

برخی نکات فنی در اندازه‌گیری رسوب در خروجی حوزه‌های آبخیز کوچک

محمود عرب‌خداری^۱، حمزه نور و علی‌اکبر عباسی

دانشیار گروه حفاظت آب و خاک، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

arabkhedri@scwmri.ac.ir

استادیار بخش حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

h.noor@areeo.ac.ir کشاورزی

دانشیار بخش حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

ak_abbasi@yahoo.com کشاورزی.

دریافت: اردیبهشت ۱۳۹۸ و پذیرش: دی ۱۳۹۸

چکیده

اندازه‌گیری و ارزیابی داده‌های فرسایش خاک و تولید رسوب در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف، به‌منظور پیشرفت دانش فرسایش خاک، ارزیابی مدل‌ها و طراحی آزمایش‌های فرسایش خاک حیاتی است. تغییرات زمانی بسیار زیاد فرسایش و رسوبدهی به‌ویژه در آبخیزهای کوچک، لحاظ تمهیدات فنی ویژه در اندازه‌گیری آن‌ها را ضروری می‌سازد به‌طوری‌که بتوان داده‌های مورد نظر را به درستی ثبت کرد. در این راستا، مقاله حاضر با هدف تبیین نکات فنی و ملاحظات در اندازه‌گیری رسوبدهی حوزه‌های آبخیز تحقیقاتی کوچک طرح‌ریزی شده است. بررسی سوابق موجود دلالت بر نقش رویدادهای حداکثر در رسوبدهی حوزه‌های آبخیز دارد. به‌گونه‌ای که یک واقعه حداکثری (با دوره بازگشت بالا) به‌تنهایی می‌تواند میانگین داده‌ها را تغییر دهد. بنابراین برای رسیدن به یک میانگین قابل اعتماد از رسوبدهی در شرایط طبیعی، جمع‌آوری داده‌های طولانی مدت ضرورت دارد. برای اندازه‌گیری رسوب معلق ابتدا نمونه‌بردار مخصوص رسوب معلق از جریان‌های موقتی مشتمل بر دو نوع ساده و خودکار، و تقسیم‌کننده جریان معرفی شده است. سپس ضرورت ساخت مخازن بتنی و بندهای رسوبگیر در خروجی آبخیزهای آزمایشی تبیین و روش‌های مختلف رسوب‌سنجی برای اندازه‌گیری بار کل (مجموع بار کف و معلق) تشریح شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: حوزه آبخیز آزمایشی، اندازه‌گیری رسوب، رویدادهای حداکثر

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: گروه حفاظت آب و خاک، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ص.

مقدمه

که در آن اندازه‌گیری فرسایش در سطح پلات و رسوب در مقیاس زیرآبخیزهای کوچک انجام می‌شود (باقرلو و همکاران، ۲۰۱۶).

در کشور ما نیز حوضه‌های معرف و حوضه‌های زوجی مهم‌ترین حوضه‌های آزمایشی هستند که طبق برنامه مدونی در مناطق مختلف کشور به ترتیب توسط وزارت نیرو و سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور (اداره کل امور اجرائی آبخیزها، اداره حوضه‌های معرف و نمایشی، ۱۳۷۹) احداث شده‌اند. البته، موارد دیگری نظیر حوضه آزمایشی سنگانه (عباسی و همکاران، ۱۳۹۳) و حوضه آزمایشی کجور (نور و صادقی، ۱۳۹۰) نیز توسط مؤسسات پژوهشی و آموزشی در سطح کشور تأسیس شده‌اند. حوضه‌های زوجی که با تأکید بیش‌تری به اندازه‌گیری رواناب و فرسایش دامنه‌ها و جریان و رسوبدهی خروجی حوضه طراحی و اجرا شدند، مساحتی کم‌تر از ۵۰۰ هکتار دارند (اداره کل امور اجرائی آبخیزها، اداره حوضه‌های معرف و نمایشی، ۱۳۷۹). در این حوضه‌ها، نحوه پاسخ هیدرولوژیک دو حوضه نمونه و شاهد به بارندگی مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

شناخت صحیح فرسایش خاک و تولید رسوب علاوه بر وابستگی زیاد به شرایط محیطی به خصوصیات فیزیکی و فنی سامانه اندازه‌گیری نیز بستگی دارد؛ بنابراین، لازم است در تجهیز و بهره‌برداری از حوضه‌های آبخیز تحقیقاتی، معیارهای فنی ویژه‌ای مد نظر قرار گیرد. باید توجه داشت که در مناطق خشک و نیمه‌خشک که عمده سطح ایران را در بر دارد، بسیاری از حوضه‌های آبخیز کوچک فاقد جریان پایه هستند و یا دبی پایه ناچیزی دارند و عمده جریان و انتقال رسوب آبراه‌های آن‌ها در شرایط بارش و ذوب شدید برف رخ می‌دهد. با توجه به نقش مهم بارش‌های منحصربه‌فرد در هدررفت خاک و تولید رسوب (گالارت و همکاران، ۲۰۰۲؛ لین، ۲۰۰۷ و مایور و همکاران، ۲۰۱۱)، دقت ویژه‌ای از نظر ثبت این رویدادها ضرورت دارد. برای روشن شدن بیشتر نقش رویدادها در

فرسایش آبی در مناطق کوهستانی ایران و دشت‌های بین آن‌ها پدیده غالب فرسایشی است. برآوردهای مختلفی از مقدار فرسایش در ایران وجود دارد و هنوز اجماع کاملی در این خصوص حاصل نشده است. حال آن‌که فزونی مقدار فرسایش در ایران از حد قابل قبول مورد توافق همگان است (عرب‌خدری، ۱۳۹۳). در نتیجه ضروریست داده‌های دقیقی در مقیاس مکانی و زمانی مناسب به‌منظور پایش وضعیت فرسایش خاک و تولید رسوب در کشور تهیه شود. در این راستا، تأسیس ایستگاه‌های تحقیقاتی و حوضه‌های آزمایشی که در واقع نوعی آزمایشگاه صحرایی هستند، به‌عنوان یک ضرورت در سطح جهان و ایران شناخته شده است. در این آبخیزها با توجه به وسعت آن‌ها می‌توان انواع فرسایش خاک و فرآیندهای حمل و ترسیب رسوب را مشاهده نمود (توی و همکاران، ۲۰۰۲). هدف از تجهیز این ایستگاه‌ها، در مرحله اول به‌دست آوردن مقادیر کمی از رواناب و رسوب و سایر مولفه‌های هیدرولوژی در شرایط طبیعی است (باقرلو و همکاران، ۲۰۱۳). اهداف دیگر تجهیز این آبخیزهای کوچک، ارزیابی مقایسه‌ای تیمارهای مختلف حفاظت آب و خاک (اداره کل امور اجرائی آبخیزها، اداره حوضه‌های معرف و نمایشی، ۱۳۷۹)، تهیه و واسنجی مدل‌های هیدرولوژیک (نور و همکاران، ۲۰۱۳؛ کمیته پاسیفیک سوت وست، ۱۹۶۸) و شناسایی و تعیین سهم عوامل موثر در فرسایش خاک و تولید رسوب (ویشمایر و همکاران، ۱۹۶۲) می‌باشد.

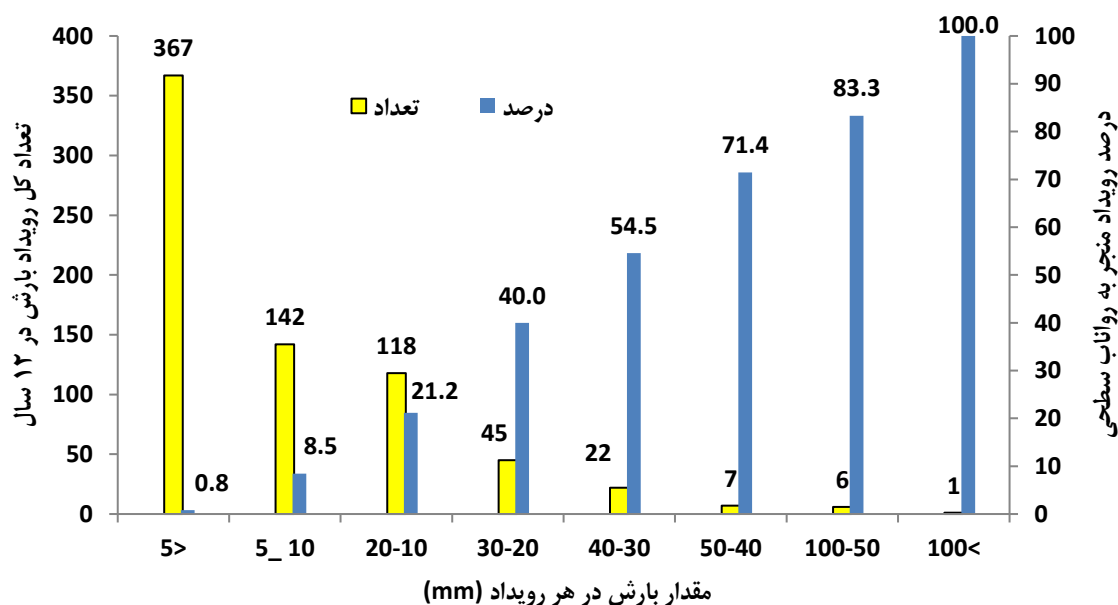
سابقه پژوهش در حوضه‌های آزمایشی به بیش از ۸۰ سال می‌رسد و نمونه‌های زیادی از این نوع ایستگاه‌ها در سطح جهان وجود دارد. یکی از قدیمی‌ترین و در عین حال مجهزترین نمونه این ایستگاه‌ها در سطح جهان، ایستگاه Walnut Gulch واقع در ایالت Arizona در آمریکا است که زیر نظر سازمان تحقیقات کشاورزی این کشور فعالیت می‌کند (نیرینگ و همکاران، ۲۰۰۷). نمونه دیگر، حوضه آبخیز معرف Sparacia در سیسیل ایتالیا است

فصلی دیده می‌شود. به‌علاوه، این پدیده به شدت تحت تأثیر رویدادهای استثنایی است (عرب‌خدری، ۱۳۹۷) که نقش زیادی در انتقال رسوب دارند. شکل ۱ سهم بارش-های منجر به رواناب در خاک‌های لسی منطقه Tang-shan چین را نشان می‌دهد. از ۷۰۹ واقعه بارندگی فقط در ۸۱ مورد (۱۱/۴ درصد)، رواناب قابل اندازه‌گیری جریان یافته است. مطابق شکل مذکور، در کمتر از یک درصد بارش‌های زیر پنج میلی‌متر، رواناب جاری شده و با افزایش مقدار بارش، سهم رویدادهای منجر به رواناب به‌صورت تصاعدی بیش‌تر شده است.

تولید رسوب، در این مقاله ابتدا تعدادی از نتایج پژوهش‌های مرتبط در زمینه اهمیت وقایع حداکثری و سپس معیارهای فنی و تجهیزات مورد نیاز برای اندازه‌گیری رسوب تشریح می‌شود.

نقش رویدادها در فرسایش و تولید رسوب

وابستگی به مقیاس و تغییرپذیری زمانی از خصوصیات بارز فرآیندهای حاکم بر فرسایش خاک به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. اصولاً فرسایش پدیده‌ای ثابت و پیوسته نیست و اغلب در آن نوسانات



شکل ۱- تعداد و درصد بارندگی تبدیل شده به رواناب در روی خاک‌های لسی منطقه Tang-shan چین (ترسیم بر اساس داده‌ها در زاخار، ۱۹۸۲)

اثرگذاری بیش‌تر رویدادهای بزرگ در حمل رسوب را ناشی از ضریب رواناب بالاتر و غلظت بیش‌تر رسوب ذکر کردند که احتمالاً ناشی از حمل مجدد نهشته‌های مربوط به رویدادهای پیشین و فروریزش دیواره رودخانه می‌باشد. گونزالس - هیدالگو و همکاران (۲۰۱۲) آمار رسوب روزانه ۱۴۸۳ ایستگاه هیدرومتری (بیش از ۲/۵ میلیون داده) به تفکیک مناطق هیدروژئیک ایالات متحده آمریکا را بررسی و ملاحظه کردند که به‌طور متوسط مجموع رسوب ۲۵ روز حداکثر در کل دوره اندازه‌گیری، سهمی بیش از ۵۰ درصد

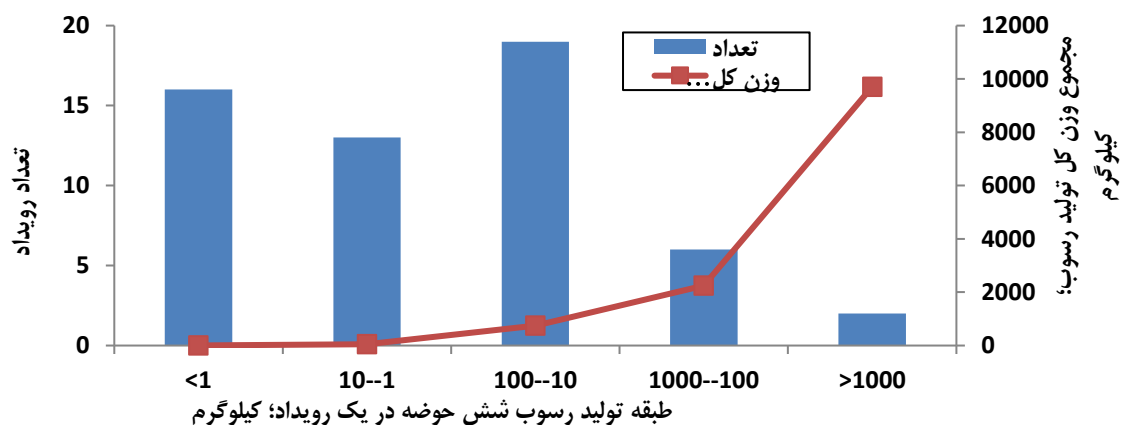
همانند فرسایش، مقدار رسوب اندازه‌گیری شده نیز چه به‌صورت رویدادی و چه به‌صورت سال به سال، از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کند و عمده رویدادها حامل رسوب کمی هستند که با چند مثال از رسوب‌سنجی‌های انجام شده در سطح جهان و ایران تشریح می‌شود. فنگ و همکاران (۲۰۱۳) در آبخیز کوچک ۱۶/۷ کیلومتر مربعی Wangjiaqiao چین بر اساس ۱۶ سال اندازه‌گیری مداوم دبی و رسوب ملاحظه کردند که از مجموع ۲۰۵ رویداد بارندگی منجر به رواناب، ۱۰ رویداد بزرگ‌تر به تنهایی ۸۳/۳ درصد از کل رسوب را انتقال داده است. آن‌ها دلیل

تداوم رسوب گرگانرود در قزاقلی (مساحت حوضه حدود ۷۰۰۰ کیلومتر مربع) و حوضه کوچک Sg. Pangsun (مساحت ۲/۶ کیلومتر مربع) مالزی مشاهده کرد که در یک درصد کل زمان، ۴۵ درصد از رسوب معلق حمل شده است. Chiu و همکاران (۲۰۱۹) با تاکید بر نقش مخاطرات طبیعی نظیر سیل و زلزله را در تولید رسوب، گزارش کردند که پس از بارش بسیار شدید ۱۶۰۰ میلی‌متری در طوفان استوایی Aere در سال ۲۰۰۴ در حوزه آبخیز سد Shihmen، ۱۰ درصد از حجم مخزن بواسطه رسوبگذاری کاهش یافت. این مقدار رسوبگذاری به تنهایی حدود ۳۰ درصد از کل حجم کاهش یافته سد مذکور در طی ۵۲ سال را تشکیل می‌دهید.

نتایج هر شش تحقیق گزارش شده، نقش رویدادهای استثنایی در حمل رسوب عمدتاً بر اساس آمار غلظت رودخانه‌ها را روشن می‌کند. در ادامه نتایج تحقیقات انجام شده در آبخیزهای کوچکتر به روش اندازه‌گیری رسوبات نهشته شده در مخازن تشریح می‌شود. شکل ۲ سهم تولید رسوب ۵۶ رویداد ثبت شده در ۶ حوضه کوچک تحقیقاتی واقع در سنگانه خراسان رضوی را نشان می‌دهد. داده‌های موجود در پنج طبقه با مقیاس لگاریتمی گروه‌بندی شده‌اند. همان‌گونه که در این شکل ملاحظه می‌شود به‌طور کلی در طبقات کوچک‌تر، تعداد رویدادها بیشتر و در مقابل مقدار کل رسوبدهی کم‌تر است به‌طوری که مجموع رسوب دو رویداد در طبقه ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ کیلوگرم بسیار بالاتر از مجموع رسوب ۵۴ رویداد دیگر است.

در حمل رسوب دارد. این در حالی است که در رودخانه‌های منطقه California که اقلیمی شبه‌مدیترانه‌ای دارد، در طی ۲۵ روز حداکثر، ۷۶ درصد از کل رسوب منتقل می‌شود. بررسی این محققین نشان داد که در حوضه‌های کوچکتر از ۱۰۰ کیلومتر مربع سهم روزهای حداکثر در حمل رسوب مستقل از منطقه هیدرولوژیک است. به عبارت دیگر، احتمال وقوع رگبارهای کوتاه‌مدت در سطوح کوچک در همه مناطق جغرافیایی و اقلیمی وجود دارد. مارکوس و دمیسی (۲۰۰۶) با بررسی آمار رسوب ۲۷ رودخانه کوچک و متوسط در Illinois آمریکا دریافتند که به‌طور متوسط ۳۲، ۴۹، ۶۱ و ۶۸ درصد از کل رسوب سالانه به‌ترتیب توسط بزرگ‌ترین سیل، دو سیل بزرگ‌تر، سه سیل بزرگ‌تر و چهار سیل بزرگ‌تر انتقال می‌یابد.

عرب‌خدری و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی سهم دهک‌های احتمال وقوع جریان در حمل رسوب هفت رودخانه در ایران، ملاحظه کردند که بالاترین دهک به تنهایی مسئول انتقال حدود ۶۲ تا ۸۵ درصد از انتقال رسوب است. در نگاهی کلی، عامل انتقال عمده رسوب در هر هفت ایستگاه به دو یا سه دهک بالای جریان مربوط است. در مقابل، در بیش‌تر موارد، مجموع رسوب حمل شده توسط پنج دهک پایین جریان، به پنج درصد نیز نمی‌رسد و انتظار می‌رود جریان نسبتاً صاف و زلالی داشته باشد. به این ترتیب، می‌توان نتیجه گرفت که با تمرکز روی رسوب دبی‌های بالا و به‌طور خاص بالاترین دهک احتمال وقوع جریان، تحلیل روند رسوب با کیفیت بهتری قابل انجام است. عرب‌خدری (۲۰۰۹) با تحلیل منحنی‌های



شکل ۲- تعداد رویداد و مجموع رسوب به تفکیک طبقات تولید رسوب در ایستگاه تحقیقاتی سنگانه

تعداد سال‌های پس از احداث بند است. فقط در بند عمروان به‌طور متوسط هر سال یک لایه رسوب تشخیص داده شده است. در استان لرستان با اقلیم نیمه‌خشک نیز تقریباً همین وضعیت وجود دارد و فقط در دو بند تعداد لایه‌های نهشته شده به‌طور متوسط مساوی یا بیش‌تر از عمر آن‌ها است.

جدول‌های ۱ و ۲ به‌ترتیب تعداد رویداد قابل تشخیص از طریق بررسی لایه‌بندی نهشته‌های رسوبی پشت چند بند خاکی در استان‌های سمنان (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۵) و لرستان (پیامنی و همکاران، ۱۳۹۶) را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که در سمنان با اقلیم خشک، تعداد لایه‌های قابل تشخیص رسوب بندها عمدتاً کم‌تر از

جدول ۱- تعداد رویداد قابل تشخیص از طریق بررسی لایه‌بندی نهشته‌های رسوبی پشت چند بند خاکی در استان سمنان (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۵)

نام بند	عمر بند (سال)	مساحت آبخیز (هکتار)	حداکثر تعداد رویداد	حداقل تعداد رویداد
سولدره شرقی	۲۰	۹۳/۵	۱۶	۱۳
سولدره غربی	۲۰	۹۲/۲	۱۱	۱۰
ابراهیم آباد	۱۹	۵۰۷/۸	۶	۴
رویان	۱۹	۵۳۸/۸	۷	۷
علی آباد	۱۹	۱۳۹/۳	۸	۸
عمروان	۱۹	۱۰۲/۶	۱۹	۱۵
وینکه	۱۷	۱۵۳۶/۰	۱۲	۵
مارچشمه	۱۸	۳۴۱۷/۵	۶	۲
ارمیان	۱۹	۱۱۱۶/۴	۱۶	۱۲

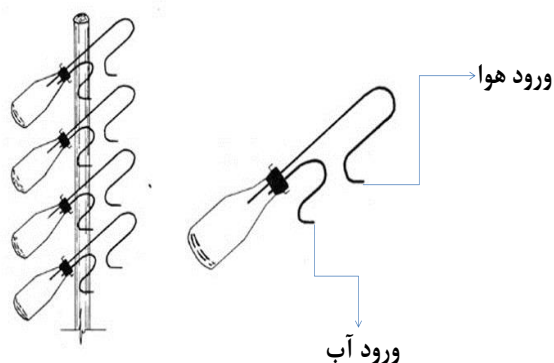
جدول ۲- تعداد رویداد قابل تشخیص از طریق بررسی لایه‌بندی نهشته‌های رسوبی پشت چند بند خاکی در استان لرستان (پیامنی و همکاران، ۱۳۹۶)

نام بند	عمر بند (سال)	مساحت آبخیز (هکتار)	تعداد رویداد	سهم مهم‌ترین رویداد
دوگر	۱۲	۲۱۶۷/۴	۹	۸۴
سرفراش	۱۳	۴۰۴/۶	۹	۵۱
تنگ‌بره	۱۸	۱۳۹۹/۵	۸	۶۰
دارابی	۱۴	۲۵۴/۲	۱۹	۲۲
قلعه‌چند	۱۳	۱۰۳۴/۴	۱۳	۶۷
ریمله	۱۵	۲۸/۴	۸	۳۷

پایش در آبراهه

در اندازه‌گیری جریان و رسوب در آبخیزهای کوچک به‌دلیل کم بودن مقدار جریان، مقطع طبیعی آبراهه غیر هندسی بوده و سبب خطا در هر نوع اندازه‌گیری می‌شود. به این جهت باید مقطع مناسب با احداث پارشال فلوم یا هر نوع فلوم دیگر در نظر گرفته شود. در خروجی حوضه‌های زوجی، فلومی در نظر گرفته شده و روی آن لیمینوگراف نصب شده است (اداره کل امور اجرائی آبخیزها، اداره حوزه‌های معرف و نمایشی، ۱۳۷۹). استفاده

شیوه‌های اندازه‌گیری مؤثر رسوب معلق در حوضه‌های کوچک با توجه به موقتی بودن جریان در حوضه‌های کوچک، امکان استفاده از روش‌های معمول در آبخیزهای بزرگ برای اندازه‌گیری رسوب یعنی نمونه برداری ادواری وجود ندارد؛ بنابراین، راهبرد اصلی اندازه‌گیری رسوب باید بر پایش دائم یا ثابت به موقع با نصب تجهیزات ویژه یا نهشتن رسوب برای اندازه‌گیری در زمان مناسب بعدی باشد که در ادامه تشریح می‌شود.



شکل ۳- نمونه‌گیر رسوب جریان‌های موقتی (Hudson ۱۹۹۳)

روش دیگر استفاده از نمونه‌بردارهای تلمبه‌ای خودکار است (والینگ، ۱۹۹۴) که نمونه‌ای از آن در شکل ۴ مشاهده می‌شود. در این روش با برنامه زمان‌بندی شده می‌توان از سیلاب نمونه برداشت. اضافه کردن تشخیص‌گر^۱ جریان برای شروع نمونه‌برداری بسیار مهم است. فاصله زمانی نمونه‌برداری باید به‌گونه‌ای باشد که تغییرات انتقال رسوب توسط جریان آب به طور کامل ثبت شود. در حوضه‌های خیلی کوچک چند هکتاری حدود ۱۵ دقیقه و در حوضه‌های چند کیلومتر مربعی حدود یک ساعت پیشنهاد می‌شود. سیلاب حامل خار و خاشاک و جلبک است که ممکن است با گیر کردن در محل ورود آب این نوع نمونه‌بردار (و همچنین نوع قبلی) متع از ورود رسوب شود؛ بنابراین نظارت بر این نمونه‌بردارها در مدت جریان سیل و پس از آن ضرورت دارد.

از سرریز به دلیل کند شدن سرعت جریان و احتمال نهشتن بخشی از رسوب به هیچ وجه صحیح نیست. چنانچه، در زمان حضور متصدی مستقر در منطقه، جریان آب درون آبراهه مشاهده شود، امکان برداشت نمونه از جریان رودخانه به‌وسیله ابزار و روش استاندارد وجود دارد حال آن‌که به دلیل پاسخ هیدرولوژیک سریع حوضه‌های کوچک، احتمال ثبت داده‌های ناشی از بارش‌های شبان‌گاهی میسر نیست. یک روش متداول برای اندازه‌گیری بار معلق رسوب در زمان رویدادهای سیلابی در غیاب مأمور، استفاده از نمونه‌گیرهای نصب شده در مسیر است (هادسون، ۱۹۹۳). این نمونه‌گیرها که نسبتاً ارزان هستند، بطری‌هایی از جنس پلاستیک هستند که با فواصل معینی روی پایه چوبی یا فلزی نصب می‌شوند تا نمونه در ترازهای مختلف سطح جریان جمع‌آوری شود (شکل ۳). در دستورالعمل حوضه‌های زوجی، این روش برای اندازه‌گیری رسوب معلق پیشنهاد شده است (اداره کل امور اجرائی آبخیزها، اداره حوزه‌های معرف و نمایشی، ۱۳۷۹). در این روش، پس از پر شدن بطری، جریان به داخل بطری قطع می‌شود؛ بنابراین، مقدار رسوب جمع‌آوری شده در هر یک از بطری‌ها تا حدی نشان‌دهنده غلظت رسوب شاخه صعودی هیدروگراف می‌باشد که پایین‌تر از ارتفاع مورد نظر جریان داشته است. لازم است بلافاصله پس از هر سیلاب، بطری‌ها را تخلیه و برای نمونه‌گیری بعدی آماده کرد.



شکل ۴- دستگاه خودکار نمونه‌بردار رسوب (شرکت علمی چمپیل، ۲۰۱۹)

روش‌های آماری نمونه‌برداری

نمونه‌ای پیشنهاد شده است. برای فهم بهتر روش آمارگیری نمونه‌ای باید با تعاریف جامعه و نمونه آشنا شد. در واقع می‌توان غلظت رسوب یک رودخانه در طول زمان را یک جامعه آماری فرض کرد که هر بازه کوچک زمانی یک واحد نمونه‌گیری را تشکیل می‌دهد. معمولاً بیشتر جوامع آماری مثل جامعه انسانی مقیاس مکانی دارند، حال آن‌که جامعه رسوب معلق از مقیاسی زمانی برخوردار است. در جدول ۳ پاره‌ای از مفاهیم آماری به جوامع زمانی تطبیق داده شده است.

به دلیل محدودیت وقوع رویدادهای مهم در آبخیزهای کوچک مناطق خشک و نیمه‌خشک از یک سو و تغییرات شدید دبی و رسوب از سوی دیگر جمع‌آوری تعداد زیادی داده معتبر نیازمند گذشت سال‌های طولانی است؛ بنابراین، برآورد رسوب در این حوضه‌ها با استفاده از منحنی سنجه رسوب امری دشوار است (کمیت پسیفیک سوت وست، ۱۹۶۸). در نبود روش منحنی سنجه رسوب، چند روش آماری جایگزین با اتکا به طرح‌های آمارگیری

جدول ۳- تطبیق پاره‌ای از اصطلاحات فنی آمارگیری نمونه‌ای برای مطالعه رسوب رودخانه‌ها

شماره	اصطلاح	تعریف
۱	جمعیت	اندازه‌گیری‌های مداوم زمانی از غلظت رسوب معلق یا بار رسوبی در دوره زمانی مورد مطالعه. یک جامعه به N بازه زمانی یا واحد نمونه‌گیری تقسیم می‌شود.
۲	واحد نمونه‌گیری	واحد نمونه‌گیری به بازه زمانی کوتاهی دلالت می‌کند که تغییرات بار رسوبی در آن زیاد نباشد. مدت هر بازه در سرشاخه‌های کوچک از چند دقیقه تا چند روز در رودخانه‌های بزرگ متغیر است (توماس، ۱۹۸۵)
۳	واحد مشاهداتی	هر واحد مشاهداتی یک نمونه کوچک آب در حد یک لیتر است که در طول مدت هر واحد نمونه‌گیری با استفاده از نمونه‌بردار خاص رسوب معلق برداشته می‌شود به طوری که معرف کل مقطع عرضی رودخانه باشد.
۴	جامعه هدف	مجموعه اندازه‌گیری‌های دوره مورد مطالعه جامعه هدف را شکل می‌دهد.
۵	گروه نمونه	تمام نمونه‌های برداشت شده مطابق یک برنامه نمونه‌گیری در کتب درسی، نمونه (Sample) نامیده می‌شود. در این مقاله برای اجتناب از هر گونه اشتباهی از عبارت "گروه نمونه (Sample set)" استفاده شده است.
۶	اندازه گروه نمونه	اندازه گروه نمونه یعنی تعداد n اندازه‌گیری از جامعه هدف که گروه نمونه را تشکیل می‌دهند.

در پی دارد. برای حل مشکل، روش "انتخاب در زمان فهرست کردن" (SALT) که مبتنی بر طرح نمونه‌گیری احتمال متناسب با اندازه است (توماس، ۱۹۸۵) معرفی شده است. با استفاده از این روش نمونه‌گیری آماری، با برداشت تعداد بسیار کم‌تری نمونه در مقایسه با روش نمونه‌گیری تقویمی (به‌عنوان روش پایه آماری) می‌توان به نتایج صحیح‌تری دست یافت. در روش آمارگیری نمونه‌ای موسوم به SALT (توماس، ۱۹۸۵)، احتمال انتخاب هر واحد نمونه‌گیری متناسب با وزن رسوبی است که قرار است حمل شود. به عبارت دیگر، به یک متغیر کمکی نیاز وجود دارد که می‌تواند دبی یا مقدار رسوب تخمینی بر اساس منحنی سنجه رسوب تقریبی باشد. به تدریج و با برداشت تعدادی نمونه می‌توان کیفیت متغیر کمکی و در نتیجه نمونه‌برداری را بهبود بخشید. برآورد کننده

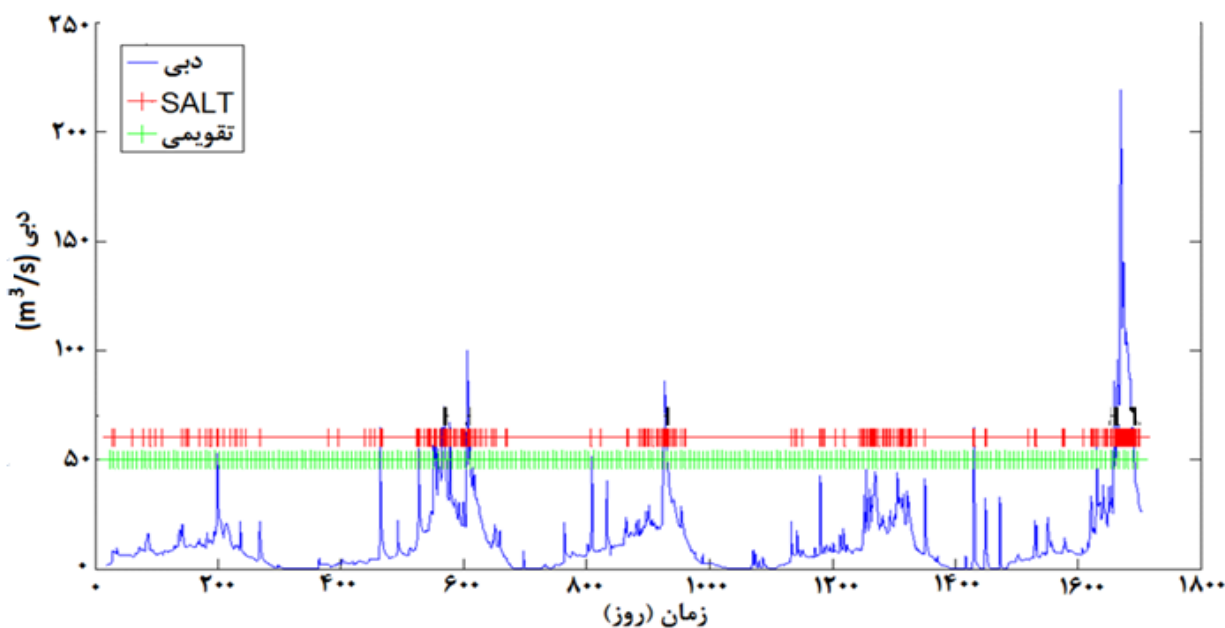
هر روش آمارگیری نمونه‌ای از دو بخش تشکیل می‌شود. بخش اول، برنامه زمانی نمونه‌گیری از رودخانه را روشن می‌کند. در حالی که بخش دوم، برآوردکننده‌های مخصوصی هستند که برای برآورد رسوبدهی و انحراف از معیار آن به کار می‌روند. در واقع این روش‌ها قادر هستند که برآوردی ناریب از میانگین رسوبدهی سالانه ارائه دهند و حتی دقت آن را نیز مشخص کنند. اگر خیلی ساده، اندازه‌گیری غلظت به صورت کاملاً تصادفی یا با اتکا به برنامه تقویمی که شبیه نمونه‌گیری سیستماتیک زمانی است انجام گیرد، سپس با استفاده از روابط معمول می‌توان مجموع تولید رسوب و میانگین (با تقسیم حاصل جمع بر تعداد) را محاسبه کرد. با توجه به تغییرات سریع دبی و غلظت رسوب، برای آنکه این روش‌ها دقت کافی داشته باشند باید تعداد نمونه خیلی زیاد باشد که هزینه زیادی را

برآورد به‌دست‌آمده از روش متداول (تلفیق منحنی سنجه رسوب متکی به نمونه‌های تقویمی با دبی جریان روزانه) است (عرب‌خدری، ۲۰۰۹).

تله‌اندازی رسوب

تله‌اندازی به دو روش استفاده از مخازن و بندهای رسوب‌گیر امکان‌پذیر است. شکل ۶ نمونه‌ای از مخزن اندازه‌گیری رسوب واقع در انتهای یکی از زیرحوضه‌های ایستگاه تحقیقات فرسایش خاک سنگانه را نشان می‌دهد. پس از هر بارش، حجم رسوب خیس اندازه‌گیری و نمونه‌ای مخلوط به آزمایشگاه ارسال و پس از تعیین رطوبت، وزن خشک رسوب تعیین می‌شود.

Hansen-Hurwitz برای برآورد رسوب در این روش به کار می‌رود. تاکید مجدد بر این نکته لازم است که این روش همراه با نمونه‌برداری تلمبه‌ای و اشل دارای حساسه که به یک کامپیوتر متصل باشند قابلیت کاربرد دارد. برای استفاده از روش SALT لازم است برنامه کامپیوتری نوشته شود. در شکل ۵ شمایی از برداشت ۲۵۰ نمونه از جامعه ۱۸۰۰ تایی داده‌های روزانه مشاهداتی ایستگاه قزاقلی روی گرگانرود به دو روش SALT و تقویمی مقایسه شده است که حاکی از تمرکز بیشتر نمونه‌برداری از دبی‌های بالا با روش SALT است. در جدول ۴ برآوردهای دو روش در این ایستگاه با مقدار واقعی برآمده از ۱۸۰۰ مشاهده مقایسه شده است که حاکی از مزیت مطلق روش SALT در مقایسه با



شکل ۵- الگوی نمونه‌برداری دو روش SALT و روش تقویمی (عرب‌خدری، ۲۰۰۹)

جدول ۴- خلاصه نتایج ۵۰ برآورد رسوبدهی معلق به دو روش مختلف با تکرار نمونه‌گیری از ۱۸۰۰ نمونه برداشت شده در پنج سال از ایستگاه قزاقلی روی گرگانرود (عرب‌خدری، ۲۰۰۹)

روش برآورد	میانگین برآورد (تن)	انحراف از معیار (تن)	متوسط درصد خطا نسبت به مقدار مشاهده‌ای	ضریب تغییرات (%)	مجذور مربعات خطای نرمال شده
روش متداول*	۳۹۸۲۱۳۷	۶۰۵۶۸	-۷۶	۲	۰/۷۶
SALT	۱۲۰۳۵۰۹۶	۱۶۰۵۴۳۷	-۴	۱۳	۰/۱۳

* تلفیق منحنی سنجه رسوب متکی به نمونه‌های تقویمی با دبی جریان روزانه



شکل ۶- نمونه‌ای از مخزن سه قسمتی اندازه‌گیری رسوب در یکی از زیرحوضه‌های ایستگاه تحقیقات فرسایش خاک سنگانه

منظور، تعبیه دریچه شیردار و لوله تخلیه جریان ضرورت دارد. پس از پر شدن نسبی مخزن بند، می‌توان رسوبات را تخلیه کرد. سه روش مختلف برای اندازه‌گیری حجم نهشته‌های رسوبی به کار می‌رود.

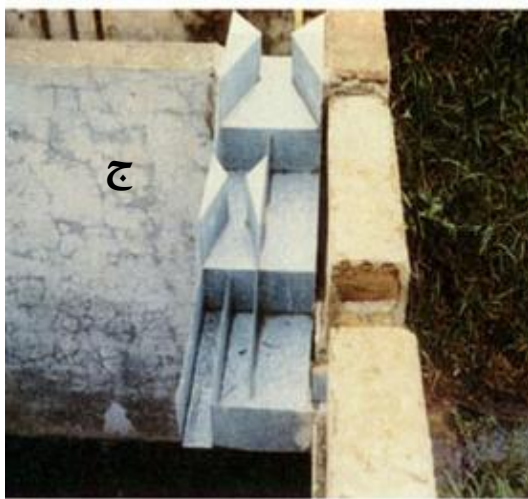
الف) استفاده از نقشه‌برداری مجدد: این روش موقعی به کار می‌رود که نقشه اولیه قبل از بهره‌برداری بند تهیه شود.

ب) روش شبکه عمق‌سنجی: در مواردی که نقشه اولیه موجود نباشد، می‌بایست مطابق شکل ۸ در سطح رسوبات مخازن بندها تعدادی عمق‌سنجی انجام گیرد. جزئیات این روش از قبیل فاصله عمق‌سنجی‌ها توسط هاشمی و همکاران (۱۳۹۵) تشریح شده است.

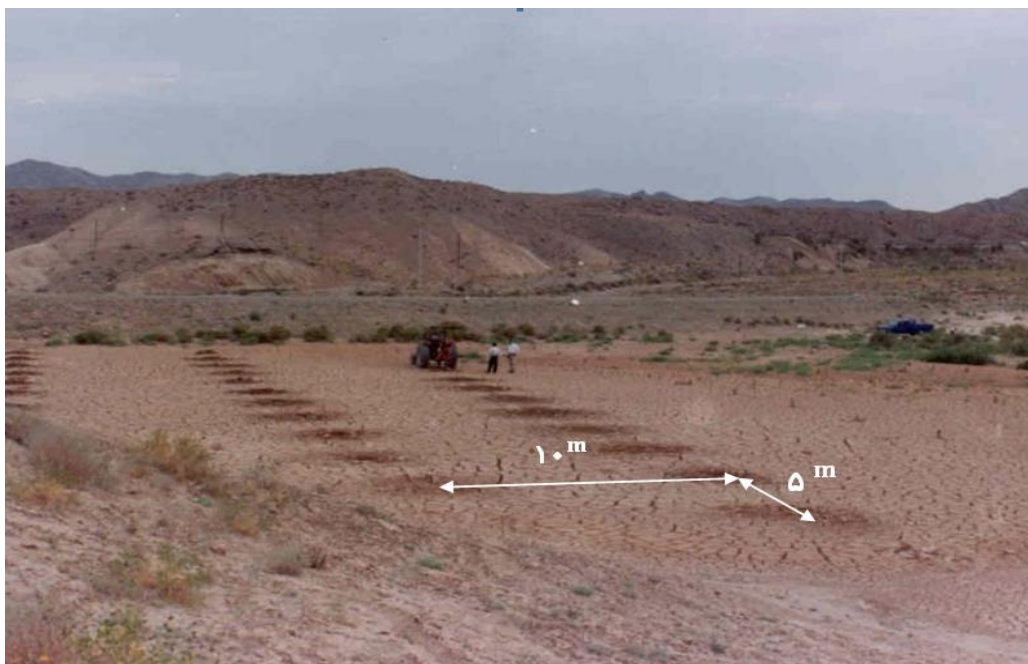
ج) روش میخ و واشر: در این روش میخ‌های بلند با ارتفاع مشخص در بستر دریاچه بند نصب می‌شود. دارازی میخ طوری در نظر گرفته می‌شود که در اثر رسوبگذاری به سهولت مدفون نشود. پس از خشک شدن سطح رسوبات عمق رسوب‌گذاری اندازه‌گیری می‌شود. شکل ۹ آرایش محل نصب میخ‌ها مشابه روش عمق‌سنجی را نشان می‌دهد.

از آنجایی که حجم مخازن بتنی احداث شده محدود و حداکثر چند مترمکعب است، لذا این روش مناسب حوضه‌های بسیار کوچک می‌باشد. همان‌گونه که در شکل ۶ ملاحظه می‌شود طی یک واقعه شدید بارشی حجم زیادی رواناب و رسوب از حوضه یک هکتاری وارد مخازن شده و جریان آب و رسوب از آن سرریز نموده است. در این شرایط برآورد دقیقی از میزان هدررفت خاک حاصل نخواهد شد. برای رفع این مشکل می‌توان از تقسیم نمودن جریان و ورود درصدی از آن به مخازن بهره جست. در شکل ۷ چند نمونه تقسیم کننده جریان نشان داده شده است.

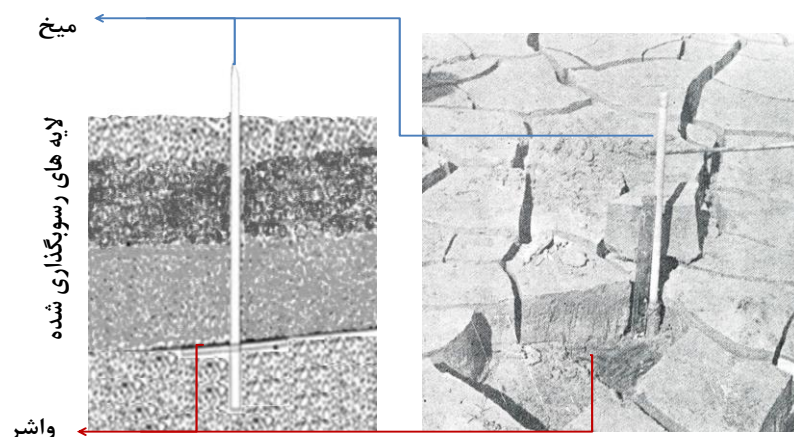
در روش تله‌اندازی رسوب پشت بند، لازم است بندی بتنی یا خاکی در خروجی حوضه مورد نظر احداث شود. طراحی ارتفاع و حجم مخزن طوری انجام می‌گیرد که جریان آب و رسوب از آن‌ها سرریز نداشته باشد و تمامی رسوبات در مخزن این بندها ته‌نشست شوند. با هدف تعیین حجم رسوب هر رویداد، لازم است جریان زلال شده (پس از نهشتن کامل رسوب معلق) تخلیه و پس از خشک شدن کامل رسوب‌سنجی انجام شود. به این



شکل ۷- چند نوع تقسیم‌کننده جریان مورد استفاده در حوزه‌های آبخیز کوچک (هادسون، ۱۹۹۳)



شکل ۸- الگوی حفر چاله‌ها در مخزن بند با تراکتور (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۵)



شکل ۹- نمونه‌ای از میخ و واشر

به دلیل پاسخ سریع هیدرولوژیک، چنانچه امکان تهیه و نصب نمونه بردارهای خودکار نباشد، استفاده از مخازن بتنی و ذخیره درصد مشخصی از جریان به عنوان راهکار مناسبی پیشنهاد می‌شود. در آبخیزهای بزرگتر چند ده هکتاری تا چند کیلومتر مربعی از جمله در حوضه‌های معرف و زوجی سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور نیز علاوه بر نصب نمونه بردار خودکار، می‌توان در انتهای حوضه از بندهای خاکی و بتنی برای جمع‌آوری کامل رواناب و رسوب آبخیز بالادست استفاده نمود و با بررسی لایه‌ها و عمق آن‌ها وضعیت فرسایشی منطقه را مورد بررسی قرار داد.

پیشنهاد‌های ترویجی

با توجه به اهمیت پایش صحیح و جمع‌آوری داده‌های فرسایش و رسوبدهی در کشور به خصوص در حوضه‌های کوچک توصیه می‌شود کارشناسان آبخیزداری سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری در این خصوص اهتمام نمایند. وجود هزاران بند مخزنی و تنظیمی احداث شده در قالب طرح‌های آبخیزداری، فرصت مناسبی برای پایش ادواری رسوبات نهشته شده را ایجاد کرده است که می‌تواند کمک شایانی به غنی شدن اطلاعات فرسایش و رسوب کشور کند. توصیه دیگر تفکیک لایه‌های رسوب و تعیین حجم هر لایه با حفر پروفیل در مخازن است تا اهمیت سهم رویدادهای مهم مشخص شود.

پس از تعیین عمق رسوبات در هر یک از نقاط شبکه فرضی، و با لحاظ فاصله نقاط، حجم رسوبات تعیین می‌شود. برای تبدیل حجم رسوبات مخازن بندها به جرم، اطلاع از جرم مخصوص رسوبات ضرورت دارد. حداقل دو نمونه یکی برای رسوبات دریاچه‌ای (ریزدانه) و دیگری برای رسوبات دلتایی (درشت دانه) لازم است.

نتیجه‌گیری

عمده رسوب در حوزه‌های آبخیز کوچک مناطق خشک و نیمه خشک توسط جریان‌های موقتی در مدت زمان کوتاهی انتقال پیدا می‌کند. در این حوضه‌ها دبی پایه به ندرت وجود دارد و جریان‌های گل‌آلود بلافاصله پس از وقوع رگبارها و در موارد نادر پس از ذوب سریع برف مشاهده می‌شوند. بر اساس مشاهدات موجود می‌توان بیان کرد که در آبخیزهای کوچک مناطق خشک و نیمه‌خشک، به‌طور متوسط تعداد رویدادهای مهم در سال به یک مورد نیز نمی‌رسد؛ بنابراین، از دست دادن هر یک از رویدادها می‌تواند دقت برآورد رسوبدهی حوضه را دچار مشکل سازد. هم‌چنین با توجه به نادر بودن رگبارهای بسیار شدید که بیش‌ترین سهم را در تولید رسوب دارند، در نظر گرفتن طول زمانی مناسب (حتی در حد چند ده سال) برای رسیدن به متوسط سالانه معتبر لازم است. نکته مهم در محاسبه متوسط رسوبدهی سالانه آن است که نباید داده‌های حداکثر، پرت تلقی شده و تنها به دلیل تفاوت با میانگین داده‌ها از تحلیل‌ها حذف شوند. در حوضه‌های کوچک چندهکتاری،

فهرست منابع

۱. اداره کل امور اجرائی آبخیزها، اداره حوزه های معرف و نمایشی. ۱۳۷۹. اصول و مبانی طرح استقرار و راه اندازی حوزه های معرف و نمایشی در سطح کشور. معاونت آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی. ۳۲۶ ص.
۲. پیامنی، ک.، ا. ویسکرمی، م. زند، ع. شاه‌کرمی، ط. فرهادی‌نژاد. ۱۳۹۶. واسنجی مدل‌های تجربی PSIAC و MPSIAC از طریق بررسی رسوب مخازن بندهای کوچک در حوضه‌های شمال غرب و غرب ایران- استان لرستان. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. ۱۰۴ ص.
۳. عباسی، ع.ا.، ج. پرهمت و ا. خوش‌بزم. ۱۳۹۳. بررسی پتانسیل تولید رواناب در حوضه های آبخیز کوچک (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سنگانه کلات). سامانه‌های سطوح آبیگر باران. ۲ (۳): ۱۳-۲۲.
۴. عرب‌خداری، م. ۱۳۹۷. امکان برآورد فرسایش متوسط سالانه درازمدت مبتنی بر اندازه‌گیری فرسایش حاصل از چند رخداد بارندگی. ترویج و توسعه آبخیزداری. ۱۱: ۷-۱۵.
۵. عرب‌خداری، م. ۱۳۹۳. مروری بر عوامل موثر بر فرسایش آبی خاک در ایران. نشریه علمی-ترویجی مدیریت اراضی. ۲(۱): ۱۷-۲۶.
۶. عرب‌خداری، م.، ک. صدارتی و ا. اسمعیلی. ۱۳۹۳. بررسی روند تغییرات رسوب معلق در ایران. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. شماره ثبت سازمان تحقیقات ترویج و آموزش کشاورزی ۴۴۳۱۰. ۱۰۸ ص.
۷. نور، ح. و س.ح.ر. صادقی. ۱۳۹۰. مدل سازی رسوب نگار واحد لحظه‌ای. تحقیقات منابع آب ایران. ۷ (۴): ۶۲-۷۰.
۸. هاشمی، ع. ا.، م. قدرتی، ب. ارسطو، ا. جعفری و ح. غلامی. ۱۳۹۵. واسنجی مدل‌های تجربی PSIAC و MPSIAC از طریق بررسی رسوب مخازن بندهای کوچک در ایران- استان سمنان. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. ۸۹ ص.
9. Arabkhedri, M. 2009. Sampling designs and estimation methods for sediment load prediction in two rivers in Iran and Malaysia. PhD Thesis, University Putra Malaysia. 236 p.
10. Bagarello, V. Carollo, F. G. Di Stefano, C. Ferro, V. Giordano, G. Lovino, M. and Pampalone, V. 2016. Twenty years of scientific activity at Sparacia experimental area. Translators: Kiani-Harchegani, M. and S. Kiani-Harchegani. Pajhouhesh Bartar Publications. 200 p.
11. Campbell Scientific Co. 2019. Vacuum pump water sampler line acquired, <https://www.campbellsci.com.au/water-samplers-new>.
12. Chiu, Y.-J.; Lee, H.-Y.; Wang, T.-L.; Yu, J.; Lin, Y.-T.; Yuan, Y. 2019. Modeling sediment yields and stream stability due to sediment-related disaster in Shihmen reservoir watershed in Taiwan. *Water*, 11(2), 1-22.
13. Fang, N-F. Shi, Z-H. Yue, B-J. and Wang, L. 2013. The characteristics of extreme erosion events in a small mountainous watershed. *PLoS ONE* 8(10): e76610. doi:10.1371/journal.pone.0076610
14. Gallart, F. Llorens, P. Latron, J. and Regüés, D. 2002. Hydrological processes and their seasonal controls in a small Mediterranean mountain catchment in the Pyrenees. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 6(3): 527-537.
15. Gonzalez-Hidalgo, J.C. Batalla, R.J. Cerda A. and de Luis, M. 2012. A regional analysis of the effects of largest events on soil erosion. *Catena*, 95: 85-90.
16. Hudson, N.W. 1993. Field measurement of soil erosion and runoff. *FAO Soils Bulletin* 68, 139 pp.
17. Lane, L.J. 2007. The role of large storms in determining mean annual sediment yield. In: R.I. Barnhisel (Ed.), *Proceedings of National Meeting of the American Society of Mining*

- and Reclamation, Gillette, WY, 30 Years of SMCRA and Beyond, June 2-7, 2007. Published by ASMR. 403-412.
18. Markus, M. and Demissie, M. 2006. Predictability of annual sediment loads based on flood events. *Journal of Hydrologic Engineering* 11(4): 354-361.
 19. Mayor, A.G. Bautista, S. Bellot, J. 2011. Scale dependent variation in runoff and sediment yield in a semiarid Mediterranean catchment. *Journal of Hydrology*, 397: 128-135.
 20. Nearing, M. A. Nichols, M. H. Stone, J. J. Renard, K. G. and Simanton, J. R. 2007. Sediment yields from unit source semiarid watersheds at Walnut Gulch. *Water Resources Research*, 43(6).
 21. Noor, H. and Rostami Khalaj, M. 2018. Improving MUSLE performance for sediment yield prediction at micro-watershed level using seasonal classified data. *Water Practice and Technology*, 13(3), 505-512.
 22. Pacific South-West Inter Agency Committee. 1968. Report on factors affecting sediment yield in the Pacific Southwest area. Water Management Sub-committee, Sedimentation Task Force.
 23. Thomas, R. B. 1985. Estimating Total Suspended Sediment Yield with Probability Sampling. *Water Resources Research*. 21: 1381-1388.
 24. Toy, T. J. Foster G. R. and Renard K. G. 2002. *Soil Erosion, Processes, Prediction, Measurement and Control*. John Wiley & Sons. Washington, D.C.
 25. Wischmeier, W. H. 1962. Storms and soil conservation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 17(2): 55-59.
 26. Zachar, D. 1982. *Soil Erosion*. Elsevier, Amsterdam.
 27. Walling, D.E. 1994. Measuring sediment yield from river basins. In: Lal, R. (Ed), *Soil Erosion Research Methods*. Soil and Water Conservation Society. 39-73.

Technical Remarks on Sediment Measurement at the Outlet of Small Watersheds

M. Arabkhedari[\], H. Noor, and A. A Abbasi

Assoc. Prof., Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, AREEO[†]

arabkhedri@scwmri.ac.ir

Asst. Prof., Agriculture and Natural Resources Research and Education Center of Khorasan Razavi Province,

AREEO. *h.noor@areeo.ac.ir*

Assoc. Prof., Agriculture and Natural Resources Research and Education Center of Khorasan Razavi Province,

AREEO. *ak_abbasi@yahoo.com*

Received: May 2019 and Accepted: January 2020

Abstract

Soil erosion and sedimentation measurements and evaluation of the temporal and spatial data thus obtained are crucial for advancing the knowledge on soil erosion, evaluating relevant models, and designing soil erosion experiments. Extensive temporal changes in erosion and sediment yields, particularly in small watersheds, require special technical provisions to ensure accurate records. Based on the existing records, maximum events, or even a single one (with a high return period), play an important role in altering average sediment yields in river basins. It is, therefore, necessary to collect long-term data in order to derive a reliable average value for sediment yield under natural conditions. The present paper explores such technical considerations in measuring sediment yields in small experimental watersheds. For this purpose, two simple and automatic sediment samplers and a flow divider are introduced for measuring suspended sediments. It is also shown that concrete tanks and small reservoir dams need to be constructed at the outlets of the experimental watersheds. Finally, different methods used for measuring total load (including bed and suspended loads) are described.

Keywords: Experimental watershed, Sediment measurement, Maximum event

[\] Corresponding Author: Water and Soil Conservation Department, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education, and Extension Organization, Tehran, Iran. P. O. Box: 13445-1136

[†] Agricultural Research, Education, and Extension Organization