پژوهش‌های آبخیزداری

دوره‌ی۳۵، شماره‌ی ۴، شماره‌ی پیاپی ۱۳۷، زمستان ۱۴۰۱، صفحه‌های ۱۹-۲
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmrj.2022.357183.1451

مقاله‌ی پژوهشی

CC BY

ارزیابی سازه‌های آبخیزداری در ترسیب رسوب آبخیزهای خور-سفیدارک، فشند و عظیمیه، استان البرز

مجید کاظم‌زاده

(نویسنده‌ی مسئول)* دانش‌آموخته‌ی دکترای علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تهران

زهرا نوری

دانش‌آموخته‌ی دکترای علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تهران

محمد جهان‌تیغ

دانش‌آموخته‌ی کارشناسی‌ارشد خاک‌شناسی، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه تهران

اصغر بیات

دانش‌آموخته‌ی کارشناسی‌ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه تهران

سلما ساعدی‌فرکوش

دانش‌آموخته‌ی کارشناسی‌ارشد توسعه‌ی روستایی، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: mkazemzadeh@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۳۰ آذر ۱۴۰۰ تاریخ پذیرش: ۲۰ اسفند ۱۴۰۰

چکیده

هدف از این پژوهش ارزیابی‌کردن اثربخشی اقدام‌های آبخیزداری با اندازه‌های کَمّی به‌دست‌آمده از پژوهش‌های میدانی در آبخیزهای خور-سفیدارک، فشند و عظیمیه، و دادن نتیجه‌ی روشنی از اندازه‌ی رسوب مهارشده و تقویت پوشش گیاهی آبگیرهای پشت سازه‌ها است. ارزیابی میدانی سازه‌های آبخیزداری نشان داد که از دهه‌ی ۱۳۷۰ به‌بعد در مجموع ۶۵۲ سازه‌ی تور-سنگی، ۲۰ سازه‌ی سنگی-ملاتی، ۵۳۳ سازه‌ی خشکه‌چین، و ۱۵ بندخاکی ساخته شده است. سازه‌های سنگی‌ملاتی بیش‌ترین پایداری و کم‌ترین نیاز به بازسازی (۹۲٪) داشت. ٪۸۰ از سازه‌های تور-سنگی و ٪۸۳ از سازه‌های خشکه‌چین در این آبخیزها سالم بود. بررسی رسوب‌گذاری در آبگیرهای پشت سازه‌های آبخیزداری در منطقه نشان داد که در مجموع ۳۳۲۱۰۰ مترمکعب رسوب در سازه‌ها ته‌نشین و تثبیت، و از برده‌شدن آن به منطقه‌های مسکونی روستایی و شهری جلوگیری شده‌است. از این اندازه ۴۵۹۶۰ مترمکعب در بندهای خاکی و ۲۸۶۱۴۰ مترمکعب در سازه‌های سنگی ملاتی، تور-سنگی و خشکه‌چین ته‌نشین شده‌است. شاخص حجم رسوب به حجم سازه در سازه‌های تور-سنگی، سنگی ملاتی، و خشکه‌چین به‌ترتیب ۴/۴، ۱۵/۳ و ۱ بود. ارزیابی بخش توسعه‌ی پوشش گیاهی و درختی آبگیرهای پشت سازه‌های آبخیزداری نشان داد که در آبگیرهای پشت سازه‌های تور-سنگی ۴۸۸۰ نهال (٪۹۷ از کل نهال‌های پشت سازه‌ها) رشد کرد و گسترش یافت. پیشنهاد می‌شود سازه‌های تور-سنگی برای جلوگیری از تخریب‌شدن در بسترهای غیرسنگی و با روکش سنگی‌ملاتی ساخته شود.

واژگان کلیدی: آبخیزداری، سازه‌ی سنگی-ملاتی، سازه‌ی تور-سنگی، سازه‌ی خشکه‌چین، البرز

مقدمه

در چند دهه‌ی گذشته افزایش روبه‌رشد هدررفت اندوخته‌های آب و خاک که سرمایه‌ی ملی در آبخیزها است، بر اثر بهره‌برداری غیر اصولی شدت فزاینده‌یی گرفته‌است. این روند باعث واپس‌روی آبخیزها، افزایش نرخ تولید رسوب، کاهش عمر مفید آبگیر سدها، و سرانجام کاهش تولید و هدررفت سرمایه‌های ملی کشور شده‌است (روغنی و همکاران ۲۰۱۰، بنی‌اسدی و حاج‌سیدعلیخانی۲۰۱۸). اجرای اقدام‌های حفاظت خاک و آبخیزداری گزینه‌یی گریزناپذیر برای مهارکردن فرسایش خاک و کاهش‌دادن تولید رسوب در آبخیزها است (سکوتی‌اسکوئی ۲۰۰۷، پرویزی و همکاران ۲۰۱۸). سازه‌های آبخیزداری برای کاهش‌دادن شدت جریان آب و آب‌دهی اوج سیلاب‌ها، نگه‌داشت رسوب و ته‌نشین‌شدن آن، افزایش زمان تمرکز آبخیز، و اصلاح نیم‌رخ طولی در آب‌راه‌ها ساخته می‌شود (واعظی و همکاران ۲۰۲۰).

در سال‌های گذشته سازه‌های آبخیزداری در سطح گسترده‌یی از برنامه‌های آبخیزداری در ایران با هدف‌هایی از جمله حفظ آب و خاک، به‌دست‌آوردن آب، تغذیه‌کردن آبخوان‌ها، مهارکردن و کاهش‌دادن جریان‌های سیلابی، و جلوگیری از رسوب‌گذاری در زمین های پایین‌دست به‌کار برده شده‌است (عابدینی و همکاران ۲۰۱۲، رحیمی و همکاران ۲۰۱۹). بررسی‌هایی نیز در رسوب‌گذاری سازه های آبخیزداری انجام شده‌است. نتیجه‌ی ورستراتن و همکاران (۲۰۰۳) نشان داد که اقدام‌های آبخیزداری تاثیر معنی‌داری بر مهارکردن و کاستن از رسوب در بلژیک داشته است. ژانگ و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که بندهای اصلاحی باعث کاهش معنی‌دار اندازه‌ی بار رسوب رودخانه‌ی زرد شده است. نتیجه‌ی دهدشتی زاده و شجاعی (۲۰۰۶) نشان داد که اقدام‌های آبخیزداری پس از سه سال باعث مهارشدن فرسایش خاک به اندازه‌ی ۱۰۶۰۰۰ مترمکعب در سرشاخه‌های سد زاینده‌رود شد. دبیری و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که سازه‌های اصلاحی آبخیزداری ۱۰۰٪ در مهارکردن بار معلق در آبخیزهای شهرستان اقلید، مرودشت و ممسنی استان فارس نقش داشت، و کارآیی آنها در ته‌نشین‌کردن و تثبیت‌کردن رسوب منطقه زیاد بود. نتیجه‌ی تیموریان و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که با اجراکردن سازه‌های آبخیزداری، اندازه‌ی رسوب از ۱۴۸۰ تن به ۳۱۷ تن در سال (یعنی ۴/۶۶ برابر کاهش) در آبخیز فشند البرز رسید. جعفری و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که ساخت سازه‌های آبخیزداری رسوب‌گیر در آبخیز علی‌کندی بوکان باعث مهارشدن در کل ۷۵۸۰۶ مترمکعب رسوب شد، و از خارج شدن آن به بیرون از آبخیز جلوگیری شد. نتیجه‌ی باقریان‌کلات و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که اقدام‌های آبخیزداری در آبخیز کاخک گناباد، استان خراسان رضوی، میانگین تاج پوشش گیاهی حوزه را از ۲۵٪ به ۴۹ ٪ افزایش داد. کارآیی اقدام‌های مکانیکی آبخیزداری حدود ۷۶٪ بود، و فرسایش سالانه‌ی خاک از ۲۰ تن در هکتار به ۱۰ تن در هکتار کاهش یافت.

به‌دلیل حجم بسیار زیاد اقدام‌های آبخیزداری در استان البرز و اهمیت بررسی اثربخشی آن‌ها، ارزیابی نتیجه‌ی اقدام‌های آبخیزداری از دیدگاه‌های گوناگون ضروری است. از این‌رو در این پژوهش ضمن ارزیابی‌کردن تاثیر این اقدام‌ها با اندازه‌های کمی به‌دست‌آمده از بررسی‌های میدانی، نتیجه‌ی روشنی از اندازه‌ی تغییرهای ایجادشده در تولید رسوب و تقویت پوشش گیاهی داده‌می‌شود. نتیجه‌ی به دست‌آمده ممکن است نقش مهمی در بهبوددادن کیفیت ساخت، و دادنِ برنامه‌های هماهنگ و منطبق با هدف‌های بخش آبخیزداری داشته باشد. از جنبه‌ی نوآوری و کاربردی بودن، با نتیجه‌ی داده‌شده در این پژوهش، ضمن تحلیل‌کردن نتیجه‌ی اقدام‌ها و تاثیر آن بر اندازه‌ی رسوب، امکان شناخت مناسب‌ترین سازه‌ها و نقطه‌های قوت و ضعف آن‌ها برای اجرای اقدام‌های اجرایی در آینده فراهم می‌شود. یافته‌های این پژوهش ممکن است برای اصلاح و انتخاب‌کردن اقدام‌های آبخیزداری در سطح کشور و استان البرز به متخصصان به‌خصوص در بخش‌های اجرایی داده شود، و در پیشنهاد دادن و ساختن آن‌ها به‌کار برده شود.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

آبخیز خور–سفیدارک با مساحت ۵۳۱۶/۱ هکتاردر محدوده‌ی ′۵۹ °۳۵ تا ′۰۶ °۳۶ عرض جغرافیایی و ′۳۸ °۵۰ تا ′۴۶ °۵۰ طول جغرافیایی، در فاصله‌ی حدود ۷۰ کیلومتر شمال غرب تهران، در شمال شهرستان هشتگرد، استان البرز است. پیرامون این آبخیز را از شمال آبخیز طالقان، از جنوب بزرگ‌راه کرج–قزوین، از شرق آبخیز فشند، و از غرب آبخیز هیو و شلمزار گرفته‌است. طولانی‌ترین آب راه آن ۱۵/۱ کیلومتر در راستای شمالی–جنوبی است. روستاهای خور و سفیدارک و عرب‌آباد در این آبخیز است. از کوه‌های مهم منطقه زرچقانی، اسبی‌داران و نمار است. در این محدوده واحدهای سنگ‌چینه‌یی با سن پرکامبرین تا کواترنری رخ‌نمون یافته‌اند. شیب آبخیز از صفر (منطقه‌های مسطح) تا بیش از ۶۰٪ (منطقه‌های کوهستانی) است. بلندی منطقه از ۱۲۹۸ تا ۲۸۴۰ متر است. اقلیم منطقه بر پایه‌ی روش دومارتن مدیترانه‌یی، و بر پایه‌ی روش آمبرژه از نوع اقلیم بلندی‌ها است. میانگین بارندگی سالانه‌ی آبخیز خور–سفیدارک حدود۳۸۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر است (کاظم‌زاده و همکاران ۲۰۲۱).

آبخیز فشند با مساحت ۴۶۸۰ هکتار در محدوده‌ی جغرافیایی ′۵۷ °۳۵ تا ′۰۶ °۳۶ عرض شمالی و ′۳۹ °۵۰ تا ′۴۸ °۵۰ طول شرقی، در شمال شرقی شهر هشتگرد، بخش مرکزی شهرستان ساوجبلاغ، استان البرز است. تنها روستای مسکونی منطقه فشند

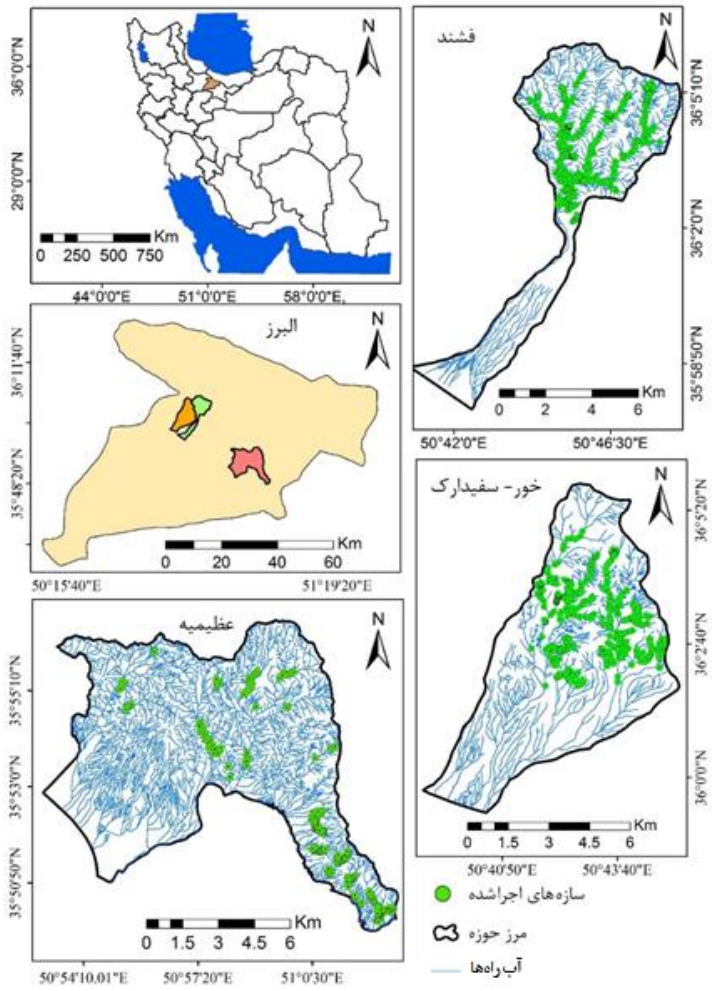
در دهستان هیو، بخش مرکزی شهرستان ساوجبلاغ است. آبخیز فشند در پهنه‌ی زمین‌شناسی البرز مرکزی است. رشته‌کوه‌های البرز بخش حاشیه‌ی فلات چین‌خورده‌ی وسیع ایران را تشکیل می‌دهد، که ساختمان آن نتیجه‌ی دو کوه‌زایی مهم، یکی در پرکامبرین و دیگری کوه‌زایی آلپی مزوزوییک و سنوزوییک است. کمینه‌ی بلندی آبخیز ۳۰۸/۵ متر و تا بیشینه‌ی بلندی منطقه ۳۰۷۸/۵ است. شیب منطقه از صفر (منطقه‌های مسطح) تا بیش از ٪۸۰ (منطقه‌های کوهستانی) است. طول بزرگ‌ترین آب‌راه آبخیز فشند ۲۱ کیلومتر است. اقلیم منطقه بر پایه‌ی روش دومارتن نیمه‌مرطوب و بر پایه‌ی روش آمبرژه از نوع اقلیم بلندی‌ها است. میانگین بارندگی سالانه‌ی آبخیز فشند ۳۸۰ میلی‌متر است (تیموریان و همکاران ۲۰۱۸).

آبخیز عظیمیه با مساحت ۹۴۳۹/۵ هکتار در محدوده‌ی طول ´۵۰ °۵۳ تا ´۰۳ °۵۱ و عرض جغرافیایی ´۵۰ °۳۵ الی ´۵۷ °۳۵ است، و از شمال با آبخیز برغان و نوجان، از جنوب به شهر کرج، از شرق با رود کرج، و از غرب به شهرستان ساوجبلاغ محدود است. بیش‌ترین فراوانی شیب در منطقه ۳۰-۶۰ ٪ و میانگین آن ۴۴ ٪ است. کمینه‌ی بلندی آبخیز ۱۲۷۸/۵ متر، و تا بیشینه‌ی بلندی منطقه ۲۴۴۱/۵ است (پوراسماعیل و همکاران، ۲۰۲۱). طول آب‌راه اصلی آبخیز ۹ کیلومتر است. میانگین بارندگی سالانه‌ی آبخیز حدود ۳۵۰ میلی‌متر است. اقلیم منطقه بر پایه‌ی روش دومارتن نیمه‌مرطوب سرد و مدیترانه‌یی، و بر پایه‌ی روش آمبرژه از نوع اقلیم نیمه‌خشک سرد و اقلیم بلندی‌ها است. در شکل ۱ موقعیت آبخیزهای بررسی‌شده و موقعیت سازه‌های آبخیزداری آورده شده‌است. این سه آبخیز به‌دلیل مشرف‌بودن به منطقه‌های شهری، و داشتن اثر مستقیم بر اندازه‌ی آسیب‌های تهدیدکننده‌ی منطقه‌های مسکونی انتخاب شد.

مطالعه‌ی میدانی و اندازه‌گیری حجم سازه‌های آبخیزداری

ویژگی‌های فیزیکی سازه‌ها شامل نوع سازه، موقعیت جغرافیایی، وضعیت سازه (سالم، تخریب‌شده، نیازمند به بازسازی)، حجم آبگیر (اندازه‌ی پُرشده و باقی‌مانده)، بلندی سازه‌ی آبخیزداری (متر)، حجم سازه (مترمکعب)، تعداد نهال در آبگیر، و توانمندی (پتانسیل) کاشت (زراعت) چوب با بازدید و پیمایش‌های میدانی اندازه گرفته‌شد.

اندازه‌گیری‌ها به روش مشاهده‌ی مستقیم (احمدی و همکاران ۲۰۰۴، حیدری و همکاران ۲۰۱۸) با گذراندن دست‌کم نیم ساعت بر هر سازه‌ی آبخیزداری بود. این پیمایش میدانی از تک‌تک آب‌راه‌های رتبه‌ی یک تا آخرین رتبه‌ی آب‌راه‌های سه آبخیز به‌مدت سه ماه (خرداد تا مرداد) در سال ۱۳۹۹ بود. با ابزار متر اطلاعات اندازه‌ی سازه‌های ساخته‌شده اندازه گرفته و ثبت شد. مهم‌ترین چالش این بخش در عرصه، اندازه‌گیری بخش پِی بیش‌تر سازه‌های سنگی-ملاتی و بعضی از سازه‌های تور-سنگی بود، که چون در زیرِ زمین بود اندازه‌ی دقیق ژرفای پِی آن‌ها را نمی‌شد اندازه گرفت. سازه‌های خشکه‌چین اصولا بِدون پِی بود (در بیش‌ترجاها) و بلندی مفید آن‌ها در اندازه‌گیری میدانی در حد ۱ متر بود. ژرفای پِی سازه‌های تور-سنگی نیز در بیش‌تر جاها نیم‌متر بود، و در جاهایی که کف بستر سنگی بود ژرفای پِی سازه صفر گرفته شد. بنابراین، در اندازه‌گیری ژرفای پِی سازه‌های سنگی-ملاتی اندازه‌ی حجم از اطلاعات گزارش‌های بررسی‌های پیشین و داده‌های زمان ساخت با روش‌های میدانی محاسبه شد (حیدری و همکاران ۲۰۱۸، باقریان‌کلات و همکاران ۲۰۲۱). ساختن بیش‌تر این اقدام‌های آبخیزداری (به‌ویژه سازه‌های خشکه‌چین و تور-سنگی) در منطقه از دهه‌ی ۱۳۷۰ شروع شد، اما متاسفانه داده‌های کامل و دقیق آن‌ها دست‌رس نیست.



شکل ۱- موقعیت آبخیزهای بررسی‌شده و سازه‌های آبخیزداری.

تعیین اندازه‌ی پایداری سازه‌های آبخیزداری

نتیجه‌ی بررسی میدانی پایداری (سالم‌ماندن یا تخریب‌شدن) هر سازه‌ی آبخیزداری در برابر عامل‌هایی مانند هوازدگی، سیل و دیگر عامل‌هایی که منجر به تخریب سازه‌ها می‌شود (باقریان کلات و همکاران، ۲۰۲۱) را علاوه بر این‌که می‌توان در برنامه‌های پیشنهادشده به‌کار برد، ممکن است پایداری تک‌تک آن‌ها و موفقیت و اثربخشی هر یک را نشان دهد. این معیار به سه بخش سالم، نیازمند بازسازی (یعنی مشکل با بازسازی حل‌شدنی است)، و تخریب‌شده (یعنی با بازسازی حل‌شدنی نیست و نیاز به ساخت سازه‌ی جدید است) تقسیم، و اندازه‌ی آن از تعداد هر یک به تعداد کل هر نوع سازه محاسبه شد (حیدری و همکاران ۲۰۱۸).

اندازه‌گیری مقدار رسوب در پشت آبگیرهای سازه‌های آبخیزداری حجم رسوب‌های جمع‌آورده پشت سازه‌ها با اقدام‌های میدانی و حجم‌سنجی با متر در عرصه اندازه‌گیری شد (پرویزی و همکاران ۲۰۱۸). ژرفای رسوب‌ها از میانگین بلندی مفید سازه (اگر آبگیر سازه پر بود) و ژرفای رسوب‌های انتهای آبگیر سازه به‌دست آمد. برای اندازه‌گیری عرض رسوب‌های آبگیرها میانگین عرض آب‌راه در پایین (با در نظر گرفتن پایین‌دست و بالادست آب‌راه) و عرض بالای آب‌راهِ پرشده از رسوب‌ها به‌کار برده شد. طول رسوب‌های ذخیره شده در آبگیر با اندازه‌گیری طول مستقیم در راستای طول آب‌راه و آبگیر به‌دست آمد، و مساحت و حجم سازه‌ها (رابطه‌ی ۱) محاسبه شد (آدیسو و مکونن ۲۰۱۹). بنابراین حجم رسوب‌ها و حجم آبگیر خالی برای تک‌تک سازه‌های آبخیزداری اجراشده در عرصه اندازه‌گیری و ثبت شد. به علت این که حجم و تعداد سازه‌های اجراشده متفاوت بود، شاخص اندازه‌ی رسوب ته‌نشین‌شده به اندازه‌ی حجم سازه برای هر تیپ از سازه‌ها برای تسهیل‌کردن مقایسه‌ی آن‌ها تعریف و به‌کار برده‌شد (جعفری و همکاران ۲۰۲۰). برای نمونه، این شاخص نشان خواهد داد که هر مترمکعب سازه‌ی سنگی–ملاتی یا تور–سنگی چه اندازه‌یی از

رسوب را ته‌نشین کرده است.

$$A = \frac{1}{2}(b_1 + b_2) \times h \quad (۱)$$

$$V = A \times L \quad (۲)$$

b1 و b2 عرض آبراه در پایین‌دست و بالادست آبراه، h بلندی مفید سازه، A مساحت پشت سازه، و L طول آبگیرسازه است.

اندازه‌گیری تعداد اصله نهال و توانمندی کاشت چوب در آبگیرهای پشت سازه‌ها

یکی از راه‌های مهم ارزیابی موفقیت طرح‌های آبخیزداری در آبخیزهای کوهستانی ارزیابی شاخص‌های پوشش گیاهی در محدوده‌ی تاثیر این اقدام‌ها پس از ساخته‌شدن است. تاکنون در ارزیابی موفقیت طرح‌های آبخیزداری، بیش‌تر به شاخص‌های میانگین تولید رسوب و ذخیره‌ی روان‌آب توجه شده است، در حالی‌که ارزیابی نقش این اقدام‌ها در ایجاد و تقویت پوشش گیاهی نیز اهمیت بسیاری دارد. علت اصلی انتخاب این معیار بررسی پایداری سازه‌ها و تثبیت رسوب‌های پشت آن، و ایجاد محیطی برای رشد و گسترش پوشش گیاهی و درختی است. پژوهش‌گران دیگر نیز تعداد درختچه‌ها و درختان زنده را برای بررسی پوشش گیاهی در ارزیابی اقدام های آبخیزداری به‌کار برده‌اند (باقریان‌کلات و همکاران ۲۰۰۵، باقریان‌کلات و همکاران ۲۰۲۱). با بررسی توانمندی کاشت چوب در آبگیرهای پشت سازه‌ها نیز می‌توان الگویی کلی برای منطقه یافت، که برای این کار چه‌اندازه از هر نوع سازه می‌توان به‌کار برد. این معیار با شمارش درختان و نهال‌های روییده بر رسوب‌های آبگیرهای سازه‌ها به‌دست آمد. توانمندی کاشت چوب در عرصه به‌دلیل بررسی شاخص‌هایی مانند راه دست‌رسی، آبگیرهای تثبیت‌شده و بزرگ، امکان مدیریت، و آبیاری پایدار انتخاب شد.

تعداد سازه‌های آبخیزداری اجرا شده در منطقه‌ی مورد مطالعه در بررسی میدانی مشخص شد که در مجموع ۵۱۳ سازه‌ی آبخیزداری در کل آبخیز خور–سفیدارک ساخته شده است. از این تعداد ۳۰۷ سازه خشکه‌چین، ۲۰۰ تور–سنگ، پنج سنگی–ملاتی، و یکی سد خاکی است. در آبخیز فشند از ۴۶۰ سازه‌ی آبخیزداری ۲۱۲ خشکه‌چین، ۲۳۷ تور–سنگ و ۱۱ سازه سنگی–ملاتی است، و در آبخیز عظیمیه از ۲۴۷ سازه ۱۴ تا خشکه‌چین، ۲۱۵ تا تور–سنگ، چهار سنگی–ملاتی، و ۱۴ تا سد خاکی است (جدول ۱).

جدول ۱- سازه‌های آبخیزداری اجرا شده در آبخیزهای بررسی شده.

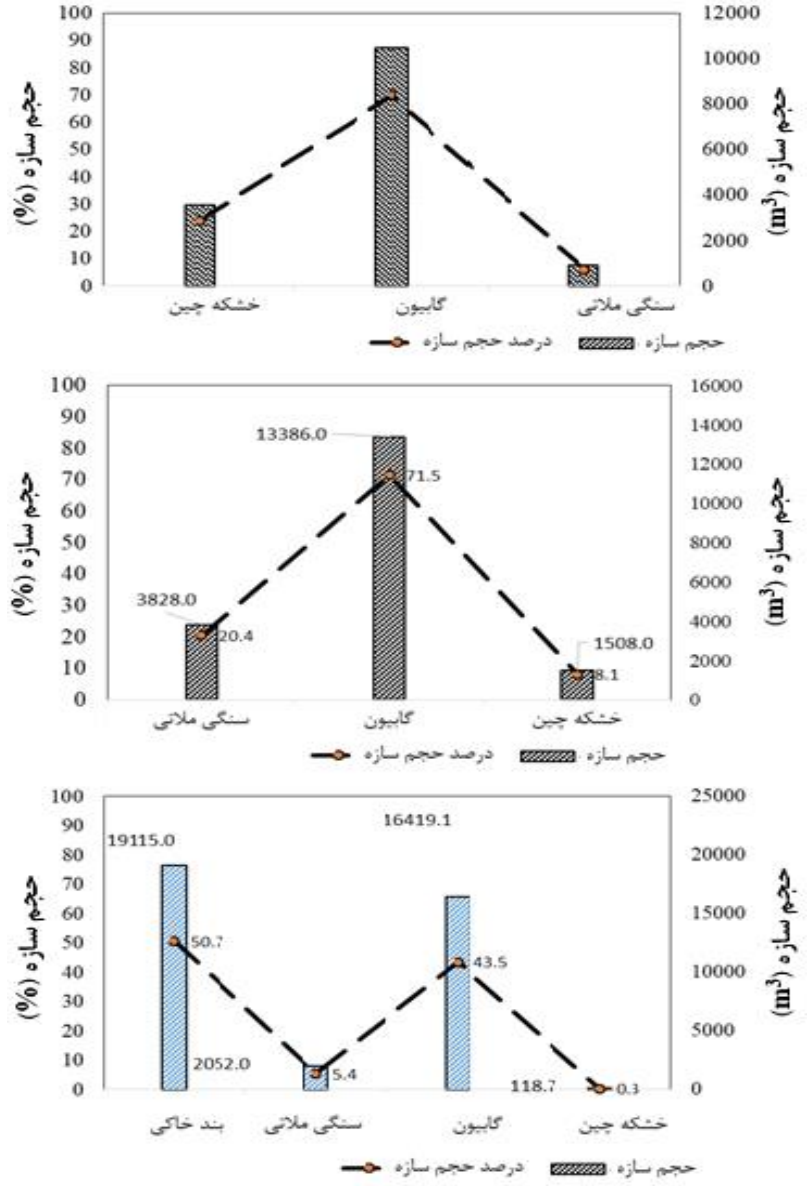
نوع سازه	آبخیز عظیمیه	آبخیز فشند	آبخیز خور سفیدارک	مجموع
خشکه‌چین	۱۴	۲۱۲	۳۰۷	۵۳۳
تور–سنگی	۲۱۵	۲۳۷	۲۰۰	۶۵۲
سنگی–ملاتی	۴	۱۱	۵	۲۰
خاکی	۱۴	۰	۱	۱۵
مجموع	**۲۴۷**	**۴۶۰**	**۵۱۳**	**۱۲۲۰**

نتایج

نتیجه‌ی این پژوهش در چهار بخش کلی برای سه آبخیز خور–سفیدارک، فشند و عظیمیه شامل حجم سازه‌های آبخیزداری اجراشده، اندازه‌ی پایداری، و اثربخشی آن‌ها در مهارکردن رسوب و تقویت‌کردن پوشش گیاهی آورده شده است.

ارزیابی میدانی حجم سازه های آبخیزداری اجرا شده

در آبخیز خور–سفیدارک بر پایه‌ی اندازه‌گیری‌های میدانی در مجموع حدود ۱۴۹۹۰ مترمکعب سازه (جز سد خاکی به حجم ۶۵۱۲۰ مترمکعب) ساخته شده‌است، که ۱۰۴۷۶ مترمکعب آن تور–سنگ، ۳۵۸۵/۸ مترمکعب خشکه‌چین، و ۹۲۷/۴ مترمکعب سنگی–ملاتی است (شکل ۲، بالا). از روی شکل، بیش‌ترین حجم سازه در بند تور–سنگی (۶۹/۹ ٪) و سپس خشکه‌چین (۲۳/۹ ٪) است. در آبخیز فشند در مجموع ۱۸۷۲۲ مترمکعب سازه ساخته شده‌است، که ۱۳۳۸۶ مترمکعب از آن تور–سنگی، ۱۵۰۸ مترمکعب خشکه‌چین، و ۳۸۲۸ مترمکعب سنگی–ملاتی است (شکل ۲، میان). بعد از بندهای تور–سنگی (۷۱٪)، بیش‌ترین حجم سازه‌ی اجراشده در آبخیز در بندهای سنگی–ملاتی (۲۰/۴٪) است. در آبخیز عظیمیه در مجموع ۳۷۷۰۴ مترمکعب سازه ساخته شده‌است، که ۱۹۱۱۵ مترمکعب آن بندهای خاکی، ۱۶۴۱۹ مترمکعب تور–سنگی، ۱۱۸ مترمکعب خشکه‌چین، و ۲۰۵۲ مترمکعب سنگی–ملاتی است (شکل ۲، پایین). بعد از بندهای خاکی، بیش‌ترین حجم سازه‌ی اجراشده در بندهای تور–سنگی (۴۳/۵٪) است.



شکل ۲- حجم سازه‌ها در آبخیز خور-سفیدارک (بالا)، فشند (میان) و عظیمیه (پایین).

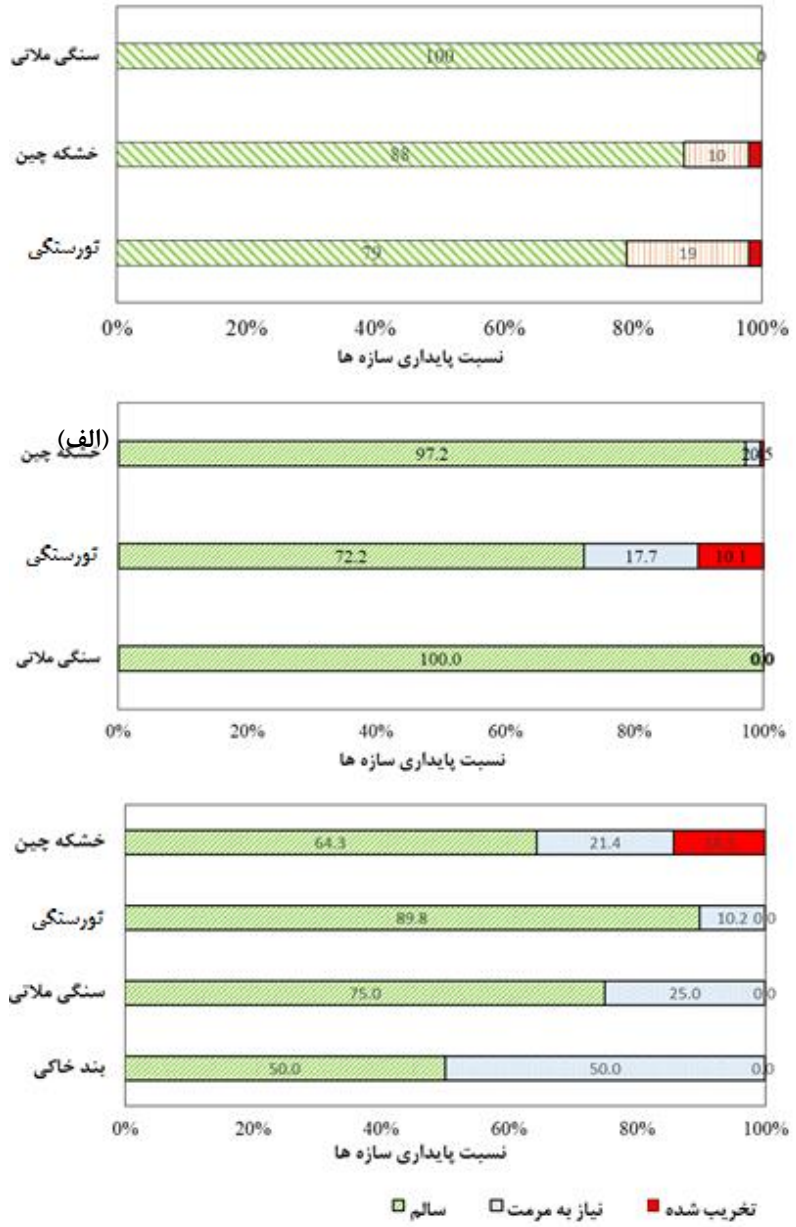
اندازه‌ی پایداری سازه‌های اجرا شده

سازه‌های سنگی ملاتی در آبخیز خور-سفیدارک ۱۰۰٪ پایدار است و تخریب نشده‌است، اما ۸۸٪ از سازه‌های خشکه‌چین سالم و بی تخریب، ۱۰٪ نیازمند بازسازی، و ۲٪ تخریب‌شده است. از سازه‌های تور-سنگ ۷۹٪ کاملاً سالم و با کارآیی ۱۰۰٪ است، ۱۹٪ نیازمند بازسازی، و تنها ۲٪ تخریب‌شده‌ی کامل شده است (شکل ۳، بالا). سازه‌های سنگی-ملاتی به‌دلیل استحکام و جنس مقاوم به‌کاربرده شده نیازی به بازسازی نداشت. سازه‌های تور-سنگی به‌دلیل تخریب روکش تور-سنگی، نشست سازه، و در برخی از آن‌ها هوازدگی، نیاز بیش‌تری به بازسازی دارد.

در آبخیز فشند سازه‌های سنگی-ملاتی۱۰۰٪ پایدار است (هرچند تعداد آن کم است، در بیش‌تر آبخیزهای استان سازه‌های سنگی ملاتی پایدار است) و تخریب نشده‌است (شکل ۳، میان). از سازه‌های خشکه‌چین ۹۷٪ سالم و بی تخریب، و کم‌تر از ۳٪ تخریب‌شده و نیازمند بازسازی است. از سازه‌های تور-سنگی ۷۲٪ کاملاً سالم و با کارآیی زیاد است، ٪ ۱۷/۷ نیازمند بازسازی است، و۱۰٪ به‌کل تخریب‌شده است. سازه‌های تور-سنگی به‌دلیل تخریب‌شدن توری، نشست سازه، و در برخی هوازدگی نیاز بیش‌تری به بازسازی دارد.

آبخیز عظیمیه ۷۵ ٪ از سازه‌های سنگی ملاتی پایدار و ۲۵٪

نیازمند به بازسازی است (شکل ۳، پایین). از کل سازه‌های خشکه‌چین ۶۴٪ سالم و بی تخریب، ۲۱٪ نیازمند بازسازی، و ۱۵٪ تخریب‌شده است. از سازه‌های تور–سنگی ۹۰٪ کاملاً سالم و با کارآیی زیاد و ۱۰٪ نیازمند به بازسازی است. سازه‌های خشکه‌چین به‌دلیل نداشتن توری، جریان داشتن آب، و در برخی از آن‌ها هوازدگی، نیاز بیش‌تری به بازسازی دارد.

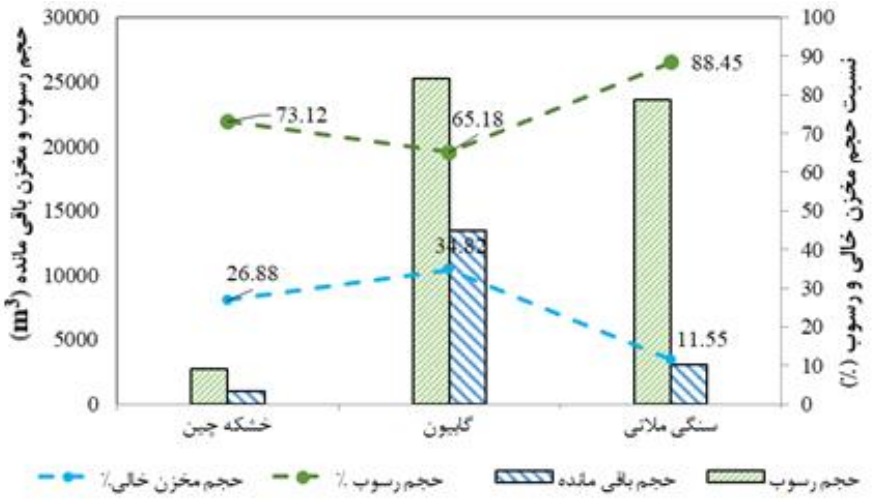


شکل ۳- وضعیت پایداری سازه‌ها در آبخیز خور–سفیدارک (بالا)، فشند (میان) و عظیمیه (پایین).

اثربخشی سازه‌های اجرا شده در مهارکردن رسوب

در آبخیز خور–سفیدارک حجم رسوب در آبگیرهای سازه‌های خشکه‌چین ۲۷۴۱/۲ مترمکعب و حجم خالی آبگیرها ۱۰۰۷/۴ مترمکعب است. در سازه‌های تور–سنگی حجم پرشده از رسوب و حجم خالی آبگیرها به‌ترتیب ۲۵۲۴۸/۹ و ۱۳۴۸۸/۶۷ مترمکعب است. در سازه‌های سنگی ملاتی حجم پرشده از رسوب ۲۳۵۹۳/۵ مترمکعب و حجم خالی ابگیرها ۳۰۸۰/۲۵ مترمکعب است. در مجموع ۱۵۱۵۸۳/۶ مترمکعب از رسوب‌های تولیدشده در سازه‌های آبخیزداری مهار، و از برده‌شدن آن‌ها به بیرون از آبخیز جلوگیری شده‌است (شکل ۴). ۷۳/۱۲ ٪ از کل حجم آبگیرهای سازه‌های خشکه‌چین، ۶۵/۱۸ ٪ از کل حجم آبگیرهای سازه‌های تور–سنگی، و ۸۸/۴۵٪ از کل حجم

آبگیرهای سازه‌های سنگی ملاتی از رسوب پر شده‌است. درصد حجم خالی در آبگیرهای سازه‌های خشکه‌چین، تور–سنگی و سنگی ملاتی به ترتیب ۲۶/۸۸، ۳۴/۸۲ و ۱۱/۵۵ ٪ است، و بیش‌ترین حجم خالی در سازه‌های تور–سنگی است. بخشی از آبگیر این بندها خالی از رسوب است. این وضعیت شرایط مناسبی را برای رسوب‌گذاری به‌همراه ذخیره‌کردن و نفوذدادن روان‌آب‌ها در بندها فراهم کرده‌است (شکل ۵). از ۵۱۵۸۳/۶ مترمکعب از رسوب‌های جمع‌شده در آبگیرهای سازه‌ها، ۴۹ ٪ در تور–سنگی‌ها، ۴۶ ٪ در سدهای سنگی–ملاتی، و ۵ ٪ در سازه‌های خشکه‌چین ته‌نشین شده است (جدول ۲).



شکل ۴- مقایسه‌ی کارآیی سازه‌ها از دیدگاه رسوب‌گذاری در آبخیز خور–سفیدارک.

جدول ۲- اندازه‌های حجم رسوب و حجم خالی در آبگیرهای پشت سازه‌های آبخیزداری در آبخیز خور – سفیدارک.

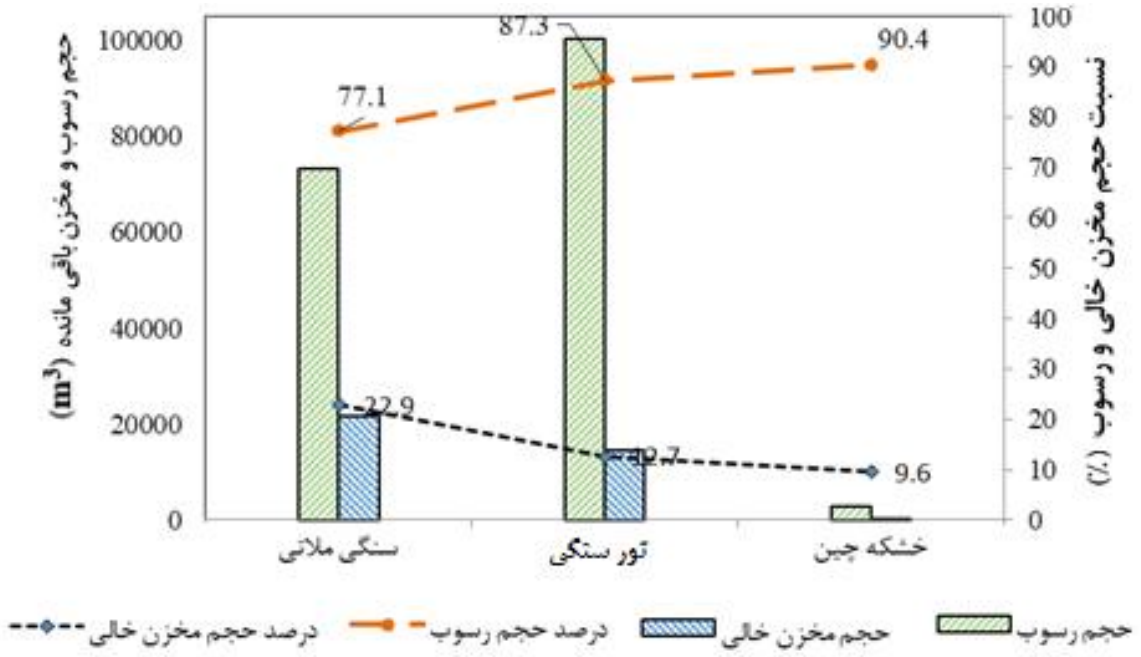
شاخص	خشکه‌چین	تور–سنگی	سنگی–ملاتی	جمع
حجم رسوب (m^3)	۲۷۴۱/۲	۲۵۲۴۸/۵	۲۳۵۹۳/۵	۵۱۵۸۳/۶
حجم باقی‌مانده (m^3)	۱۰۰۷/۸۵	۱۳۴۸۸/۶۷	۳۰۸۰/۲۵	۱۷۵۷۶/۸
حجم کل (m^3)	۳۷۴۹/۱	۳۸۷۳۷/۶	۲۶۶۷۳/۸	۶۹۱۶۰/۴
حجم رسوب (٪)	۷۳/۱۲	۶۵/۱۸	۸۸/۴۵	-
حجم آبگیرخالی (٪)	۲۶/۸۸	۳۴/۸۲	۱۱/۵۵	-
نسبت رسوب‌گذاری (٪)	۵	۴۹	۴۶	۱۰۰

شکل ۵- رسوب‌های جمع‌شده در آبگیر بند خشکه‌چین (راست) و تور–سنگی (چپ) در آبخیز خور– سفیدارک.

نتیجه‌ی ارزیابی بار معلق ته‌نشین‌شده در آبخیز فشند نشان داد که در مجموع ۱۷۶۲۴۱ مترمکعب از آن در سازه‌های آبخیزداری مهار، و از برده‌شدن آن‌ها به بیرون از آبخیز جلوگیری شده‌است. از کل رسوب‌های جمع‌شده در آبگیرهای سازه‌ها، ۵۷ ٪ در تور–سنگ ها، ۴۱/۵ ٪ در بندهای سنگی–ملاتی، و کم‌تر از ۵/۱ ٪ در سازه‌های خشکه‌چین ته‌نشین شده‌است (جدول ۳). حجم رسوب در آبگیرهای سازه‌های خشکه‌چین ۲۶۸۷ مترمکعب و حجم خالی آبگیرها ۲۸۶ مترمکعب بود (شکل ۶). در سازه‌های تور–سنگی حجم پرشده از رسوب و حجم خالی آبگیرهای پشت سازه‌ها به‌ترتیب ۱۰۰۲۹۷ و ۱۴۶۳۸ مترمکعب بود. در سازه‌های سنگی–ملاتی حجم پرشده از رسوب ۷۳۲۵۷ مترمکعب و حجم خالی آبگیرها ۲۱۷۰۰ مترمکعب بود. در سازه‌های تور–سنگی ٪۵۷ از حجم کل، در سازه–های خشکه‌چین ٪۹۰، و در سنگی–ملاتی ۳۸ ٪ از رسوب پرشده است (شکل ۷). حجم خالی در آبگیرهای سازه‌های خشکه‌چین، تور–سنگی و سنگی‌ملاتی به‌ترتیب ۹/۶ ٪ ، ۱۲/۷ ٪ و ۲۲/۹ ٪ بود، و بیش‌ترین حجم خالی در سازه‌های سنگی‌ملاتی بود. بررسی میدانی نشان داد که بخشی از آبگیرهای این سازه‌ها خالی از رسوب است. این وضعیت شرایط مناسبی را برای رسوب‌گذاری به‌همراه ذخیره کردن و نفوذدادن روان‌آب‌ها در بندها فراهم کرده‌است.

جدول ۳- اندازه‌های حجم رسوب و حجم خالی در آبگیرهای پشت سازه‌های آبخیزداری در آبخیز فشند.

شاخص	خشکه‌چین	تور–سنگ	سنگی ملاتی	جمع
حجم رسوب m^3	۲۶۸۷	۱۰۰۲۹۷	۷۳۲۵۷	۱۷۶۲۴۱
حجم باقی‌مانده m^3	۲۸۶	۱۴۶۳۸	۲۱۷۰۰	۳۶۶۲۴
حجم کل m^3	۲۹۷۳	۱۱۴۹۳۵	۹۴۹۵۷	۲۱۲۸۶۵
رسوب (٪)	۹۰/۴	۸۷/۳	۷۷/۱	-
نسبت رسوب‌گذاری (٪)	۱/۵	۵۷	۴۱/۵	۱۰۰
حجم آبگیرخالی (٪)	۹/۶	۱۲/۷	۲۲/۹	-



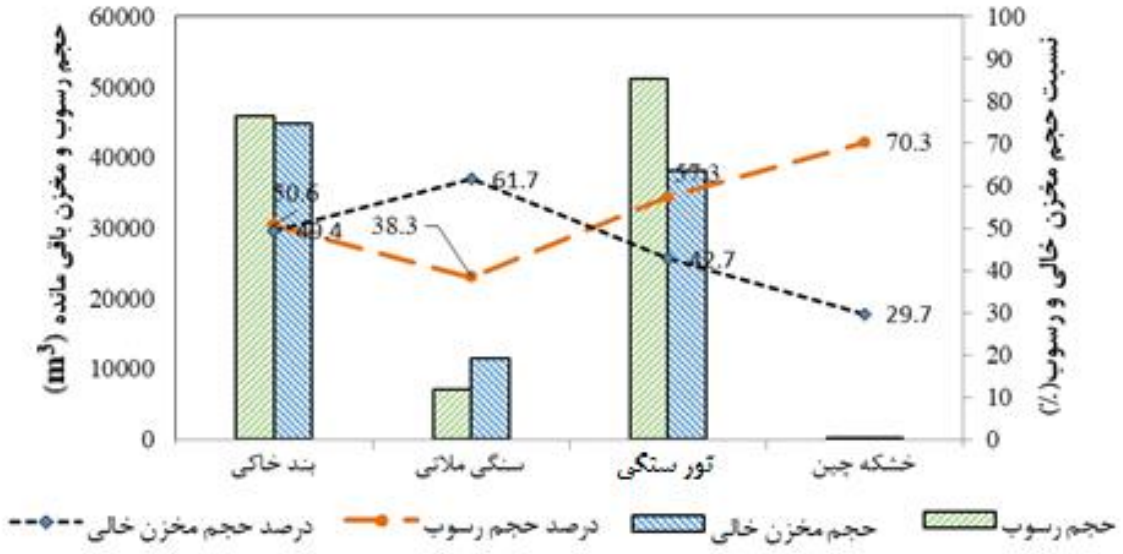
شکل ۶- مقایسه‌ی کارآیی سازه‌ها از دیدگاه رسوب‌گذاری در آبخیز فشند.

شکل ۷- رسوب‌گذاری در سازه‌های آبخیزداری در آبخیز فشند.

نتیجه‌ی ارزیابی رسوب‌های ته‌نشین‌شده در آبخیز عظیمیه نشان داد که در مجموع ۱۰۴۲۶۵ مترمکعب از رسوب‌های ته‌نشین‌شده در سازه‌های آبخیزداری مهار شده است. از ۱۰۴۲۶۵ مترمکعب از رسوب‌های جمع‌شده در آبگیرهای سازه‌ها، ۴۹ ٪ در تور-سنگ‌ها، ۷ ٪ در سازه‌های سنگی ملاتی، کم‌تر از ۱ ٪ در سازه‌های خشکه‌چین، و ۴۴ ٪ در بندهای خاکی ته‌نشین شده‌است (جدول ۴). حجم رسوب در آبگیرهای سازه‌های خشکه‌چین ۱۰۷ مترمکعب، و حجم خالی آبگیرها ۴۵ مترمکعب بود (شکل ۸). در سازه‌های تور-سنگی حجم پرشده از رسوب و حجم خالی آبگیرها به‌ترتیب ۵۱۱۰۱ و ۳۸۰۳۷ مترمکعب بود. در سازه‌های سنگی‌ملاتی حجم پرشده از رسوب ۷۱۱۲ مترمکعب و حجم خالی آبگیرها ۱۱۴۴۰ مترمکعب بود. حجم آبگیرهای رسوب پرشده در بندهای خاکی ۴۵۹۴۵ مترمکعب و حجم آبگیرهای خالی ۴۴۸۱۲ مترمکعب بود. در سازه‌های تور-سنگی ۵۷ ٪ از حجم کل، در بندهای خاکی ٪۵۰، و در سنگی ملاتی ۳۸ ٪ از رسوب پرشده است. حجم خالی در آبگیرهای سازه‌های خاکی، تور-سنگی و سنگی‌ملاتی به‌ترتیب ۴۹ ٪، ۸۲/۳۴ ٪ و ۴۳ ٪ ، و بیش‌ترین حجم خالی در سازه‌های خاکی و سنگی‌ملاتی بود. بخشی از آبگیرها خالی از رسوب بود. این وضعیت شرایط مناسبی برای رسوب‌گذاری به‌همراه ذخیره‌کردن و نفوذدادن روان‌آب در بندها فراهم کرده است.

جدول ۴- اندازه‌های حجم رسوب و حجم خالی در آبگیرهای پشت سازه‌های آبخیزداری در آبخیز عظیمیه.

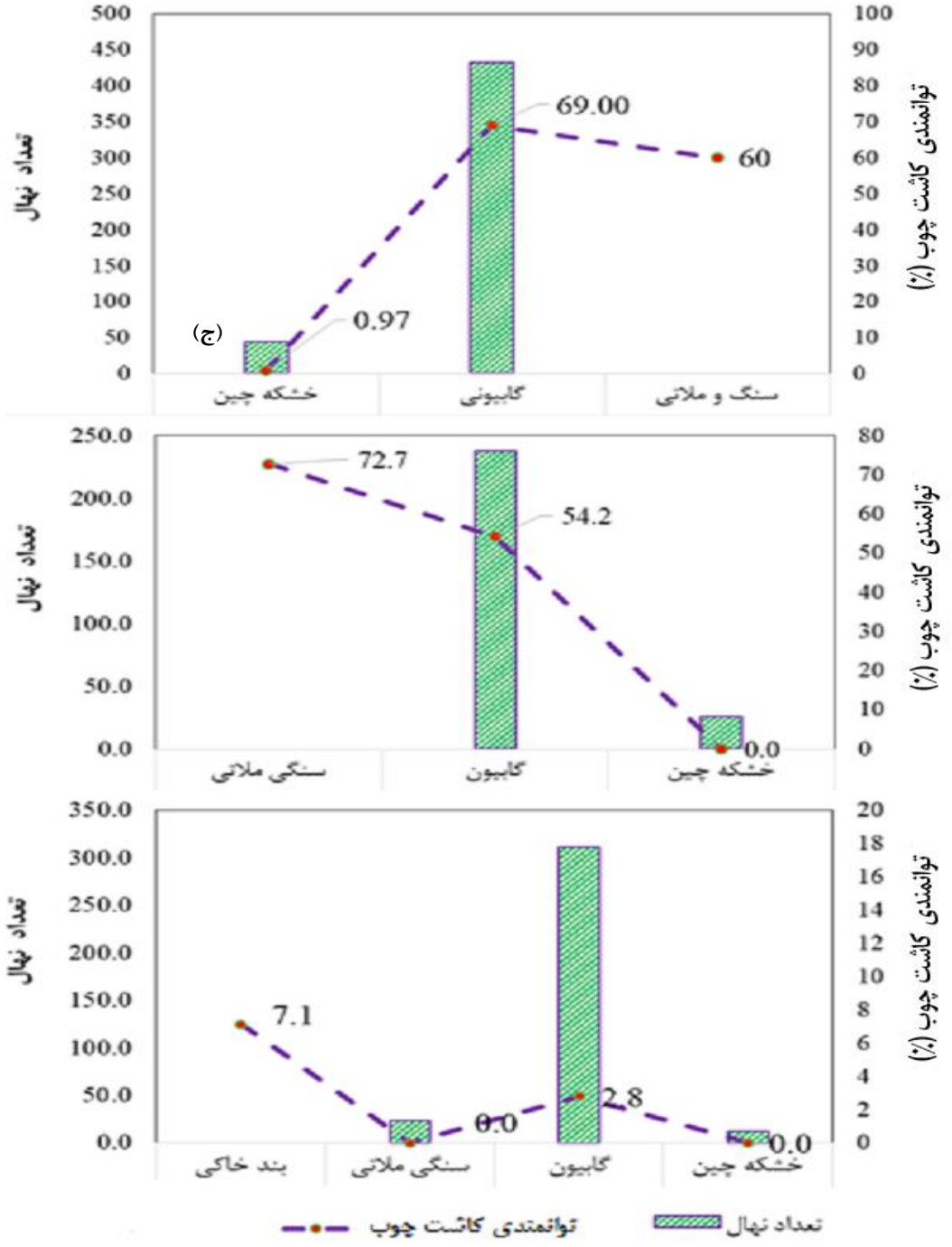
شاخص	خشکه‌چین	بند خاکی	تور-سنگ	سنگی ملاتی	جمع
حجم رسوب m^3	۱۰۷	۴۵۹۴۵	۵۱۱۰۱	۷۱۱۲	۱۰۴۲۶۵
حجم باقی‌مانده m^3	۴۵	۴۴۸۱۲	۳۸۰۳۷	۱۱۴۴۰	۹۴۳۳۴
حجم کل m^3	۱۵۲	۹۰۷۵۷	۸۹۱۳۸	۱۸۵۵۲	۱۹۸۶۰۰
رسوب ٪	۷۰/۲	۵۰/۶	۵۷/۳	۳۸/۳	-
رسوب‌گذاری ٪	<۱	۴۴	۴۹	۷	۱۰۰
حجم آبگیر خالی ٪	<۱	۴۷	۴۰	۱۲	۱۰۰



شکل ۸- مقایسه‌ی کارآیی سازه‌ها از دیدگاه رسوب‌گذاری در آبخیز عظیمیه.

اثربخشی سازه‌ها در تقویت‌کردن پوشش گیاهی

در آبگیرهای پشت خور- سفیدارک تور-سنگ و خشکه‌چین به‌ترتیب ۴۳۳ و ۴۴ نهال دیده شد (شکل ۹، بالا). سازه‌های تور-سنگی در آب‌راه‌های بزرگ‌تر ساخته می‌شود، آبگیر آن‌ها بزرگ‌تر است، و فضای بیش‌تری از سازه‌های خشکه‌چین برای جادادن به پوشش گیاهی و درختی دارند، بنابر این تعداد نهال در تور-سنگی‌ها بیش‌ترین بود. بیش‌ترین توانمندی کاشت چوب در آبخیز در بندهای تور-سنگی (۶۹٪) بود (شکل ۹، بالا). توان‌مندی بندهای سنگی‌ملاتی (۶۰٪) نیز برای کاشت چوب بیش‌تر از بندهای خشکه‌چین (۰/۹۷٪) بود. در آبخیز فشند تعداد نهال‌ها در آبگیرهای پشت سازه‌های تور-سنگی، خشکه‌چین و سنگی‌ملاتی به‌ترتیب ۲۳۸، ۲۶ و صفر بود (شکل ۹، میان). بیش‌ترین توانمندی کاشت چوب (شکل ۹، میان) در بندهای سنگی-ملاتی و تور-سنگی به‌ترتیب با ۷/۷۲ ٪ و ۲/۵۴ ٪ بود. در آبگیرهای پشت سازه‌های آبخیز عظیمیه تور-سنگی، سنگی‌ملاتی و خشکه‌چین تعداد نهال به‌ترتیب ۳۱۲، ۲۴ و ۱۲ بود (شکل ۹، پایین). بیش‌ترین توانمندی کاشت چوب در بندهای خاکی و تور-سنگی (به‌ترتیب با ۷ ٪ و ۸/۲ ٪) بود (شکل۹ج). علت زیادبودن توانمندی کاشت چوب در سازه‌های تور-سنگی نسبت به سنگی-ملاتی بیش‌تر بودن تعداد آن‌ها در بیش‌تر سازه‌های آبخیزداری است (شکل ۱۰).



شکل ۹- توانمندی کاشت چوب و تعداد نهال در آبگیرهای پشت سازه‌ها در آبخیز خور-سفیدارک (بالا)، فشند (میان) و عظیمیه (پایین).

شکل ۱۰- پوشش گیاهی ایجادشده و جاگرفتن نهال‌ها در آبگیرهای پشت سازه‌های تور-سنگی در آبخیز خور-سفیدارک.

بحث و نتیجه‌گیری

ارزیابی سازه‌های آبخیزداری در آبخیزهای خور-سفیدارک، فشند، و عظیمیه نشان داد که از مجموع ۵۲۳۰۰ مترمکعب سازه‌ی آبخیزداری (جز بندهای خاکی) ۷۷ ٪ تور-سنگی، ۱۳ ٪ سنگی-ملاتی، و ۱۰ ٪ خشکه‌چین است. به‌دلیل نیازنداشتن به ساخت جاده‌ی ماشین‌رو، و بردن سیم تور-سنگ با چهارپا، و تامین سنگ از محل ساخت، سازه‌های تور-سنگی بیش‌تر از دیگر سازه‌ها ساخته شده است. در بیش‌تر جاها برای ساخت سازه‌های سنگی-ملاتی نیاز به راه ماشین‌رو است، از این‌رو به‌دلیل کوهستانی‌بودن این آبخیزها، ساخت سازه‌های سنگی-ملاتی تنها در پایین‌دست آبخیز و جاهایی که راه ماشین‌رو هست ساخته شده‌است. سازه‌های خشکه‌چین بیش‌تر در آب‌راه‌های رتبه یک ساخته می‌شود، از این‌رو حجم‌شان بسیار کم‌تر از سازه‌های دیگر (با تعداد بیش‌تر ولی با حجم کم‌تر) است. کم‌ترین حجم سازه‌های خشکه‌چین در آبخیز عظیمیه دیده شد. با بررسی میدانی مشخص شد که در سرشاخه‌ها و آب‌راه‌های رتبه‌ی یک سنگ کافی و محل مناسب برای ساخت این نوع سازه‌ها نبود. بندهای خاکی نیز تنها در آبخیز فشند (یک بند) و عظیمیه (۱۴ بند) ساخته شده بود، و چون ساختار و شیوه‌ی ساخت آن‌ها با سازه‌های دیگر متفاوت است، و تعداد زیادی از آن به‌طور یکسان در آبخیزها ساخته نشده است، در این پژوهش مقایسه و ارزیابی نشد.

پایداری و درستی سازه‌های سنگی-ملاتی در کل آبخیزها بیش‌ترین بود (۹۲ ٪). پایداری در آبخیزهای خور-سفیدارک و فشند کامل بود (۱۰۰ ٪)، و تنها چند مورد آن در آبخیز عظیمیه نیاز به بازسازی داشت. علت آن است که سازه‌ها در تاثیر ساخت‌وسازهای اطراف آن بوده است (ریختن نخاله، تخریب دستک سازه برای رفت‌وآمد خودروها و ...)، که باعث کم شدن کارآیی سازه‌های سنگی-ملاتی شد. با این که تعداد و حجم این نوع سازه‌ها در مقایسه با دیگر سازه‌های اجراشده کم بود، بودنِ سیمان در میان سنگ‌های سازه‌های سنگی-ملاتی باعث افزایش‌یافتن مقاومت و پایداری آن‌ها شد. بررسی‌های دیگری نیز پایداری سازه‌های سنگی ملاتی به‌دلیل مصالح استفاده شده و نیروی وزن آن‌ها را تایید کرده‌اند (رن و همکاران ۲۰۱۷، شرستا و همکاران ۲۰۲۰). در حالت کلی ٪۸۰ سازه‌های تور-سنگی در آبخیزها پایدار و سالم اند، و به‌ترتیب ۱۵ ٪ و ۵ ٪ آن‌ها نیاز به بازسازی دارند و تخریب کامل شده‌اند. مهم‌ترین علت تخریب سازه‌های تور-سنگی ازمیان رفتن سیم‌های تور-سنگی و پاره‌شدن بر اثر جریان آب و بار معلق (بیش‌تر در هنگام سیلاب)، دزدیده‌شدن سیم‌ها، شکم‌دادن جعبه‌های تور-سنگی به‌علت اصولی ساخته‌نشدن یا فشار آب، دور زدن آب از دستک سازه، و نشست سازه بود. در جاهای کمی نیز اندازه و جنس سنگ‌های به‌کار برده‌شده در سازه‌های تور-سنگی درست نبود، و هوازدگی باعث خردشدن سنگ‌های درون آن شد. بیش‌تر از ۸۳ ٪ از سازه‌های خشکه‌چین سالم بود، و کم‌تر از ۱۷ ٪ از آن‌ها نیاز به بازسازی داشت و تخریب کامل شده‌بود. دبیری و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که برخی از سازه‌های آبخیزداری استان فارس بعد از ساخته‌شدن تخریب شده، و رسوب‌های آن با گذشت زمان تخلیه شده‌بود. مهم‌ترین علت تخریب آن‌ها ریزش سنگ‌های سازه به‌علت جریان آب و رسوب، ساخته‌شدن در گذرهای مال‌رو و گذشتن دام‌ها از روی آن‌ها، و متناسب‌نبودن سازه با آب‌راه است. سازه‌ها ممکن است در گذر زمان به دلیل‌های گوناگونی تخریب شود، و کارآیی آن‌ها کاهش یابد یا از دست برود، مانند روی‌دادن سیل، گذشتن دام‌ها در گذرهای مال‌رو، نشست‌کردن سازه، هوازدگی، و جایابی‌کردن نادرست.

در مجموع ۳۳۲۱۰۰ مترمکعب رسوب در سازه‌ها ته‌نشین و تثبیت، و از برده‌شدن آن به منطقه‌های مسکونی روستایی و شهری جلوگیری شده است. از این اندازه ۴۵۹۶۰ مترمکعب در بندهای خاکی و ۲۸۶۱۴۰ مترمکعب در سازه‌های سنگی ملاتی، تور–سنگی و خشکه‌چین ته‌نشین شده است. از ۲۸۶۱۴۰ مترمکعب رسوب،۶۲ ٪ در سازه‌های تور–سنگی،۳۶ ٪ در سنگی–ملاتی و۲ ٪ در خشکه چین ته‌نشین شده‌است. نتیجه‌ی این پژوهش با دهدشتی زاده و شجاعی (۲۰۰۶)، دبیری و همکاران (۲۰۱۳)، تیموریان و همکاران (۲۰۱۸) و جعفری و همکاران (۲۰۲۰) هم‌خوانی دارد، که نشان دادند سازه‌های آبخیزداری به‌اندازه‌ی معنی‌داری رسوب را مهار کردند. آدیسو و مکونن (۲۰۱۹) در بررسی نقش چکدم‌ها و تور–سنگ‌ها در رسوب‌گذاری در اتیوپی نشان دادند که ۴۴۰۰۰ و ۶۵۰۰ مترمکعب رسوب به‌ترتیب در تور–سنگ و خشکه‌چین ته‌نشین شد. حجم رسوب به حجم سازه در سازه‌های تور–سنگی، سنگی–ملاتی، و خشکه‌چین به‌ترتیب ۴/۴، ۱۵/۳ و ۱ بود، یعنی هر مترمکعب سازه‌ی سنگی–ملاتی و تور–سنگی به‌ترتیب ۱۵ و ۴ مترمکعب رسوب به‌دام انداخت. جعفری و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که در آبخیز علی‌کندی بوکان اندازه‌ی کارکرد مهار رسوب در واحد حجم برای سازه‌های تور–سنگی ۰/۲۱، خشکه‌چین با روکش ملاتی ۰/۷۷، و سنگی ملاتی ۰/۴۳ بود. نتیجه‌ی آن‌ها بر خلاف یافته‌های ما بیش ترین کارآیی در سازه‌های خشکه‌چین بود. به‌نظر می‌رسد ملاتی بودن روکش سازه‌های این منطقه در نتیجه تاثیر داشته‌است. هرچند مقایسه تنها از دیدگاه حجم رسوب سازه‌ها کافی نیست، چون عامل‌های زیادی در انتخاب نوع و محل سازه تاثیرگزار است، اما در شرایط یکسان سازه‌های سنگی–ملاتی رسوبی بیش‌تر از دیگر سازه‌ها ته‌نشین کرده‌اند. برای نمونه، سازه‌های خشکه‌چین با این که رسوبی کم‌تر از دیگر سازه‌ها ذخیره و ته‌نشین کردند، به‌دلیل پایدارکردن بستر آب‌راه‌ها در سرمنشا، و داشتن هزینه‌ی ساخت کم‌تر بسیار با ارزش اند. بررسی میدانی نشان داد که بخشی از آبگیرها خالی از رسوب است، که شرایط مناسبی برای رسوب‌گذاری و ذخیره و نفوذ روان‌آب‌ها فراهم کرده‌است.

ارزیابی بخش گسترش پوشش گیاهی و درختی آبگیرها پشت سازه‌های آبخیزداری نشان داد که در آبگیرهای پشت سازه‌های تور–سنگی به تعداد ۴۸۸۰ نهال (۹۷ ٪ از کل نهال‌های پشت سازه‌ها) رشد کرده و گسترش یافته است. کم‌ترین شمار نهال در آبگیرهای پشت سازه‌های خشکه‌چین و سنگی‌ملاتی دیده شد، که ممکن است به علت‌های گوناگونی ازجمله کم‌بودن تعداد این سازه‌ها نسبت به سازه‌های تور–سنگی در منطقه باشد.

از مهم‌ترین علت‌های نبودن نهال و درخت روی رسوب‌های آبگیرهای پشت سازه‌های خشکه‌چین کوچک‌بودن آبگیرهای آن‌ها، قراراگرفتن این سازه‌ها در بالادست آبخیزها در نبود جریان آب پایه، و نبود فرصت و شرایط کافی برای برده‌شدن دانه‌ها و رشدونمو نهال و درخت است. به‌دلیل این که سازه‌های تور–سنگی و سنگی–ملاتی در آب‌راه‌های بزرگ‌تر ساخته می‌شود، و آبگیرهای آن‌ها بزرگ‌تر است، فضای بیش‌تری از سازه‌های خشکه‌چین برای ایجاد پوشش گیاهی و درختی دارند، و مشاهده شد که تعداد نهال در تور–سنگ‌ها بیش‌ترین بود. علت کم‌بودن نهال در آبگیرهای پشت سازه‌های سنگی‌ملاتی کم‌بودن تعداد این سازه‌ها نسبت به سازه‌های تور–سنگی، و ساخته‌شدن سازه‌های سنگی‌ملاتی در خروجی آبخیز (گذرگاه دام و مردمان ساکن) است که باعث از میان‌رفتن نهال و سخت‌شدن شرایط رشدونمو دانه‌ها و نهال‌ها در منطقه می‌شود. ساختن سازه‌های آبخیزداری با تغییردادن شرایط خرد اقلیمی محیط از جمله خاک، افزایش رطوبت در محل رشد ریشه، و شاخص‌های بوم‌شناختی منجر به تقویت‌شدن پوشش گیاهی شده است، که در پژوهش‌های بسیاری نیز گزارش شده است (بومبینو و همکاران ۲۰۰۹، کومیتی و همکاران ۲۰۰۹، لوکاس بورجا ۲۰۲۱). هم‌راستا با این پژوهش، کاظم زاده و همکاران (۲۰۲۱) نیز نشان دادند که اقدام‌های مکانیکی آبخیزداری در آبخیز خور–سفیدارک استان البرز باعث افزایش‌یافتن معنی‌دار پوشش گیاهی و درختی در آبگیرهای پشت سازه‌های آبخیزداری شد. بنابراین، اجرای این سازه‌ها ضمن نگه‌داشتن خاک، کاستن از روان‌آب، و مهارکردن سیل و فرسایش، با افزایش‌دادن زمان تمرکز باعث افزایش‌یافتن رطوبت خاک و تغذیه‌شدن سفره‌های زیرزمینی می‌شود، و شرایط را برای جوانه‌زنی و افزایش پوشش گیاهی فراهم می‌کند (کاظم زاده و همکاران، ۲۰۲۱). ارزیابی توانمندی کاشت چوب نیز در آبگیرهای پشت سازه‌ها نشان داد که بیش‌ترین ظرفیت و توانمندی برای گسترش کاشت چوب در سازه‌های تور–سنگی به‌ویژه سازه‌های سنگی ملاتی است. در حالت کلی حدود ۵۰ ٪ از سازه‌ی تور–سنگی و سنگی–ملاتی توانمندی کاشت چوب داشت. علت آن بودنِ آبگیرهای بزرگ و تثبیت‌شده، و شرایط رشد و گسترش گیاه (آب و راه دست‌رسی برای بردن وسایل) است. بنابراین، گسترش کاشت چوب یکی از راه‌های مطمئن برای احیاکردن جنگل‌ها و جلوگیری از تخریب آن‌ها است. سازه‌های آبخیزداری با ایجادکردن فضای مناسب برای گرفتن روان‌آب و ذخیره‌کردن رطوبت در خاک، مکان مناسبی برای کاشت و تولید چوب و بهره‌برداری درست از اندوخته‌های جنگلی کشور است.

به علت این که مهم‌ترین عامل تخریب سازه‌های تور–سنگی ازبین رفتن سیم‌های آن، پاره‌شدن براثر جریان آب، افتادن سنگ و رسوب‌ها از روی سرریز، و بریده‌شدن سیم‌ها به دست دزدان

بود، پیشنهاد می‌شود اگر ماسه و آب در زمان ساخت در نزدیکی باشد، روکش ملاتی بر سازه‌های تور–سنگی به ضخامت ۲۰ سانتی‌متر زده‌شود، تا از بریده‌شدن و ازبین رفتن سیم تور–سنگی و تخریب سازه جلوگیری شود. اگر در زمان ساختِ سازه‌های تور–سنگی در بالادست شن و ماسه نباشد، و امکان آوردن مصالح هم نباشد، بعد از جمع‌شدن شن و ماسه در آبگیرهای پشت سازه‌ها روکش ملاتی روی آن‌ها زده‌شود. دومین نکته‌ی مهم این است که سازه‌های تور–سنگی به‌خاطر داشتن سیم در ساختار خود در طبیعت انعطاف‌پذیرتر از دیگر سازه‌ها مانند سنگی ملاتی و خشکه‌چین، تور–سنگی است. از این‌رو پیشنهاد می‌شود سازه‌های تور–سنگی در بستر و دیواره‌های غیر سنگی ساخته‌شود، تا بتوان سازه را در ژرفای مناسب پی و دیواره با دستک یا لنگرسازی کافی ساخت. اما در جایی که بستر و دیواره‌ی آب‌راه رخ‌نمون سنگی است، پیشنهاد می‌شود برای رعایت‌کردن شرایط جسم سخت، سازه‌های سنگی–ملاتی روی این بستر و دیواره‌ها ساخته شود.

سپاس‌گزاری

از اداره‌ی کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان البرز برای حمایت و همکاری در انجام این پژوهش صمیمانه تشکر می‌کنیم.

فهرست منابع

Abedini M, Said MAM, Ahmad F. 2012. Effectiveness of check dam to control soil erosion in a tropical catchment (The Ulu Kinta Basin). Catena, 97:63–70.

Addisu S, Mekonnen M. 2019. Check dams and storages beyond trapping sediment, carbon sequestration for climate change mitigation, Northwest Ethiopia. Geoenvironmental Disasters, 6(4): 1–8.

Ahmadi H, Nazari Samani AA, Ghoddousi J, Ekhtesasi MR. 2004. A model for evaluation of watershed management projects. Iranian Journal of Natural Resources, 46 (4): 337–349. (In Persian).

Bagherian Kalat A, Ghoddousi J, Rangavar A. 2005. Introduction a method for evaluating the performance of watershed management operations: A case study in Kakhk-Gonabad Watershed. The Second National Conference on Watershed Management and Soil and Water Resources Management, Kerman, pp. 241–248. (In Persian).

Bagherian Kalat A, Lashkaripour GR, Gafoori M. 2021. Evaluating the impacts of implemented watershed management project on vegetal cover and sediment Yyield in Kakhk Watershed project. Journal of Environmental Science and Technology, 23(7): 50–63. (In Persian).

Baniasadi M, Hajsedalikhani N. 2018. Assessment of watershed management projects on flood mitigation in Baft Province (Dare Morid Catchment). Irrigation and Water Engineering, 8(2): 211–226. (In Persian).

Bombino G, Gurnell AM, Tamburino V, Zema DA, Zimbone SM. 2009. Adjustments in channel form, sediment caliber and vegetation around check dams in the headwater reaches of mountain torrents, Calabria, Italy. Earth Surface Processes and Landforms, 34(7): 1011–1021.

Comiti F, Mao L, Lenzi MA, Siligardi M. 2009. Artificial steps to stabilize Mountain Rivers: A post-project ecological assessment. River Research and Applications, 25(5): 639–659.

Dabiri S, Sofi M, Taleb Beydokhti N. 2013. Investigating the function of check dams on sediment control (Case study: Watersheds of Eghlid, Marvdasht & Mamasani Regions of Fars Province). Journal of Water Resources Engineering, 6 (3): 1–21.

(In Persian).

Dehdashti Zadeh M, Shojaee M. 2006. Effects of mechanical and biomechanical watershed management operations in flood control of B2 watershed (Zayande Rood Dam). 1th Regional Conference of Water Resource of Karoon and Zayande Rood (Opportunities and Challenges), Shahrekord University, Iran. 6 p. (In Persian).

Heydari F, Saboohi R, Matin M. 2018. Investigation of stability of mechanical structures in Budjan Watershed in Dehaghan. Extension and Development of Watershed Management. 6(22): 19–30. (In Persian).

Jafari A, Sarai Tabrizi M, Babazadeh H. 2021. Effects of watershed management practices in reducing the erosion and sedimentation (Case study: Alikandi Boukan Watershed). Applied Soil Research, 8(4): 57–68.

Kazemzadeh M, Noori Z, Bayat A, Saedi Farkoush S, Elyasi A, Alipour H, Mansour Fallah A. 2021. An evaluation of the effect of natural and human factors on the linear and non-linear changes in vegetation using the landsat images of the Khor-Sefidarak Watershed, the Province of Alborz.¬Watershed Management Research Journal, 34(3): 95–114. (In Persian).

Lucas-Borja, ME, Piton G, Yu Y, Castillo C, Zema DA. 2021. Check dams worldwide: Objectives, functions, effectiveness and undesired effects. Catena, 204: 1–14.

Parvizi Y, Bayat R, Heshmati M, Gheituri M. 2018. Quantitative comparison of the effects of mechanical and biological watershed management operation on soil erosion and sediment yield control of Hajiabad Watershed in Kermanshah Province. Iran-Watershed Management Science & Engineering, 12 (42): 52–59. (In Persian).

Pouresmaeel M, Salajegheh A, Malekian A, Keshtkar A. 2021. Investigating vulnerability of urban areas to flood using TOPSIS method (Case study: Azimiyeh, Karaj). Journal of Range and Watershed Management, 74(1): 23–36. (In Persian).

Rahimi I, Seyedian SM, Rouhani H, Ahmadi R. 2019. Check dam suitable locations for erosion control using hierarchical analysis process. Quarterly Journal of Environmental Erosion Research, 9(33): 1–26. (In Persian).

Ren M, He X, Kan G, Wang F, Zhang H, Li H., ... , Zhang Z. 2017. A comparison of flood control standards for reservoir engineering for different countries. Water, 9(3): 2–13.

Roghani M, Tabatabai SM, Shadfar P. 2010. Evaluation of the watershed management operations and introducing a method in determining flood control structures. Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering. 4 (13): 51–60. (In Persian).

Shrestha BB, Kawasaki A. 2020. Quantitative assessment of flood risk with evaluation of the effectiveness of dam operation for flood control: A case of the Bago River Basin of Myanmar. International Journal of Disaster Risk Reduction, 50 (4):1–15.

Sokoti Oskoei R. 2007. Evaluation of the effects of watershed management operations on soil erosion and sediment yield, case study Emam kandi Watershed, west Azarbayejan. 9th Irrigation and Evaporation Seminar, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran. 7 p. (In Persian).

Teimurian T, Feiznia S, Seyyedalikhani SD. 2018. The impact of watershed rehabilitation measures on the flow and sediment characteristics of the Fashand Catchment, Hashtgerd. Watershed Management Research, 1 (118): 13–22. (In Persian).

Vaezi AR, Rostami K, Sadeghi SHR. 2020. Investigation on the effectiveness of gabion check dams in amount and grain size of sedimentation in the Rezin watershed, west of Iran.¬Journal of Water and Soil Conservation, 27(5): 201–216. (In Persian).

Verstraeten G, Rompaey AV, Poesen J, Oost KV, Govers G. 2003. Evaluating the impact of watershed management scenarios on changes in sediment delivery to rivers?: In¬The Interactions between Sediments and Water. Hydrobiologia, 494 (1–3): 153–158.

Zhang Z, Chai J, Li Z, Chen L, Yu K, Yang Z, Zhang X, Zhao Y. 2022. Effect of check dam on sediment load under vegetation restoration in the Hekou-Longmen Region of the Yellow River.¬Frontiers in Environmental Science, 713(9): 12–1.

Watershed Management Research
VOL. 35, No.4, Ser. No: 137, Winter 2023, pp. 2 -19
DOI: 10.22092/wmrj.2022.357183.1451
Research Paper

Evaluation of the Watershed Management Structures in Sediment Deposition in Khor-Sefidarak, Fashand and Azimiyeh Watersheds of Alborz Province

Majid Kazemzadeh
(Corresponding Author)* Graduate of Ph.D. in Watershed Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran
Zahra Noori
Graduate of PhD in Watershed Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran
Mohammad Jahantigh
Graduate of Master of Science in soil science, Faculty of Agriculture, University of Tehran
Asghar Bayat
Graduate of Master of Science in Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran
Salma Saedi Farkoush
Graduate of Master of Science in Rural Development, Faculty of Agriculture, Razi University of Kermanshah

*Corresponding Author Email: mkazemzadeh@ut.ac.ir
Received: 21 December 2021 Accepted: 11 March 2022

Abstract
The aim of the current study is to evaluate the effectiveness of the watershed management operations by using the quantitative values obtained from the field survey in Khor-Sefidarak, Fashand, and Azimiyeh watersheds, and indicating a clear result of deposited sedimentation rate and vegetation improvement in reservoir tank of the structures. Field evaluation of watershed management structures showed that since 1991, a total of 652 gabion structures, 20 masonry structures, 533 small stone structures, and 15 embankment dams have been implemented in Khor-Sefidarak, Fashand, and Azimiyeh watersheds of Alborz province. A study of the stability of the structures showed that masonry structures had the most stability with the least need for restoration (92% of them). Also, 80% of gabion structures and 83% of small stone structures in the studied watersheds were stable. The study of sediment deposition in reservoirs tanks of structures in the study area showed that a total of 332,100 m3 of sediment has been deposited and stabilized by the structures and has prevented its transferring to rural and urban residential areas. Of this amount, 45960 m3 have been deposited by embankment dams and 286140 m3 by masonry structures, gabion and small stone structures. Sediment volume to structure volume index showed that it was 4.4, 15.3, and 1 for gabion, masonry, and small stone structures, respectively. Evaluation of vegetation and tree cover development of whining reservoirs tanks of watershed structures showed that 4880 trees and seedlings (97% of all them) have been grown and developed in the reservoirs of gabion structures. If the gabion structures are constructed, it is suggested that they be constructed in non-stone beds, and cement cover be used to prevent their destruction.

Keywords: Alborz, gabion structure, masonry structure, small stone structure, watershed management