلف در انباشت رسوبات و توزیع اندازه ذرات در حوزه آبخیز منطقه نیمه‌خشک در غرب ایران انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش ۱۱ بند سنگی‌توری با اسامی G1 (در پایین‌ترین قسمت آبراهه) تا G11 (در بالاترین قسمت آبراهه) در حوزه آبخیز رزین واقع در شمال شهر کرمانشاه طی سال ۱۳۹۶ مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌برداری رسوب از سه مکان واقع در پشت هر بند از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری صورت گرفت. سپس ویژگی‌های فیزیکی رسوبات و خاک حوزه آبخیز شامل درصد ذرات شن، سیلت و رس تعیین شد. دانه‌بندی ذرات شن با جداسازی ذرات از طریق الک‌های مربوطه و شستشوی ذرات روی هر الک و دانه‌بندی ذرات سنگریزه و قلوه‌سنگ با جداسازی ذرات به روش وزنی اندازه‌گیری شد. حجم رسوب پشت بند با اندازه‌گیری ارتفاع و مساحت مکان رسوب‌گذاری محاسبه شد. مساحت حوزه زه‌کش هر بند از طریق پیمایش زمینی و استفاده از تصاویر گوگل ارث به‌دست آمد. شیب حوزه زه‌کش هر بند از طریق شیب آبراهه به‌دست آمد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که عملکرد بندهای سنگی‌توری در تله‌اندازی رسوب در بخش‌های مختلف آبراهه متفاوت است. بندهایی که در بالادست آبراهه‌ها قرار داشتند نسبت به بندهای پایین‌دست از مقدار شن بیش‌تر اما رس و سیلت

* مسئول مکاتبه: vaezi.alireza@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

کم‌تری برخوردار بودند. هم‌چنین، مقدار شن در رسوب پشت‌بندها نسبت به خاک حوزه بیش‌تر بود. بررسی دانه‌بندی ذرات شن نشان داد بیش‌ترین ذرات ته‌نشین شده در پشت‌بندها مربوط به ذرات به‌اندازه ۱ تا ۲ میلی‌متر بود و فراوانی ذرات با قطر ۰/۰۵۳ تا ۰/۰۷۵ میلی‌متر کم‌ترین بود. ذرات با قطر ۲ تا ٤/۷۵ میلی‌متر بیش‌ترین سهم ذرات درشت رسوب (سنگریزه) را شامل می‌شوند درصورتی‌که سهم ذرات بزرگ‌تر با قطر ۹/۳۷ تا ۱۲/۵ کم‌ترین بود. هم‌چنین، از بین عوامل مختلف، شیب آبراهه بر مقدار رسوب پشت‌بندها تأثیر معنی‌داری داشت.

نتیجه‌گیری: توزیع ذرات رسوب در پشت‌بندهای سنگی‌توری به‌دلیل موقعیت قرارگیری بندها در طول آبراهه تغییر می‌کند. بندهای سنگی‌توری واقع در بالادست آبراهه نقش مهمی در ترسیب مواد درشت‌دانه دارند. افزایش شیب و مساحت سطح زهکش هر بند سبب افزایش حجم رسوب پشت‌بندها می‌شود؛ بنابراین در احداث بندهای سنگی‌توری، شیب آبراهه و اندازه ذرات خاک حوزه برای اثربخشی بیش‌تر این بندها در میزان و نوع رسوب‌گیری باید موردتوجه قرار گیرد. برای انباشت ذرات ریزتر و جلوگیری از آلودگی رواناب سطحی، احداث بندهایی با تخلخل کم‌تر در پایین‌دست بندهای سنگی‌توری مانند بندهای سنگی‌ملاتی لازم است.

واژه‌های کلیدی: بند سنگی‌توری، توزیع اندازه ذرات، حجم رسوب، شیب آبراهه

مقدمه

آبراهه‌ها که به‌عنوان مسیرهای مهم انتقال رواناب، نقشی اساسی در هدررفت آب‌وخاک از حوزه‌های آبخیز دارند. آبکندها و دره‌ها از آبراهه‌های طبیعی در سطح حوزه آبخیز هستند که نقشی اساسی در هدررفت منابع آب‌وخاک دارند. ذرات انتقال‌یافته از اراضی بالادست حوزه آبخیز از راه این آبراهه‌ها به رودخانه اصلی راه یافته، از حوزه آبخیز خارج می‌شوند. بررسی آمار نشان می‌دهد سالیانه نزدیک به ۲۲ میلیون هکتار از اراضی قابل‌کشت در سطح کره زمین از دست می‌رود (۱۳). گزارش‌ها نشان می‌دهد در ایران میزان فرسایش خاک طی سالیان اخیر افزایش چشم‌گیری یافته است (١٤). به‌طوری‌که معادل ۲۰ درصد فرسایش طبیعی خاک‌ها و ۸ درصد مقدار شستشوی خاک در مقیاس جهانی در ایران رخ می‌دهد (۱۳). اگرچه مهار فرسایش در زمین‌های بالادست حوزه آبخیز نخستین گام در حفظ منابع خاک است اما کاهش تولید رسوب و مهار آن در آبراهه‌ها می‌تواند گامی مهم برای حفظ منابع آب‌وخاک و جلوگیری از پیامدهای برون منطقه‌ای فرسایش در حوزه‌های آبخیز باشد. یکی از روش‌های سازه‌ای که به‌طور گسترده در سطح دنیا برای کاهش تولید رسوب و نیز مهار سیلاب استفاده می‌شود، احداث بندها یا سدهای اصلاحی[1] است. بندها، سازه‌های حفاظتی کوچکی هستند که در عرض یک آبراهه به‌منظور کاهش سرعت جریان‌های متمرکز ساخته می‌شوند (۱۰). این سازه‌ها اثری مستقیم بر کاهش حجم رسوبات خروجی از حوزه‌های آبخیز دارند (۵)، به‌طوری‌که با افزایش تعداد آن‌ها در واحد سطح، میزان رسوبات نگه‌داشته شده افزایش می‌یابد (١٦). این سازه‌ها علاوه بر جلوگیری از فرسایش بستر، باعث ترسیب ذرات مختلف به‌ویژه ذرات درشت شده و سبب اصلاح نیمرخ طولی آبراهه‌ها می‌شوند (۹). در سال‌های اخیر، بندهای اصلاحی در سطح گسترده‌ای در طرح‌های حفاظت خاک و آبخیزداری در ایران مورداستفاده قرار گرفته تا علاوه حفظ خاک و آب، در تغذیه آبخوان‌ها، استحصال آب،

1- Check Dams

www.SID.ir

Archive of SID

مهار جریان‌های سیلابی و پیشگیری از صدمات ناشی از رسوب‌گذاری در اراضی پایین مؤثر واقع شوند (۲۰ و ۲). نوع و تعداد بندهای اصلاحی بر میزان رواناب و رسوب حوزه آبخیز تأثیر مستقیمی دارند. با افزایش تعداد بندها میزان رواناب و رسوب تولیدشده در حوزه کاهش می‌یابد (۱۵). کارایی بندهای اصلاحی در یک منطقه علاوه بر نوع و موقعیت استقرار آن، به ویژگی‌های خاک آن نیز وابسته است (۸). ازجمله انواع بندهای اصلاحی مورداستفاده در نگهداشت رسوب می‌توان به بندهای سنگی‌توری[1] اشاره نمود. این بندها متخلخل هستند و بسته به نوع سنگ‌ها و ضخامت بدنه بند، کارایی این نوع بندها در نگهداشت ذرات رسوب تغییر می‌کند. در شرایطی که از سنگ‌های درشت‌تر در ساختار بند استفاده شود، به‌دلیل افزایش مجاری بزرگ در بند، از قابلیت بند در نگهداشت ذرات و حتی ذرات درشت کاسته می‌شود (۱). گزارش‌ها نیز نشان می‌دهند بندهای سنگی‌توری تنها در مورد بار کف آبراهه و برای نگهداشت ذرات درشت‌دانه مانند شن و قلوه‌سنگ تأثیر دارند و برای کاهش بار معلق آبراهه کارایی زیادی ندارند هم‌چنین بندهای سنگی‌توری با ارتفاع بلند کارایی بیش‌تری در مهار رسوب و انباشت رسوبات دارند (۱). رومرو دیاز و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی میزان رسوب‌گذاری پشت بندهای اصلاحی در بستر رودخانه سگوآرا در شمال اسپانیا به این نتیجه رسیدند که هرچه سطح حوضه منتهی به بند اصلاحی وسیع‌تر و شیب رودخانه بیش‌تر باشد، نرخ رسوب‌گذاری در بستر مسیل کم‌تر است (۲۲). حسن‌لی و همکاران (۲۰۰۹) به مطالعه تأثیر محل قرار گرفتن بندهای سنگی‌توری در طول پنج آبراهه بر میزان رسوب انباشت شده در پشت آن‌ها پرداختند. نتایج نشان داد مقدار ذرات ریز رسوب (رس و سیلت) از بندهای پایین‌دست به میانه و بالادست آبراهه کم‌تر می‌شود (۱۱). نیکولس و همکاران (۲۰۱۶) با مطالعه بر روی ۳۷ بند اصلاحی احداث شده بر دو زیرحوزه ٤ و ۳/۱ هکتاری واقع بر اراضی آبرفتی در منطقه سانتاریتا در جنوب آریزونا به این نتیجه رسیدند که بندهای اصلاحی علاوه بر ترسیب رسوب در پشت آن‌ها در کاهش رواناب و کاهش شیب آبراهه به‌میزان ۳۵-۳٤ درصد در بالادست بند نقش دارند (۱۹). در مطالعه آزمایشگاهی هابل و برامبرگر (۲۰۱۸) بر کنترل انتقال رسوب توسط تعدادی از بندهای اصلاحی، به این نتایج رسیدند که شیب رسوب‌گذاری و میانگین قطر ذرات از بندهای بالاتر به‌سمت بندهای پایین‌تر کاهش می‌یابد (۱۲). معماریان خلیل‌آباد و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی تأثیر فعالیت‌های آبخیزداری بر دبی اوج سیلاب حوزه آبخیز بار نیشابور به این نتیجه رسیدند که بندهای سنگی‌توری و افزایش تعداد آن‌ها در طول مسیر آبراهه می‌تواند سبب کاهش دبی اوج در دوره بازگشت ۱۰۰ ساله در حدود ۲۱ درصد و نیز کاهش حجم سیلاب گردد (۱۷). بررسی کارایی بندهای سنگی‌توری با توجه به گستره کاربرد آن‌ها دارای اهمیت زیادی است. بیش‌تر مطالعات صورت گرفته در مورد بندهای سنگی‌توری مربوط به تأثیر این بندها بر سرعت جریان رواناب بوده و مطالعات اندکی در مورد کارایی این بندها در ترسیب رسوبات صورت گرفته است (۲۵). با توجه به‌ضرورت مطالعه کارایی بندهای سنگی‌توری در ترسیب رسوبات، ولی تاکنون کارایی این بندها در ترسیب و دانه‌بندی رسوب در حوزه‌های آبخیز موردبررسی قرار نگرفته است؛ بنابراین هدف از این پژوهش بررسی کارایی بندهای سنگی‌توری و مهم‌ترین عوامل مؤثر بر مقدار ترسیب و دانه‌بندی ذرات رسوب‌یافته در پشت‌بندها بود.

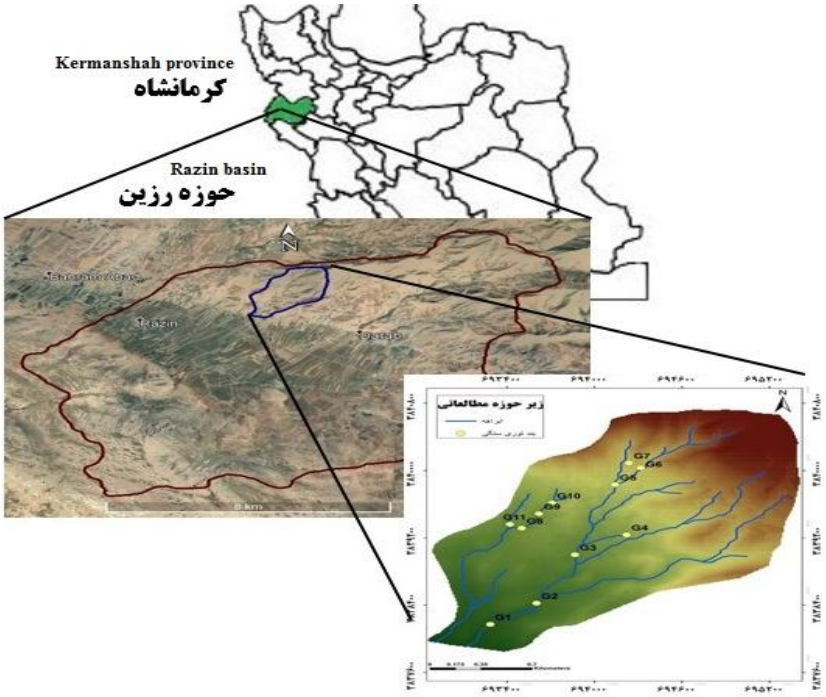
1- Gabion check dam

www.SID.ir

Archive of SID

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه: این مطالعه در حوزه آبخیز رزین، واقع در منطقه بیلوار در شمال شهر کرمانشاه انجام گرفت. منطقه موردمطالعه دارای مساحت ٤٧٩ هکتار با یک رودخانه دائمی به نام رازآور در فاصله ۷۲ کیلومتری در جهت شمال شهر کرمانشاه واقع است (شکل ۱).



شکل ۱- حوزه رزین در شمال شهر کرمانشاه واقع در غرب ایران.

Figure 1. Razin watershed north of Kermanshah, west of Iran.

این زیرحوزه در طول جغرافیایی و ″٠٦ ′٠٧ °٤٧ شرقی و عرض جغرافیایی ″٠٣ ′٤٠ °٣٤ شمالی با متوسط ارتفاع ۱۵۹۳ متر از سطح دریا قرار دارد. میانگین دمای سالیانه هوا ۱۱/٤ درجه سانتی‌گراد و میزان بارندگی سالیانه به‌طور متوسط ۵۸۸/۵ میلی‌متر است. دو جزء واحد اراضی شامل تپه و فلات در منطقه موردمطالعه وجود دارد. تپه‌ها نسبتاً مرتفع و دارای قله‌های مدوری از جنس شیل، شیل مارنی و سنگ‌های آهکی می‌باشند. هم‌چنین تپه‌ها دارای خاک کم‌عمق تا نسبتاً عمیق به همراه سنگریزه سطحی کم و سنگریزه عمقی زیاد و پوشش گیاهی متوسط هستند. فلات‌ها و تراس‌های فوقانی دارای پستی‌وبلندی متوسط تا نسبتاً زیاد بوده که از تراس‌ها و رسوبات قدیمی آهکی تشکیل شده است. پوشش خاکی این اراضی عمیق تا بسیار عمیق و سنگریزه سطحی و تحتانی زیاد و دارای پوشش گیاهی خوب می‌باشند.

انتخاب بندها: در آبراهه‌های موردمطالعه ١٤ بند توری‌سنگی قرار داشت که یک بند تخریب شده بود و دو بند دیگر بدون عارضه رسوب‌گذاری بودند؛ بنابراین تعداد ۱۱ بند سنگی‌توری در آبراهه‌هایی با مقطع V شکل موردمطالعه قرار گرفت. این بندها با حرف G مشخص شدند. بندهای G5، G6، G7، G10 و G11 در قسمت بالا، بندهای G3، G4 و G9 درمیانه و بندهای G1، G2 و G8 در قسمت

www.SID.ir

Archive of SID

پایین آبراهه‌های حوزه قرار دارند. متوسط شیب آبراهه‌های درجه یک ١٤/١٢ درصد و آبراهه‌های درجه دو ٧/٢٤ درصد بود. متوسط ارتفاع بندها ٤ متر، عرض سرریز ١ متر و متوسط طول سرریز این سازه‌ها ٦ متر است. این بندها فعال بوده و توسط معاونت آبخیزداری سازمان منابع طبیعی استان کرمانشاه در سال ١٣٩١ مورد بهره‌برداری قرار گرفتند (شکل ٢).

(الف)

(ب)

شکل ٢- رسوبات انباشت شده در پشت بندهای سنگی‌توری (الف) و محل نمونه‌برداری از رسوب در پشت‌بند (ب).

Figure 2. a) Accumulated sediments and b) Sediment sampling location behind the gabion dams.

علاوه بر وجود بندهای سنگی‌توری، تعدادی بند سنگی‌ملاتی نیز در حوزه مطالعاتی احداث گردیده است. در شمال منطقه عملیات کپه‌کاری و قرق جهت تجدید پوشش گیاهی مراتع و نیز طرح توسعه باغات انجام گرفته است.

تعیین ویژگی‌های رسوبات پشت هر بند: نمونه‌برداری رسوب از سه مکان واقع در پشت هر بند از عمق صفر تا ٢٠ سانتی‌متری صورت گرفت (٤، ٢٦ و ٢٧): الف) ابتدای مکان رسوب‌گذاری ب) وسط مکان رسوب‌گذاری و ج) انتهای مکان رسوب‌گذاری (پشت‌بند). هم‌چنین از نمونه خاک دو طرف و بالادست هر بند از قسمت‌های مختلف دامنه‌های مشرف به بندها به‌صورت مرکب که در محدوده زهکشی بند قرار داشته (نمونه شاهد) نمونه‌برداری شد (٤). سپس خصوصیات فیزیکی رسوبات و خاک حوزه شامل درصد ذرات شن، سیلت و رس به روش هیدرومتری (٦) تعیین شد. دانه‌بندی ذرات شن با جداسازی ذرات به قطر ١، ٠/٥، ٠/٢٥، ٠/١، ٠/٠٧٥ و ٠/٠٥٣، از طریق الک‌های مربوطه و شستشوی ذرات روی هر الک و دانه‌بندی ذرات سنگریزه و قلوه‌سنگ با جداسازی ذرات با قطر ١٢/٥، ٩/٣٧٥، ٦/٢٥، ٤/٧٥ و ٢ میلی‌متر به روش وزنی اندازه‌گیری شد. با اندازه‌گیری ارتفاع و مساحت مکان رسوب‌گذاری حجم رسوب پشت‌بند محاسبه شد. مساحت حوزه زه‌کش هر بند از طریق پیمایش زمینی و استفاده از تصاویر گوگل ارث به‌دست آمد. شیب حوزه زه‌کش هر بند از طریق شیب آبراهه دربرگیرنده بند و از رابطه ١ به‌دست آمد:

$$S = \frac{Hmax - Hmin}{d} \qquad (١)$$

www.SID.ir

Archive of SID

که در آن، S برابر است با شیب آبراهه واقع در حوزه زه‌کشی بند، Hmax ارتفاع بالاترین نقطه آبراهه منتهی به بند، Hmin ارتفاع محل قرار گرفتن بند و d طول قسمتی از آبراهه بوده که در حوزه زه‌کش بند است.

تعیین عملکرد بندهای توری سنگی: برای محاسبه ظرفیت رسوب‌گیری و حجم رسوبات انباشت شده، تعدادی از خصوصیات فیزیکی بندها و ناحیه رسوب‌گذاری پشت‌بندها اندازه‌گیری شد. طول و مسافت منطقه رسوب‌گذاری از طریق متر اندازه‌گیری شد. به‌طوری‌که با استفاده از متر طول رسوب و عرض رسوب از سه منطقه ابتدای مکان رسوب‌گذاری، وسط مکان رسوب‌گذاری و انتهای مکان رسوب‌گذاری (پشت‌بند) اندازه‌گیری و بدین‌ترتیب مساحت رسوب‌گذاری به‌دست آمد. ارتفاع بندها در قسمت پایین و بالای بند از کف تا سرریز به‌عنوان ارتفاع اولیه قبل از جمع شدن رسوبات در نظر گرفته شد و از تفاضل ارتفاع اندازه‌گیری شده ارتفاع رسوبات در مجاورت بند محاسبه شد (۲٤). حجم رسوب جمع شده در پشت هر بند اصلاحی از رابطه ۲ محاسبه می‌شود (۷)؛

$$V = \frac{1}{2} M_s D H \qquad (۲)$$

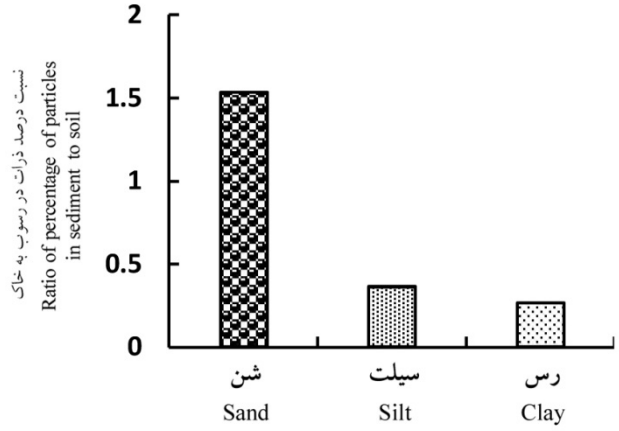
$$Ms = \frac{M_1 + M_2 + M_3}{3} \qquad (۳)$$

که در آن، V برابر است با حجم رسوب جمع شده در پشت هر بند برحسب مترمکعب، D برابر است با طول رسوب جمع شده در پشت هر بند بر حسب متر، M_S عرض متوسط رسوبات بر حسب متر، M_1، M_2 و M_3 عرض رسوب‌گذاری در فواصل مختلف از بند بر حسب متر و H ارتفاع رسوبات در مجاورت بند بر حسب متر است.

تجزیه‌وتحلیل آماری: برای تجزیه‌وتحلیل آماری از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ استفاده شد. با نرم‌افزار Excel برای رسم نمودارها استفاده شد. از تحلیل همبستگی پیرسون برای بررسی ارتباط بین پارامترهای مختلف رسوب با حجم رسوب سالیانه استفاده شد.

نتایج و بحث

مشخصات رسوبات ته‌نشست شده در پشت‌بندها: بررسی دانه‌بندی نمونه‌های رسوب پشت‌بندهای توری‌سنگی نشان از تفاوت مقدار شن، سیلت و رس با نمونه خاک حوزه آبخیز داشت. نمودار دانه‌بندی ذرات رسوب شامل شن، سیلت و رس نسبت به خاک حوزه آبخیز رسم شد (شکل ۳).



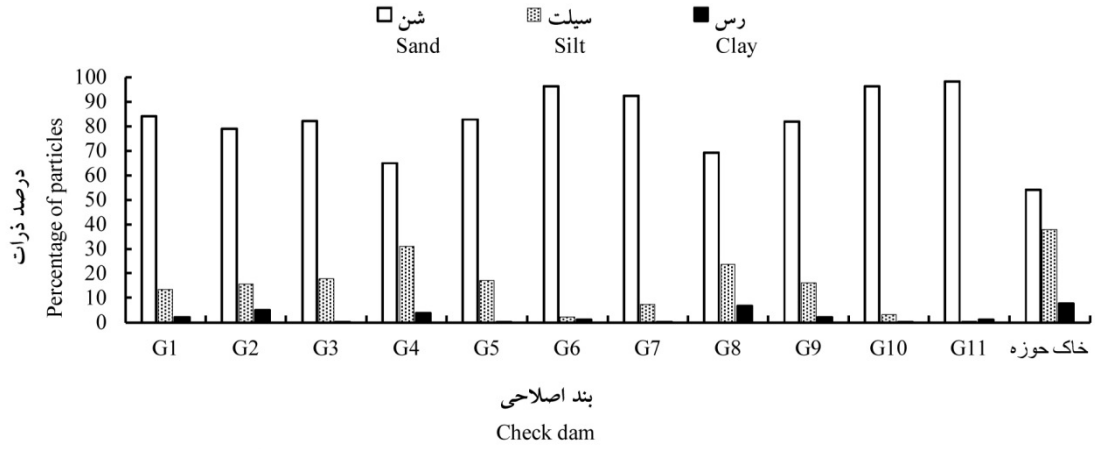
شکل ۳- درصد ذرات در رسوب پشت‌بندها به خاک حوزه.

Figure 3. The percentage of particles in the sediment behind the dams than the watershed soil.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدار شن در رسوب بیش از ۱/۵ برابر مقدار آن در خاک حوزه آبخیز بود. مقدار سیلت و رس در نمونه خاک حوزه بیش‌تر از رسوب بود به‌طوری‌که به‌ترتیب ۳٦/۲۳ درصد سیلت و ۲۷/٦۳ درصد رس خاک حوزه در پشت‌بندها رسوب کرده بود که با نتایج واعظی و همکاران (۲۰۱۷) مبنی بر کارایی بیش‌تر بندهای رسوب‌گیر در ترسیب ذرات درشت مطابقت داشت (۲٤)؛ بنابراین رسوبات تجمع یافته در پشت‌بندهای توری‌سنگی از نظر دانه‌بندی نسبت به خاک دامنه درشت‌تر هستند که مطابق نتایج اسدزاده و صمدی (۲۰۱۷) بود (۳). انباشته شدن ذرات درشت در پشت‌بندها در مقایسه با خاک دامنه می‌تواند به‌دلیل ساختار و تخلخل بندهای توری‌سنگی و نیز سرعت جریان‌های سیلابی دانست که فرصت کافی جهت ترسیب ذرات کوچک‌تر باقی نمی‌ماند (۲۳). بررسی مقدار و دانه‌بندی رسوبات پشت‌بندها نشان داد توزیع رسوبات در پشت آن‌ها متفاوت بود. تجمع ذرات شن دربندهای بالادست بیش‌تر از بندهای پایین‌دست است که این موضوع با یافته‌های عابدینی و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت داشت (۲). بندهای G6، G7، G10 و G11 که در قسمت بالای آبراهه قرار دارند نسبت به بندهای G1 و G2 که در پایین‌دست آبراهه قرار دارند، دارای مقدار شن بیش‌تری (۱٤/۹ درصد بیش‌تر) بوده و برعکس دارای سیلت (۷٦ درصد) و رس (۸٤ درصد) کم‌تری می‌باشند (شکل ٤).



شکل ٤- ترسیب ذرات شن، سیلت و رس در پشت‌بندهای سنگی‌توری در حوزه آبخیز رزین.

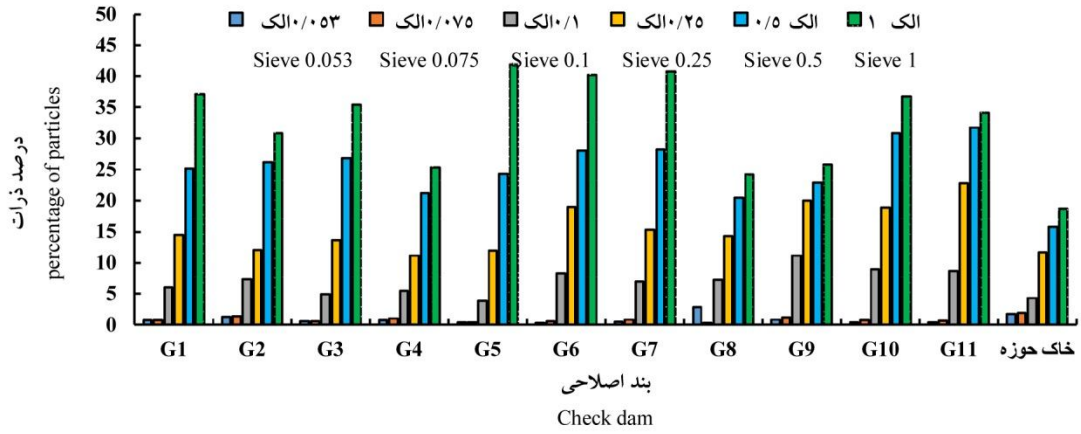
Figure 4. Segmentation of sand, silt and clay particles behind the gabion check dams of the razin watershed.

بنابراین می‌توان گفت توزیع ذرات در بندهای پایین‌دست در مقایسه با بندهای بالادست شباهت بیش‌تری به توزیع اندازه ذرات در خاک بالادست دارد؛ بنابراین بندهای سنگی‌توری بیش‌ترین تأثیر را در مهار رسوبات درشت‌دانه به‌ویژه در بندهای بالایی دارند که در راستای نتایج اسدزاده و صمدی (۲۰۱٦) بود که به تحلیل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در رسوبات پشت‌بندهای اصلاحی متوالی پرداخته بودند و نتایج آن‌ها نشان داد که مقدار رس در بندهای پایین‌دست بیش‌تر از بندهای بالادست بود و شباهت بیش‌تری به خاک دامنه داشت (٤). در نمونه‌های رسوب تمام بندها و نمونه‌های خاک حوزه آبخیز، فراوانی ذرات شن درشت (۱ تا ۲ میلی‌متر) بیش‌تر از سایر ذرات بود. فراوانی ذرات شن ۱ تا ۲ میلی‌متری

www.SID.ir

Archive of SID

در نمونه خاک حوزه در مقایسه با رسوب پشت بندها از ۳۵ درصد تا ۲/۲٤ برابر کم‌تر بود (شکل ۵). از سویی در بندهای احداث‌شده در بالادست (G5، G6، G7، G10 و G11) درصد شن درشت بیش‌تر از سایر بندهایی است که در میانه (G3، G4 و G9) و انتهای (G1، G2 و G8) آبراهه‌های حوزه آبخیز قرار دارند (شکل ۵).



شکل ۵- توزیع ذرات در محدوده شن در بندهای مختلف.

Figure 5. Distribution of particles in the sand range in different dams.

بنابراین ذرات درشت‌تر با توجه به میانگین قطر و چگالی بیش‌تر در بندهای بالاتر بیش‌تر رسوب می‌کنند که مطابق با نتایج هابل و برامبرگر (۲۰۱۸) مبنی بر کاهش میانگین قطر ذرات از بندهای بالاتر به‌سمت بندهای پایین‌تر بود (۱۲). مقایسه ذرات شن رسوب یافته در پشت‌بندهای توری‌سنگی نسبت به خاک حوزه آبخیز در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- مقایسه مقدار ذرات رسوب یافته در محدوده شن در پشت بندهای سنگی‌توری نسبت به خاک حوزه.

Table 1. Comparison of the amount of sediment particles in the sand range behind the gabion check dams relative to the watershed soil.

قطر ذرات (mm) Particle diameter	1-2	0.5-1	0.25-0.5	0.1-0.25	0.075-0.1	0.053-0.075
نمونه Sample	درصد Percentage					
خاک دامنه Hill slope soil	18.71	15.76	11.69	4.35	1.91	1.73
رسوب پشت‌بند Sediment of behind dam	33.63	26.19	15.77	7.18	0.77	0.82
نسبت ذره در رسوب به خاک Particle Ratio in Sediment to Soil	1.79	1.66	1.35	1.65	0.40	0.47

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج نشان داد مقدار ذرات در دامنه قطر ۱، ۰/۵، ۰/۲۵ و ۰/۱ میلی‌متر در رسوبات پشت بندهای توری‌سنگی به‌ترتیب ۸۰،٦٦، ۳۵ و ٦۵ درصد بیش‌تر از مقدار آن‌ها در خاک دامنه است. از سویی ذرات در دامنه قطر ۰/۰۵۳ و ۰/۰۷۵ میلی‌متر مقدار ذرات در رسوب به‌ترتیب ۲/۱ و ۲/۵ برابر کم‌تر از مقدار این ذرات در خاک دامنه بود؛ بنابراین می‌توان گفت بندهای توری‌سنگی برای ذرات بزرگ‌تر از ۰/۰۷۵ میلی‌متر به‌ویژه ذرات به قطر ۱ میلی‌متر، به دلیل اندازه و وزن بیش‌تر ذره با توجه به تخلخل زیاد بدنه بند کارایی بیش‌تری در انباشت آن‌ها دارند که نشان‌دهنده قدرت انتخابی بندهای سنگی‌توری است. این نتایج مطابق پژوهش ولازکولنا و همکاران (۲۰۱٦) مبنی بر قدرت انتخابی بندهای اصلاحی در ترسیب رسوبات بود (۲۵). ذرات سنگریزه و قلوه‌سنگ مقدار قابل‌توجهی از رسوبات را در پشت‌بندهای توری‌سنگی به خود اختصاص می‌دهند. این ذرات شامل ذراتی با قطر ۱۲/۵، ۹/۳۷، ٦/۲۵، ٤/۷۵ و ۲ میلی‌متر است. مقدار این ذرات در خاک دامنه ٤۳/۹۱ درصد از رسوبات را تشکیل می‌دهد و در رسوبات انباشت شده در پشت‌بندهای توری‌سنگی ۳۷/۳٤ درصد از کل رسوبات را شامل می‌شود. نتایج نشان داد مقدار این ذرات در خاک دامنه بیش‌تر از مقدار تجمع یافته در پشت‌بندها است. به‌ترتیب ۷۸ درصد، ۷٤ درصد، ۹٦ درصد، ۹۷ درصد و ۸۵ درصد ذرات با قطر ۱۲/۵، ۹/۳۷، ٦/۲۵، ٤/۷۵ و ۲ میلی‌متر از خاک دامنه انتقال و در رسوب پشت‌بندهای توری‌سنگی انباشته شده‌اند. بیش‌ترین مقدار این ذرات در رسوب مربوط به ذرات در دامنه قطر ۲ تا ٤/۷۵ میلی‌متر بود که از مقدار بیش‌تر این ذرات در خاک بالادست تبعیت می‌کرد و ذرات قلوه‌سنگ با قطر ۹/۳۷ تا ۱۲/۵ میلی‌متر نسبت به سایر ذرات کم‌تر بود که نشان‌دهنده مقدار کم‌تر این ذرات در خاک بالادست بود (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه مقدار ذرات رسوب یافته در محدوده سنگریزه و قلوه‌سنگ در پشت‌بندهای سنگی‌توری نسبت به خاک حوزه.

Table 2. Comparison of the amount of sediment particles in the gravel and rubble range behind the gabion check dams relative to the watershed soil.

2-4.75	4.75-6.25	6.25-9.37	9.37-12.5	12.5<	قطر ذرات (mm) Particle diameter
درصد Percentage					نمونه Sample
17.13	5.20	6.39	5.56	9.63	خاک بالادست Hill slope soil
14.48	5.06	6.17	4.09	7.54	رسوب پشت‌بند Sediment of behind dam
0.85	0.97	0.96	0.74	0.78	نسبت ذره در رسوب به خاک Particle Ratio in Sediment to Soil

www.SID.ir

Archive of SID

وزن و اندازه این ذرات و هم‌چنین شرایط هیدرولیکی جریان رواناب می‌تواند دلیلی بر تفاوت مقدار این ذرات در خاک دامنه نسبت به رسوبات پشت‌بندها باشد؛ بنابراین می‌توان گفت بندهای توری‌سنگی تنها در مورد بار کف آبراهه تأثیر داشته و برای کاهش بار معلق آبراهه کارایی زیادی ندارند. به‌طوری‌که در نگهداشت ذرات درشت‌دانه و در محدوده شن و قلوه‌سنگ نقش مهمی دارند.

عملکرد بندهای سنگی‌توری و عوامل مؤثر بر حجم رسوب سالیانه: با توجه به ماتریس همبستگی، حجم رسوب سالیانه با شیب حوزه همبستگی معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشت (جدول ۳). به‌طوری‌که افزایش شیب در افزایش سرعت رواناب مؤثر بوده و در نتیجه سبب افزایش حجم رسوب سالانه می‌گردد. این نتایج مطابق یافته‌های منگستو و همکاران (۲۰۱۲) مبنی بر تأثیر شیب بر میزان رسوب تولیدی در حوزه‌های آبخیز بود (۱۸). هم‌چنین نتایج نشان داد اگرچه مقدار شن و مساحت سطح زه‌کش بند با رسوب سالانه همبستگی مثبت دارند اما معنی‌دار نیست (جدول ۳).

جدول ۳- همبستگی بین حجم رسوب سالانه، شیب و ویژگی‌های خاک در بندهای سنگی‌توری.

Table 3. Correlation between annual sediment volume, slope and soil properties in the gabion check dams.

	مساحت Area	شیب Slope	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay
حجم رسوب سالیانه Annual sediment volume	0.33	0.73*	0.51	-0.53	-0.24

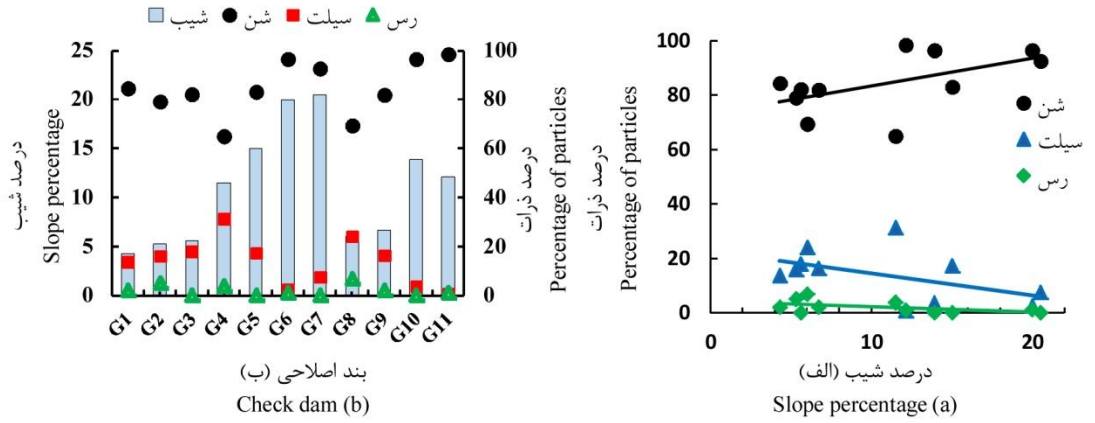
* نشان‌دهنده تأثیر معنی دار در سطح ۵ درصد است.

* Indicates a significant effect at the 5% level.

دانه‌بندی رسوب علاوه بر اثر انتخابی بند، تحت‌تأثیر شیب حوزه آبخیز است. منحنی دانه‌بندی ذرات رسوب نسبت به شیب نشان داد با افزایش شیب مقدار شن در رسوب پشت‌بندها افزایش یافته درحالی‌که این روند برای سیلت و رس روند عکس داشت (شکل ٦- الف). پژوهش‌های رندزی و همکاران (۲۰۱۳) نیز نشان داد که انتقال ذرات در آبکند تحت‌تأثیر خصوصیات ذرات انتقالی مانند اندازه، جرم و شکل ذره می‌باشد (۲۱). ذرات شن به‌دلیل اندازه بزرگ‌تر نسبت به سیلت و رس در طول آبراهه از انتقال کم‌تری برخوردار بودند و از طرفی با توجه به غلظت کم‌تر رواناب در شیب‌های بالاتر، انتقال ذرات چگال‌تر مانند شن نسبت به ذرات کوچک‌تر به‌کندی صورت می‌گیرد. شن انباشت شده در رسوب پشت‌بندهای G6، G7، G10 و G11 که در بالادست حوزه آبخیز و در آبراهه‌های درجه یک با شیب بیش‌تر احداث شده‌اند بیش‌تر از سیلت و رس می‌باشد. درحالی‌که بندهای G1 و G2 که در پایین‌دست حوزه آبخیز و در آبراهه‌های درجه دو با شیب کم‌تر احداث شده‌اند نسبت به بندهای G6، G7، G10 و G11، شن کم‌تر (۱۷ درصد) ولی سیلت (۲/۱ برابر) و رس (۳/۱ برابر) بیش‌تری دارند (شکل ٦- ب).

www.SID.ir

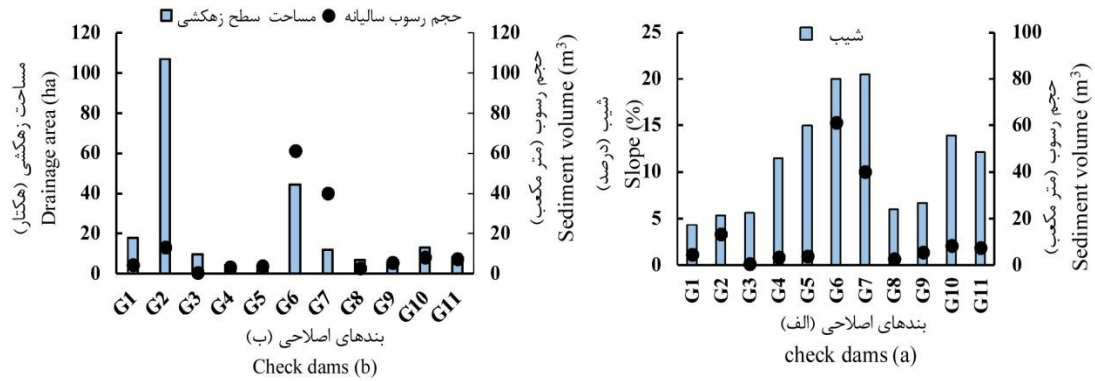
Archive of SID



شکل ٦- تغییرات ذرات رسوب با شیب (الف) و نوع ذرات رسوب با شیب در بندهای مطالعاتی (ب).

Figure 6. a) Sediment particle changes with slope and b) Type of sediment particles with slope in study dams.

حجم رسوب سالیانه در پشت‌بندهای G6، G7، G10 و G11 به‌دلیل این‌که در بالادست حوزه و در شیب بیش‌تری احداث شده‌اند بیش‌تر از سایر بندها است (شکل ۷- الف). مساحت محدوده زه‌کش بند بر میزان رسوب تأثیر مثبت داشت به‌طوری‌که با افزایش مساحت، میزان رسوب تولیدی افزایش می‌یابد (شکل ۷- ب). بند G2 با توجه به این‌که دارای بیش‌ترین مساحت محدوده زه‌کشی است. ولی حجم رسوب در پشت آن کم‌تر از بندهایی است که در بالادست حوزه قرار دارند؛ بنابراین می‌توان گفت علاوه بر مساحت زه‌کش هر بند، عوامل دیگری مانند شیب و مکان بند در طول آبراهه بر حجم رسوب دخالت دارند. به‌طوری‌که بندهایی که در بالاترین قسمت حوزه و ابتدای آبراهه قرار گرفته‌اند و دارای سطح زه‌کش بیش‌تری هستند، انباشت رسوبات بیش‌تری دارند.



شکل ۷- تغییرات شیب با حجم رسوب سالیانه (الف) و تغییرات مساحت زه‌کشی هر بند با حجم رسوب سالیانه در بندهای مطالعاتی (ب).

Figure 7. a) Slope changes with annual sediment volume and b) Drainage area changes of each dam with annual sediment volume in study dams.

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد توزیع ذرات رسوب در پشت‌بندهای توری‌سنگی به‌دلیل درجه تخلخل و موقعیت قرارگیری بندها متفاوت است؛ به‌طوری‌که در رسوبات پشت تمام بندهای موردبررسی به‌ترتیب شن، سیلت و رس بیش‌ترین سهم را داشتند. در رسوبات بندهای بالادست نسبت به پایین‌دست، درصد شن بیش‌تر ولی سیلت و رس کم‌تر بود؛ بنابراین می‌توان گفت بندهای سنگی‌توری بیش‌ترین تأثیر را در مهار رسوبات درشت‌دانه به‌ویژه در بندهای بالایی دارند. با توجه به تخلخل بندهای سنگی‌توری موردمطالعه، بیش‌ترین کارایی آن‌ها برای ذرات بزرگ‌تر از ۰/۰۷۵ میلی‌متر بود. حجم رسوب در پشت‌بندهای سنگی‌توری تحت‌تأثیر شیب حوزه آبخیز قرار دارد. با افزایش شیب حجم رسوب افزایش و دانه‌بندی ذرات رسوب تغییر می‌کند؛ به‌طوری‌که ذرات شن که بیش‌ترین حجم رسوب را شامل می‌شوند در بندهای بالادست که در شیب بالاتری احداث شده‌اند، رسوب می‌کنند. به‌طورکلی یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که برای ترسیب ذرات ریزتر و جلوگیری از آلودگی منابع آب سطحی، احداث بندهایی با تخلخل کم‌تر در پایین‌دست آبراهه و بعد از بندهای سنگی‌توری لازم است. هم‌چنین رعایت فاصله مناسب بندها از هم جهت مهار سرعت جریان رواناب و ترسیب ذرات ریز نیز می‌تواند در افزایش کارایی این نوع بندهای حفاظتی مؤثر باشد.

تقدیر و تشکر

از گروه خاک‌شناسی دانشگاه زنجان و بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی استان کرمانشاه که در راهنمای این تحقیق مساعدت نمودند سپاسگزاری می‌شود.

داده‌ها و اطلاعات

منبع و منشأ داده‌ها و اطلاعات مورد استفاده در این مقاله حاصل از رساله دکتری دانشگاه زنجان، گروه خاک‌شناسی می‌باشد. این مطالعه در سال ۱۳۹۶ در حوزه آبخیز رزین، واقع در دهستان بیلوار در شمال شهر کرمانشاه انجام گرفت.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافعی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

منابع

1.Abbasi, A.A. 2012. Field investigation and presentation a new formula for determination of threshold slope at the upstream of check dams. J. Iran-Water. Manage. Sci. Engin. 6: 19. 1-6. (In Persian)
2.Abedini, M., Said, M.A.M., and Ahmad, F. 2012. Effectiveness of check dam to control soil erosion in a tropical catchment (The Ulu Kinta Basin). Catena. 97: 63-70.
3.Asadzadeh, F., Mola-Ali-Abasiyan, S., and Samadi, A. 2017. Phosphorus Adsorption Behavior of Sediments Trapped Behind Successive Check-dams. J. Natur. Environ. 70: 1. 1-14. (In Persian)
4.Asadzadeh, F., and Samadi, A. 2016. Analysis of Physicochemical Properties of Sediments Trapped in Successive Check Dams. Iran. J. Soil Water Res. 47: 2. 293-306. (In Persian)
5.Boix-Fayos, C., Barbera´, G.G., Lo´pez-Bermu´dez, F., and Castillo, V.M. 2007. Effects of check dams, reforestation and land-use changes on river channel morphology: case study of the Rogativa catchment (Murcia, Spain). Geomorphology. 91: 1-2. 103-123.

www.SID.ir

Archive of SID

6. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. Agron. J. 54: 464-465.
7. Castillo, V.M., Mosch, W.M., Barbera, G.G., Cano, J., and Lopez-Bermudez, F. 2007. Effectiveness and geomorphological impacts of check dams for soil erosion control in a semiarid Mediterranean catchment: El Carcavo (Murcia, Spain). Catena. 70: 416-427.
8. Daberi, S.S., Sofi, M., and Talebbedokhti, N. 2013. Investigating the Function of Check Dams on Sediment Control (Case Study: Watersheds of Eghlid, Marvdasht and Mamasani Regions of Fars Province). J. Manage. Syst. 6: 18. 1-22. (In Persian)
9. Getahun, M.M., Keesstra, S.D., Stroosnijder, L., Baartman, J.E.M., and Maroulis, J. 2015. Soil conservation through sediment trapping: a review. Land Degradation and Development. 26: 6. 544-556.
10. Gray, D.H., and Leiser, A.L. 1982. Biotechnical slope protection and erosion control. Krieger Publishing Company Malabar, Florida. 271p.
11. Hassanli, A.M., Esmaeli Nameghi, A., and Beecham, S. 2009. Evaluation of the effect of porous check Dam location on fine sediment retention (a case study). Environmental Monitoring and Assessment. 152: 1-4. 319-326.
12. Hübl, J., and Bramberger, J. 2018. Sediment transport control by a series of check dams, a laboratory study. Geophysical Research. 20: EGU2018-4573.
13. Kavian, A., and Safari, A. 2013. Determination of appropriate model in sediment yield estimation by statistical methods- case study: babolroud watershed. J. Geograph. Sci. 30: 13. 111-130. (In Persian)
14. Khajavi, E., ArabKhedri, M., Mahdian, M.H., and Shadfar, S. 2015. Investigation of Water Erosion and Soil Loss Values with using the Measured Data from Cs-137 Method and Experimental Plots in Iran. J. Water. Manage. Res. 6: 11. 137-151. (In Persian)
15. Li, E., Mu, X., Zhao, G., Gao, P., and Sun, P. 2017. Effects of check dams on runoff and sediment load in a semi-arid river basin of the Yellow River. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. 31: 7. 1791-1803.
16. Martin-Rosales, W., Gisbert, J., Pulido-Bosch, A., Vallejos, A., and Ferna´ndez-Corte´s, A. 2007. Estimating groundwater recharge induced by engineering systems in a semiarid area (southeastern Spain). Environmental Geology. 52: 5. 985-995.
17. Memarian Khalil Abad, H., Yousefi, M., and Aghakhani Afshar, A.H. 2018. Identification 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)
18. Mengistu, B., Defersha, M., and Assefa, M. 2012. Effect of rainfall intensity, slop and antecedent moisture content on sediment concentraction and sediment enrichment ratio. Catena. 90: 47-52.
19. Nichols, M.H., Polyakov, V.O., Nearing, M.A., and Hernandez, M. 2016. Semiarid watershed response to low-tech porous rock check dams. Soil science. 181: 7. 275-282.
20. Rahimi, I., Seyedian, S.M., Rouhani, H., and Ahmadi, R. 2019. Check dam suitable locations for erosion control using hierarchical analysis process. Quar. J. Environ. Eros. Res. 9: 1. 23. 1-26. (In Persian)
21. Rienzi, E.A., Fox, J.F., Grove, J.H., and Matocha, C.J. 2013. Interrill erosion in soils with different land uses: the kinetic energy wetting effect on temporal particle size distribution. Catena. 107: 130-138.
22. Romero-Diaz, A., Marín-Sanleandro, P., and Ortiz-Silla, R. 2012. Loss of soil fertility estimate from sediment trapped in check dams. South-eastern Spain. Catena. 99: 42-53.
23. Romero-Díaz, A., Alonso-Sarriá, F., and Martínez-Lloris, M. 2007. Erosion rates obtained from check dam sedimentation (SE Spain). Catena. 71: 172-178.
24. Vaezi, A.R., Abbasi, M., Keesstra, S., and Cerdà, A. 2017. Assessment of soil particle erodibility and sediment

www.SID.ir

Archive of SID

trapping using check dams in small semi-arid catchments. Catena. 157: 227-240.

25. Velázquez-Luna, L., Ventura-Ramos, E., and David Revuelta-Acosta, J. 2016. Effectiveness of Gabions Dams on Sediment Retention: A Case Study. J. Environ. Sci. Engin. 5: 516-521.

26. Wang, X.L., Guo, S.L., Ma, Y.H., Huang, D.Y., and Wu, J.S. 2007. Effects of land use type on soil organic C and total N in a small watershed in loess hilly-gully region. Chinese J. App. Ecol. 18: 1281-1285.

27. Zhang, C.E., Wang, S.Q., and Deng, X.P. 1999. Primary fertility and approaches of improving fertility in Yaner ully watershed of North Yan'an area. Bull. Soil and Water Conservation, 19: 5. 15-20.

www.SID.ir

Arc

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Research Full Paper

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 27(5), 2021
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2020.17747.3328

Investigation on the effectiveness of gabion check dams in amount and grain size of sedimentation in the razin watershed, west of Iran

***A.R. Vaezi[1], K. Rostami[2] and S.H.R. Sadeghi[3]**

[1]Professor, Dept. of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan,
[2]Ph.D. Student, Dept. of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zanjan,
[3]Professor, Dept. of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tarbiat Modares

Received: 02.22.2020; Accepted: 09.20.2020

Abstract

Background and Objectives: Soil conservation dams are constructed across waterways or gullies to reduce the intensity of water flow, sediment retention and monitoring, reduce the peak discharge of floods, increase concentration and lag time in a watershed area, and finally correct channels width and length of channel. Gabion dams are porous structures, they are mostly used in many watersheds covering water reservoirs in Iran where soil erosion by water is occurred steadily in uplands. Various factors such as the location of the dam along waterway, waterway slope, the drainage area of each dam and watershed soil's particles size affect the performance of these dams. Up to now, the effectiveness of the gabion dams has not been investigated in sediment deposition in semi-arid watersheds. The study was carried out to determine the performance of gabion dams and the role of different factors in trapping sediment and its grain size distribution in a semi-arid watershed in west of Iran.

Materials and Methods: In this study, eleven gabion dams named G1 (in the lowest part of the waterway) to G11 (in the highest part of the waterway) in the resin watershed located in the north of Kermanshah were studied during the year 2018. Sediment sampling was performed from three locations behind each dam from a depth of 0 to 20 cm. Then the physical properties of sediments and watershed soil including the percentage of sand, silt and clay particles were determined. The granulation of sand particles was measured by separating the particles through appropriate sieves and washing the particles on each sieve and the particle size distribution of gravel and boulder was measured by separating the particles by weight method. The volume of sediment was calculated by measuring height and area of deposition area behind the dams. The drainage surface area for each dam was obtained by ground survey and google earth images. Slope gradient of drainage area of each dam was obtained through the slope of the waterway.

Results: The results indicated that the performance of the gabion dams in trapping of sediment is different in different sections of the waterway. The dams constructed upstream of waterway received more sand but less clay and silt than the downstream dams. Also, the amount of sand in the sediments of the dams was higher than the watershed soil. The particle size distribution of sand showed that the most sedimented particles behind the dams were related to particles with a size of 1 to 2 mm and the frequency of particles with a diameter of 0.053 to 0.075 mm was the lowest. Particles with a diameter from 2-4.75 mm had the highest share of coarse particles (pebbles) in sediment, while the share of larger particles with a diameter of 9.37 to 12.5 was the lowest. Also, among the various factors, waterway slope had a significant effect on amount of sediment behind the dams.

* Corresponding Author; Email: vaezi.alireza@gmail.com

www.SID.ir

Archi

Conclusion: The distribution of sediment grain size behind the gabion dams varies due to the location of the dams along the waterway. The gabion dams, which are constructed upstream play an important role in trapping coarse-grained sediments. Sediment volume behind the dams is positively affected by drainage surface area and particularly slope gradient of waterway. Therefore, slope gradient of waterway and location of the dams along waterway could be taken into consideration for enhancing their effectiveness in amount of sediment trapping and type of sediment material. Construction of these dams with lower porosity such as masonry check dams in lower parts of waterways is necessary to trapping fine sediment particles as well as preventing the pollution of surface runoff.

Keywords: Gabion check dam, Particle size distribution, Sediment volume, Waterway slope

www.SID.ir