



دوره ۳۲، شماره ۲، شماره پیاپی ۱۲۳، تابستان ۱۳۹۸، صفحات ۹۵-۱۱۰
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmej.2019.124151.1177

پژوهش‌های آبخیزداری

تحلیل پایداری بندهای سنگی-ملاتی آبخیز کَلستان شیراز

محمدهادی علی‌پور

کارشناس ارشد عمران مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
غلامرضا قهاری*

(نویسنده‌ی مسئول)* استادیار پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
سید حمید مصباح

مری پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
*رایانامه‌ی نویسنده‌مسئول: ezaghahari75@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۷ آذر ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: ۲۱ اسفند ۱۳۹۷

چکیده

ارزیابی عملیات آبخیزداری اطلاعات بارزشی را برای برنامه‌ریزی بلندمدت در اختیار مدیران و تصمیم‌گیران قرار می‌دهد. این ارزیابی در ۷۰ بند کوتاه سنگی-ملاتی در آبخیز کَلستان شیراز اجرا شده در سال ۱۳۸۵ انجام شد. با برداشت‌های میدانی اطلاعات سازه‌ها نظیر موقعیت، تعداد، نوع سازه، وضعیت مصالح، کارایی فعلی، وضعیت تخریب (شدت و محل)، نوع و عامل‌های آسیب‌دیدگی سازه‌ها در برگه‌های اطلاعاتی ثبت، و نقشه‌ی پراکنش سازه‌ها تهیه شد. پایداری در برابر نشست، واژگونی و لغزش بررسی شد. آب‌دهی طراحی بندها با دوره‌ی بازگشت‌های متفاوت مشخص، و بیش‌ترین آب‌دهی رخ داده در طول دوره‌ی پژوهش تعیین شد. نتایج نشان داد که از آن‌جا که از زمان ساخته‌شدن تا ارزیابی (سال ۱۳۹۳) آب‌دهی پیش‌بینی شده‌ی بندهای کوتاه با دوره‌ی بازگشت ۲۵ ساله رخ نداده است، براساس آب‌دهی نمی‌توان پایداری این بندها را ارزیابی کرد. نشست در هیچ‌یک از نقطه‌های اندازه‌گیری مشاهده نشد. تحلیل‌ها نشان‌دهنده‌ی پایداری ۹۸/۶٪ از بندها از نظر واژگونی و لغزش بوده، و فقط ۱ بند (۱/۴٪) به‌طور کامل تخریب شده است. اگرچه بندها در برابر نشست، واژگونی و لغزش پایداری نشان‌دادند، نشانه‌های آسیب‌دیدگی در آن‌ها دیده شد. علت اصلی آسیب‌دیدگی بندها در این آبخیز به‌کاربردن مصالح نامناسب، آب‌شستگی و اجرا کردن نامناسب به‌ترتیب با احتمال تاثیر ۵۳/۷، ۲۷/۷۸ و ۱۸/۵۲٪ است. برای جلوگیری از پدیده‌ی زیرشویی باید خاک بستر در محل قرارگیری بند برداشته و در لایه‌های مختلف متراکم شود.

واژگان کلیدی: آبخیزداری، بندهای کوتاه، پایداری، فارس، کَلستان

مقدمه

هم‌اکنون کمبود آب در آبخیزها موجب شده است که، محصولات کشاورزی در زمین‌های وسیعی به‌صورت دیم کاشته شود. اجرای عملیات آبخیزداری در آبخیزها امکان ذخیره‌سازی و تامین کردن بخش بیش‌تری از آب کشاورزی را فراهم و فرسایش و رسوب را تا حد زیادی مهار می‌کند. ارزیابی عملیات آبخیزداری اجراشده در آبخیزها و ارائه نتیجه‌ی عمل کرد آن‌ها اطلاعات بارزتری را برای برنامه‌ریزی بلندمدت به مدیران و تصمیم‌گیران می‌دهد. از طرف دیگر، نتایج تحقیق در این زمینه الگوی مناسبی از ارزیابی و پیش‌بینی عمل کرد فعالیت‌های آبخیزداری را به‌دست خواهد داد. ارزیابی یکی از شیوه‌های اساسی برای تعیین کارایی سیاست‌ها، برنامه‌ها و طرح‌ها است و اگر روند آن با دقت و به‌دور از تعصب انجام شود، ابزار مهمی برای اصلاح روش‌ها در بررسی، طراحی، اجرا، تدوین معیار و سیاست‌گذاری است (مصباح ۲۰۱۵). نتایج بررسی پیتون و رکینگ (۲۰۱۶) نشان داد که سدهای اصلاحی کوچک اجراشده با کاهش دادن سرعت جریان‌های رودخانه‌یی رسوب‌دادن بار بستر در پشت مخازن سدها، و کاهش دادن حجم بار بستر رودخانه و اندازه‌ی ذرات حمل‌شده باعث تثبیت بستر رودخانه شده است. در آبخیزهای کوهستانی به‌طور معمول برای کاهش دادن سرعت روان‌آب، جلوگیری کردن از سیل، و مهار کردن فرسایش و رسوب سازه‌هایی همچون بندهای خشک‌چین، تورسنگ و سنگی-ملاتی به‌کاربرده می‌شود. مهمترین نکته‌ها در استفاده کردن از این سازه‌ها در طبیعت این است که در مکان مناسب احداث شود، استحکام آن مناسب باشد، مصالح مناسب در آن‌ها به‌کار رفته‌باشند، و حجم سازه با میزان روان‌آب و رسوب متناسب باشد تا در نهایت با هزینه‌های بهینه، سازه‌های کارآمد و پایدار ایجاد شود (حیدری و همکاران ۲۰۱۸). پژوهشگران مختلفی استفاده کردن از مخزن‌های متوالی برای کم‌ترین کردن آب‌دهی اوج سیلاب را بررسی کردند. (فریسک ۲۰۰۴) استفاده‌ی تلفیقی از عملیات ساختمانی و غیرسازه‌یی را برای دست‌یابی به موفقیت بیش‌تر در عملیات مهار سیل پیشنهاد کرد.

نتایج ارزیابی نیسن (۲۰۰۴) بر اثر بندهای اصلاحی ساخته‌شده در شمال اتیوپی نشان داد که ۳۹٪ از آن‌ها در دو سال اول اجرای طرح تخریب شد، و مهم‌ترین دلیل تخریب آن‌ها قدرت روان‌آب بر اثر شیب زیاد آبخیز بود.

عبدی (۲۰۰۴) با ارزیابی ۳۸۰ بند سبک‌فلزی در حوزه‌ی فرعی ایده‌لو از آبخیز زنگان‌رود، پایداری آن‌ها را بین ۲۰ تا ۱۰۰٪ تخمین زد. ۲۵۵ سازه (۷۶٪) تا ۱۰۰٪ پایدار بود و فقط ۲۱ سازه (۵/۵٪) تا ۱۰۰٪ تخریب شد. اگرچه این سازه‌ها در زمین‌های آهک‌رسی ساخته‌شده است، چون مقدار خسارت آن‌ها پذیرفتنی است، گسترش آن‌ها برای تثبیت آبراه‌ها توصیه شده‌است. بیشتر بندهای اصلاحی احداث‌شده در سال ۱۹۸۰ در آبخیز روگاتیو، اسپانیا، به‌دلیل اجرانشدن طرح‌های زیستی، مقدار زیادی

از کارایی خود را در به‌دام‌انداختن رسوب از دست داده است، و فرسایش دیواره‌یی در بالادست بندها شروع شده، ساختار آن‌ها تدریجاً از بین رفته، و رسوب‌های باقی‌مانده در ۳۰ سال گذشته در حال جابه‌جایی است (بوکس‌فایوس و همکاران ۲۰۰۷).

نتایج بررسی غفاری و همکاران (۲۰۱۱) بر سازه‌های گابیونی و سنگی-ملاتی بناشده در آبخیز کن نشان داد که بیش از ۸۰٪ از حجم عملیات مکانیکی پیشنهادشده برای حوزه‌ی آبخیز اجراشده‌است. در مواردی، نتیجه‌ها نشان داد که مکان پیشنهادشده نامناسب بود، مکان سازه‌های ساخته‌شده با جای پیشنهادشده منطبق نبود، و معیارهای لازم در ساخت سازه‌ها رعایت نشده‌بود. ضعف نظارت و ارزیابی پروژه از دلایل مهم این مشکلات دانسته شد.

فرهادی (۲۰۱۲) پس از بررسی ۱۱۷ بند اجراشده (خشک‌چین ۱۶، سنگی ملاتی ۴۵، و توری‌سنگی ۵۶) در آبخیز موسویه (استان فارس، شهرستان جهرم)، به‌ترتیب تخریب‌شدن ۴، ۶۹، ۴ و ۲۵٪ از بندهای خشک‌چین، توری‌سنگی و سنگی ملاتی را گزارش کرد. از کل سازه‌های اجراشده به‌ترتیب ۱۹، ۵۵، ۲۶٪ تخریب‌شده‌ی کامل، تخریب‌شده‌ی جزئی و سالم است. مهم‌ترین علت تخریب سازه‌ها اندک بودن تعداد سازه‌ی اجراشده نسبت به پیش‌بینی‌شده، جانمایی کردن نامناسب، ناهماهنگی بین آب‌دهی عبوری با مقدار سرریز، ژرفای اندک پی، کوتاه‌بودن طول حوضچه‌ی آرامش، و کیفیت بد مصالح بود.

نتایج بررسی عباسی و همکاران (۲۰۱۲) بر پایداری سازه‌های مکانیکی زیرحوزه‌ی آبخیز گوش در بالادست سد کارده استان خراسان رضوی نشان داد که پایداری بندهای خشک‌چین بهتر از بندهای گابیونی است. دلیل اصلی کاهش کارایی بندهای گابیونی بر اثر ایجاد حفره‌هایی در محل اتصال بند به کناره‌ی رودخانه و تا حدی آب‌شستگی پایین‌دست این سازه‌ها دانسته شد. علت تخریب بندهای خشک‌چین طراحی ضعیف سازه و ظرفیت کم بند در عبور دادن سیلاب، و جابه‌جاشدن سنگ‌ها به‌علت عبور کردن تراکتور و حیوانات از روی سرریز دانسته شد.

بررسی ابدالی و همکاران (۲۰۱۳ الف) نشان‌دهنده‌ی مقاوم‌بودن سازه‌های گابیونی در برابر نشست است. عملیات مکانیکی اجراشده در آبخیز با بررسی‌های تدوین‌شده تطابق نداشت. بررسی ابدالی و همکاران (۲۰۱۳ ب) نیز نشان داد که بر اثر روی داد شکستگی زیرین از کناره‌ها به ۲/۶۹٪ از سازه‌های گابیونی خسارت وارد شده است. علت روی دادن شکستگی زیرین از کناره‌ها، رعایت‌نکردن طول خزش مناسب، کافی‌نبودن طول دستک‌ها و اتصال نادرست دیواره‌ی سازه به دیواره‌ی جانبی آبراه بود. نتایج ارزیابی غفاری و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که اجرای طرح‌های آبخیزداری در کاهش میزان فرسایش موفق نبوده است. دلیل عمده‌ی کارایی کم اجرای طرح بر کاهش فرسایش، اجرانشدن عملیات زیستی مناسب، ضعف‌داشتن در اجرا، نظارت و ارزیابی طرح در

آسیب‌های وارد شده به سازه‌های آبخیز و مشخص شدن علت آن‌ها اقدام موثری در کاهش خسارت به آن‌ها در آینده است.

مواد و روش‌ها

مدیریت آبخیزداری جهاد سازندگی پیشین پهنه‌ی با وسعت ۱۵۰۸۶ هکتار از آبخیز غرب شیراز را با هدف مهار سیلاب در این شهر بررسی کرده است (افای‌جی‌او ۲۰۰۰). یکی از زیر حوزه‌های آبخیز این پهنه واحد آب‌شناسی کَلستان است. از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۵ عملیات اجرایی آبخیزداری در سه برنامه‌ی مدیریتی (قرق و آموزش‌های ترویجی)، زیستی (بذرکاری و نهال‌کاری) و سازه‌ی (بندهای خاکی، سنگی- ملاتی و خشک‌چین)، در این زیرحوزه انجام شد. بررسی‌های میدانی این پژوهش در سال ۱۳۹۱ انجام شد.

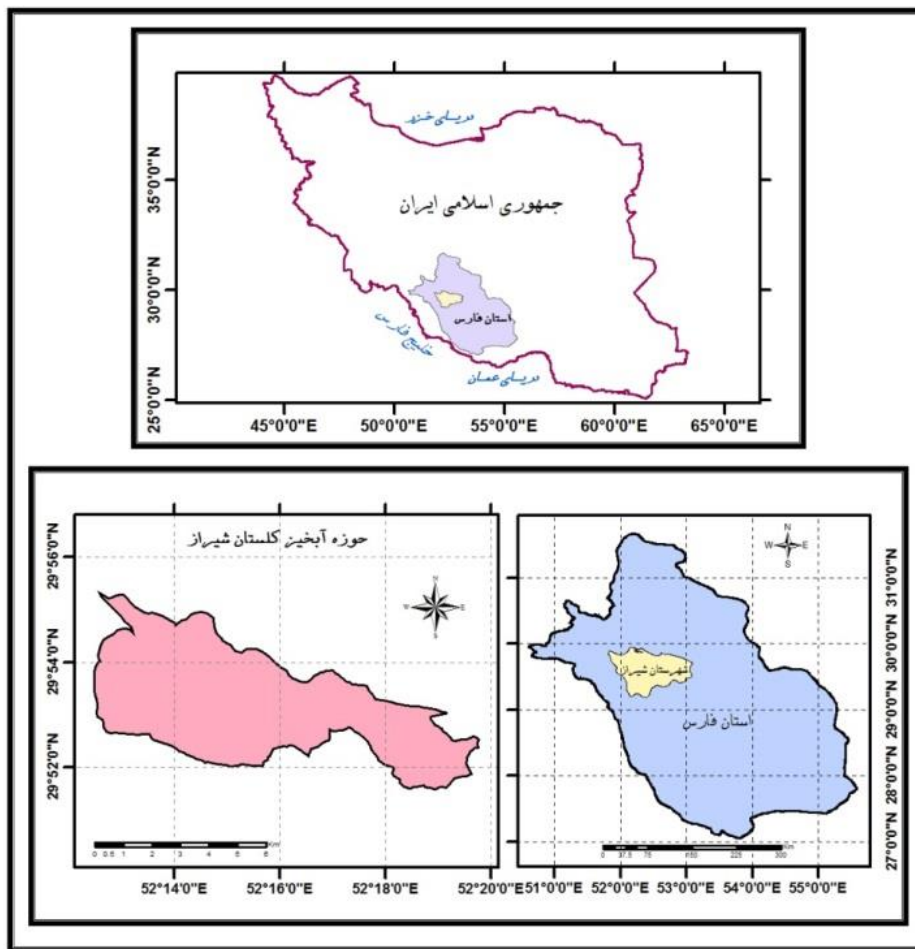
منطقه‌ی پژوهش

آبخیز کَلستان با مساحت ۳۶۶۸/۸۶ هکتار یکی از زیرحوزه‌های آبخیز مهارلو است، که در فاصله‌ی ۳۰ کیلومتری شمال غربی شیراز بین طول «۲۷° ۱۲' ۵۲ تا «۴۹' ۱۹° ۵۲ شرقی و عرض «۳۷' ۵۱° ۲۹ تا «۱۴' ۵۵° ۲۹ شمالی است و از جاده‌ی شیراز- سپیدان دست‌رس است (شکل ۱). بیش‌تر سازه‌های کوتاه (۸۵٪) در آبراه اصلی آبخیز اجرا شد.

همه‌ی مرحله‌های اجرا، و رعایت‌نکردن معیارها و نکته‌های فنی در ساخت سازه‌ها دانسته شده‌است. ارزیابی حیدری و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که آب‌شستگی و بد اجراکردن سازه به ترتیب با ۳۴ و ۱۷٪ عامل تخریب سازه‌ها است. با توجه به عمر کم سازه‌ها، علامت‌های خسارت‌های مشاهده‌شده نمایان‌گر شروع تخریب است. تحلیل یکی از سازه‌های نمونه‌ی طرح نشان داد که پدیده‌های لغزش، واژگونی و آب‌شستگی^۱ در سازه‌ها بر اساس بیش‌ترین آب‌دهی مشاهده‌شده وجود نداشته است، و فقط احتمال نشست سازه در بستر وجود دارد، که شاید ناشی از وزن آن به دلیل طراحی دست‌بالای آن باشد. نتایج لوکاس برجا و همکاران (۲۰۱۸) در ارزیابی خصوصیات ۲۷۳ بندکوتاه با طول عمر ۳ تا ۵ سال در آبخیز کولیاکن مکزیک نشان داد که پوشش گیاهی و اندازه‌ی نهر تاثیرگذارترین عامل در طول عمر بندهای کوتاه است. سازه‌های بلند در مقایسه با سازه‌های کوتاه و یا عریض بیش‌ترین خطر ناپایداری را دارند. پوشش گیاهی روی بدنه از بند محافظت می‌کند و به آن کمک می‌کند که پایدار بماند.

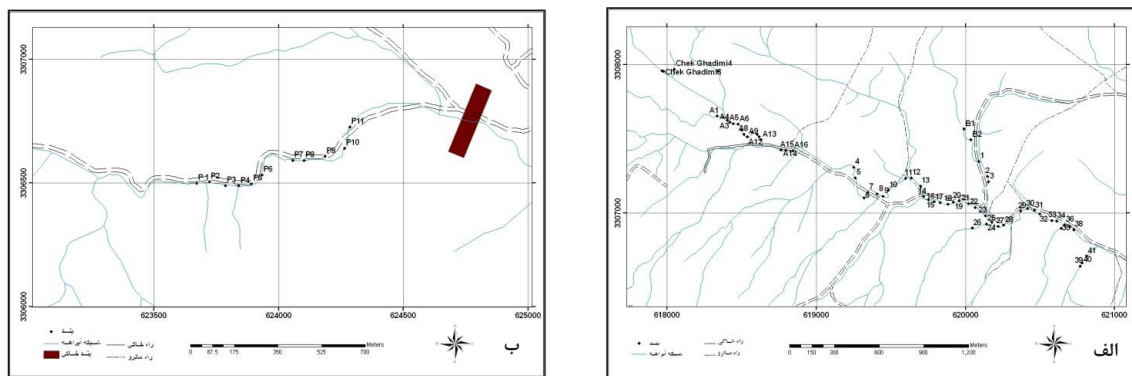
پایداری سازه یکی از الزامات اصلی در طراحی سازه است، و این اطمینان باید قبل از اجرای سازه به‌دست‌آید. تحقیقات پیشین نشان‌دهنده‌ی طراحی و اجرا کردن نامناسب سازه‌ها، از عامل‌های تخریب آن‌ها، است. با توجه به این‌که ارزیابی پایداری سازه‌ها در آبخیز کَلستان انجام نشده است، این پژوهش به بررسی پایداری در طراحی سازه‌ها پرداخته است. تجربه‌ی به‌دست‌آمده از بررسی

تحلیل پایداری بندهای سنگی-ملاتی آبخیز گلستان...



شکل ۱- موقعیت آبخیز گلستان در کشور، فارس و شهرستان شیراز.

سازه‌های مکانیکی و بند خاکی آبخیز گلستان در دو بخش بالایی و پایین این آبخیز است (شکل ۲).



شکل ۲- نقشه‌ی موقعیت سازه‌های کوتاه و بند خاکی حوزه‌ی آبخیز گلستان.

الف- بخش بالایی ب- بخش پایینی

شد. نتایج نهایی نیز به شیوه‌ی توصیفی تحلیل شد.

پایداری در برابر نشست

برای برآورد مقاومت مجاز خاک، دو عامل گسیختگی برشی خاک و نشست باید با هم بررسی شود. یکی از عوامل مؤثر در پایداری بندها مقاومت برشی مصالح خاکی پی است. مقاومت برشی خاک‌ها تابع اندازه‌ی ذره‌ها، دانه‌بندی، تراکم، رطوبت و شرایط زه‌کشی در حین برش و سرعت برش، و برای خاک‌های چسبنده تاریخچه‌ی بارگذاری است. مقاومت برشی توده‌ی خاک مقاومت داخلی واحد سطح آن خاک است که ممکن است برای مقابله با گسیختگی یا لغزش در امتداد هر صفحه‌ی داخلی بروز یابد. تراکم ناقص خاک یا پی ضعیف باعث نشست کردن تدریجی می‌شود که ممکن است مسیرهای ناخواسته‌ی پی برای عبور آب در پی بند ایجاد کند. ظرفیت باربری خاک با بررسی آزمایشگاهی (برای نمونه آزمایش SPT و نفوذ معیاری) تعیین می‌شود (طاحونی ۲۰۱۱). با این آزمایش، نوع خاک و مقاومت مجاز آن به‌دقت تعیین می‌شود. این کار معمولاً باید با دقت بسیار انجام شود، ولی در این پژوهش، به‌دلیل کوچک‌بودن سازه و اهمیت کم‌تر آن، از انجام آزمایش‌های دقیق‌تر چشم‌پوشی، و بررسی‌های میدانی بسنده دانسته شد. برای تعیین تنش مجاز، خاک بستر به سه گروه رس، ریگ و سنگ تقسیم شد. برای تعیین تنش وارده بر بستر سازه از رابطه‌ی ۱ استفاده شد.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

σ تنش (کیلوگرم بر سانتی متر مربع)، F نیروی وارده (کیلوگرم)، و A سطح مقطع پی (سانتی‌متر مربع) است. از آن‌جا که خاک بستر به اشباع نزدیک است، از جدول معیار تنش مجاز خاک استفاده شد (جدول ۱).

جدول ۱- اندازه‌های معیاری تنش مجاز خاک (داس ۱۹۹۴).

ردیف	نوع خاک	تنش مجاز kg/cm^2
۱	رس	۱/۵
۲	ریگ	۲/۵
۳	بستر سنگی	۱۶

باشد، سازه در مقابل لغزش مقاوم است (قنبری ۲۰۱۴).

رابطه‌ی (۲)

$$Safty\ Factor\ Sliding\ (S.F.S.) = \frac{FR}{Fwu + Fs} > 2$$

FR نیروی اصطکاک قاعده، Fwu نیروی آب بالادست، و Fs نیروی رسوب است.

بر اساس نتایج داده‌برداری، ۷۵ بند (۷۰ بند سنگی-ملاتی، ۴ بند خشک‌چین و ۱ بند خاکی) در آبخیز شناسایی، و مشخصات آن‌ها اندازه‌گیری و یادداشت کرده شد. از آن‌جا که هدف این پژوهش تحلیل بندهای کوتاه سنگی-ملاتی بود، بررسی‌ها فقط بر این سازه‌ها انجام شد. ارتفاع بندها از ۶۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متر، فاصله‌ی بین آن‌ها از ۲۵ تا ۱۷۸ متر، و ضخامت آن‌ها از ۱۰۰ تا ۱۴۰ سانتی‌متر است. هیچ‌کدام از بندها حوضچه‌ی آرامش ندارد، و ۲۳ تای آن‌ها دو دیواره‌ی نگه‌دارنده‌ی چپ و راست دارد.

روش پژوهش

اطلاعات بارشی از ایستگاه هواشناسی گلستان، و نتایج برآورد آب‌دهی و حجم سیلاب آبخیز پیش از اجرای طرح به‌روش SCS (شماره‌ی منحنی CN: ۷۷)، از بررسی‌های توجیهی-اجرایی آبخیز گلستان شیراز گرفته شد (اف ای جی او، ۲۰۰۰). بیش‌ترین آب‌دهی ثبت‌شده پس از احداث سازه‌ها تا زمان برداشت‌های صحرایی از مصباح (۲۰۱۵) گرفته شد. مرز آبخیز با سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی و نقشه‌های پستی‌بلندی راقومی ۱:۲۵۰۰۰ تعیین، و با GPS و عملیات میدانی تصحیح شد. موقعیت سازه‌ها (طول و عرض جغرافیایی) نیز با عملیات میدانی و با GPS تعیین و اندازه‌ی آن‌ها با متر گرفته شد. تعداد، نوع سازه، وضعیت مصالح، وضعیت تخریب (شدت و محل)، کارایی فعلی، نوع تخریب، و عامل-های تخریب در برگه‌های اطلاعات صحرایی ثبت، و نقشه‌ی پراکنش آن‌ها تهیه شد. با کاربرد داده‌های صحرایی در نرم‌افزار اکسل، پایداری سازه‌ها (۷۰ بند کوتاه سنگی ملاتی) تحلیل شد. برای این تحلیل، در ابتدا پایداری در برابر نشست، و سپس پایداری در برابر واژگونی و لغزش بررسی شد. علت آسیب‌دیدگی سازه‌ها با برداشت‌های میدانی و تعیین مقدار تخریب آن‌ها بررسی

پایداری در برابر لغزش

حرکت سازه‌ی احداث‌شده به سمت پایین‌دست آبراه بر اثر نیروهای افقی لغزش را در سازه موجب می‌شود. محرک لغزش نیروی آب بالادست، نیروی رسوب و نیروی بالابرنده است. نیروهای مقاوم در برابر لغزش نیروی اصطکاک قاعده است، که متأثر از نیروی وزن سازه و نیروی وزن آب عبورکرده از سرریز است. بعد از محاسبه‌ی این نیروها، باید ضریب پایداری لغزش (S.F.S.) محاسبه شود (رابطه‌ی ۲). اگر این ضریب بیشتر از ۲

پایداری در برابر واژگونی

واژگونی چرخش سازه به دور پاشنه به طرف پایین دست آن بر اثر نیروهای چرخاننده است. نیروهای موثر در این پدیده به دو دسته‌ی نیروهای مقاوم و محرک تقسیم می‌شود. نیروی آب بالادست، نیروی رسوب، نیروی بالابرنده، نیروی آب پویایی و نیروی دینامیک در گروه نیروهای محرک است و گروه نیروهای مقاوم شامل نیروی وزن سازه، نیروی وزن آب عبورکرده از سرریز، نیروی آب پایین دست و نیروی اصطکاک در قاعده است. از نیروی آب پایین دست به دلیل ناچیز بودن چشم‌پوشی شد. نقطه‌ی اثر نیروهای آب و رسوب یک سوم ارتفاع ستون آب یا رسوب است. بعد از تعیین مقدار نیروها باید مقدار ضریب پایداری سازه در مقابل واژگونی (S.F.O.) به دست آید. با محاسبه‌ی نیروها و لنگرگیری به دور پاشنه‌ی سازه، لنگرهای مقاوم (MR) و محرک (ME) به دست می‌آید. با تقسیم کردن لنگر مقاوم بر لنگر محرک ضریب اطمینان در مقابل واژگونی تعیین می‌شود (رابطه‌ی ۳). اگر این ضریب از ۱/۵ بیشتر باشد، سازه در مقابل واژگونی مقاوم است.

(۳)

$$\text{Safety Factor Overturning (S.F.O.)} = \frac{MR}{ME} > 1.5$$

نیروهای مؤثر در پایداری در مقابل لغزش و واژگونی شامل نیروی آب بالادست، آب پایین دست، رسوب، بالابرنده، وزن سازه، وزن آب، هیدرودینامیک، اصطکاک در قاعده، و نیروی دینامیک است (قنبری ۲۰۱۴).

نیروی آب بالادست، نیروی ارتفاع آبی است که پشت سازه جمع می‌شود و از نیروهای محرک است. برای تعیین این نیرو از رابطه‌ی ۴ استفاده شد.

$$F_w = \frac{1}{2} \gamma_w h^2 \quad (4)$$

ارتفاع آب (h) (سانتی‌متر) برابر مجموع ارتفاع‌های متوسط سرریز، ارتفاع عبورکرده‌ی آب از سرریز، و ارتفاع پاچین است. γ_w وزن مخصوص آب، ۱۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب است، و ارتفاع پاچین در این پژوهش بر اساس اطلاعات میدانی برای تمام سازه‌ها ۲۵ سانتی‌متر گرفته شد.

نیروی رسوب، رسوب پشت سازه نیروی محرکی ایجاد می‌کند که از رابطه‌ی ۵ محاسبه می‌شود.

$$F_s = \frac{1}{2} \gamma_{sed} h_s^2 \left(\frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \right) \quad (5)$$

FS نیروی رسوب پشت سازه (نیوتن)

γ_{sed} وزن مخصوص رسوب (نیوتن بر مترمکعب): این عامل باتوجه به بافت رسوب و درصد اجزای تشکیل‌دهنده‌ی آن ۱۷۰۰

گرفته شد.

h_s ارتفاع رسوب = ارتفاع پاچین + ارتفاع متوسط سرریز - ارتفاع خالی پشت بند

زاویه‌ی اصطکاک داخلی رسوب‌ها: از آن جا که بافت خاک به سیلت نزدیک بود، این عامل ۷ درجه گرفته شد.

نیروی بالابرنده. این نیرو بر اثر ارتفاع آب در بالادست h_1 و پایین دست سازه h_2 از زیر سازه به آن فشار می‌آورد، و سازه را به دور پاشنه می‌چرخاند، و باعث واژگونی آن می‌شود (رابطه‌ی ۶). این نیرو از نیروهای محرک است.

$$\text{Uplift Force} = \frac{h_1 + h_2}{2} \times L \times \gamma_w \quad (6)$$

L فاصله‌ی گرانیگاه مقطع از پاشنه (متر) و γ_w وزن مخصوص آب (نیوتن بر مترمکعب) است.

نیروی وزن سازه. وزن سازه یکی از نیروهای اصلی (از نیروهای مقاوم) است که به سهولت و با ضرب کردن وزن مخصوص مواد سازه (SY) در حجم آن محاسبه می‌شود. برای محاسبه‌ی وزن سازه سطح مقطع نامنظم سازه‌ی حفاظتی به قطعه‌های هندسی منظم تقسیم، و مساحت قطعه‌های مختلف آن محاسبه کرده می‌شود. سازه‌های اجراشده در منطقه از جنس سنگ و سیمان است، و وزن مخصوص آن ۲۲۰ نیوتن بر مترمکعب گرفته شد. برای برآورد کردن حجم کل سازه‌ها، حجم دستک، سرریز و دیواره‌ی نگه‌دارنده محاسبه و منظور کرده شد. نقطه‌ی اثر برآیند نیروی وزن هر قطعه با توجه به شکل همان قطعه تعیین می‌شود. در این سازه‌ها نقطه‌ی اثر نیروی وزن، نصف عرض سازه گرفته شد.

نیروی وزن آب. این نیرو (WW Force) که از نیروهای مقاوم است، ناشی از وزن آب (نیوتن) عبورکرده از سرریز سازه است و به پایداری سازه کمک می‌کند (رابطه‌ی ۷).

$$W_w \text{ Force} = V * \gamma_w \quad (7)$$

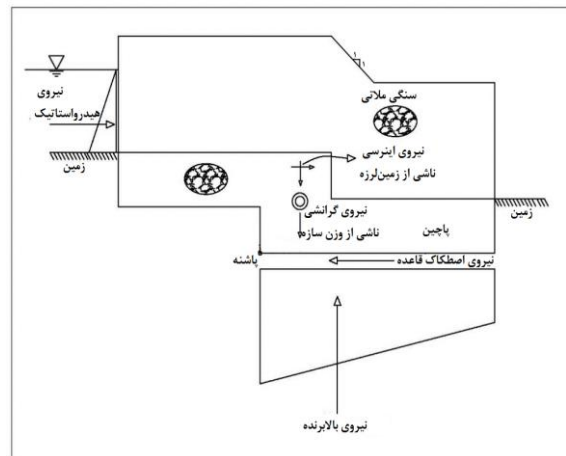
V حجم یک مترمکعب آب عبورکرده از سازه و γ_w وزن مخصوص آب است. در این پژوهش، ارتفاع آب عبورکرده از سرریز ناچیز بود ولی در محاسبات آورده شد.

نیروی هیدرودینامیکی. نیروی هیدرودینامیکی از نیروهای محرک است، اما در این سازه‌ها به دلیل کوچک بودن، تشکیل نشدن موج و ضربه‌ی ناچیز آب در پشت سازه از آن چشم‌پوشی شد.

نیروی آب پایین دست. از نیروهای مقاوم است ولی به دلیل کوچک بودن سازه و نبودن ارتفاع آبی در پایین دست از آن چشم‌پوشی شد.

نیروی اصطکاک در قاعده. این نیرو (FR) نیز از نیروهای مقاوم و نتیجه‌ی وزن سازه و ضریب اصطکاک (ناشی از عمق پی) است.

نیروهای محرک است. به دلیل کوچک بودن سازه‌ها از به کارگیری این نیروها در معادلات حاکم چشم‌پوشی شد. عمل کرد نیروها بر سازه‌های کوتاه سنگی-ملاتی در شکل ۳ دیده می‌شود. نیروهای محرک و مقاوم و تأثیر آن بر بخش‌های مختلف سازه مانند پاشنه، پاچین، گرانیگاه و تاج سرریز در این شکل نمادی نشان داده شد.



نیروی اصطکاک در قاعده از رابطه‌ی ۸ به دست می‌آید.

$$\text{Friction Force (FR)} = \mu \times (W - U) \quad (8)$$

ضریب اصطکاک μ به دلیل آن که پی سازه اجرا نشده بود ۰/۳ گرفته شد. U نیروی بالابرنده و W نیروی وزن سازه است. نیروهای دینامیک. نیروهای دینامیک مانند نیروهای زلزله و باد از

شکل ۳- نیروهای وارد شده بر مقطع سازه‌ی کوتاه سنگی-ملاتی در آبخیز گلستان.

آب‌دهی ۷ مترمکعب در ثانیه و حجم سیلاب ۱۴۱۰۰۰ مترمکعب بوده است (قهاری ۲۰۱۴). این مقدار آب‌دهی سیلاب معادل دوره‌ی بازگشت ۵ ساله است. بنابراین آب‌دهی با دوره‌ی بازگشت ۵ ساله بر سازه‌های ساخته‌شده در آبراه‌ها گذشته‌است. در حالی که آب‌دهی اوج در بندهای پی‌درپی احداث‌شده کاهش یافته و توان تخریب سیل کم شده‌است. آب‌دهی طراحی پیش‌بینی شده‌ی بندهای کوتاه با دوره‌ی بازگشت ۲۵ ساله هنوز روی‌نداده است، بنابراین نمی‌توان براساس آب‌دهی آن ارزیابی کرد.

نتایج و بحث

پایداری آب‌دهی سیلاب با دوره‌ی بازگشت مختلف برای ارزیابی بندهای کوتاه سنگی-ملاتی محاسبه شد (جدول ۲). با استفاده از این نتایج، مقاومت سازه‌ها در سیلاب‌های با دوره‌ی بازگشت مختلف از جمله آب‌دهی سیل طراحی (با دوره‌ی بازگشت ۲۵ ساله) ارزیابی شد. نتایج آب‌دهی سیلاب با دوره‌ی بازگشت‌های متفاوت در جدول ۲ نشان داده شد. سازه‌های کوتاه اجراشده در این آبخیز تا سال ۱۳۸۵ ساخته شده است. بررسی‌های سازه‌ی این پژوهش در سال ۲۰۱۱ نشان می‌دهد که در آن پنج سال بیش‌ترین

جدول ۲- نتیجه‌ی برآورد آب‌دهی و حجم سیلاب در آبخیز گلستان (مصباح ۲۰۱۵).

دوره‌ی بازگشت (سال)	۱/۲۵	۲	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
آب‌دهی (مترمکعب بر ثانیه)	۰/۱۳	۳/۴	۱۲/۸	۲۱	۲۶/۳	۳۰	۳۳/۲	۴۳/۱	۵۳/۶
حجم (متر مکعب)	۲۰۵۸	۶۵۸۶۰	۲۵۲۰۶۳	۴۱۱۸۷۲	۵۱۳۳۴۲	۵۸۶۸۷۸	۶۴۵۵۷۷	۵۲۲۲۱۲	۱۰۳۳۰۱۱

نوع خاک ۲/۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع است. براساس این حد مجاز، این سازه‌ها نشست نمی‌کند. بازه‌ی تنش خاک بستر شنی ۴/۴٪ از سازه‌ها ۰/۲۴ تا ۰/۳۶ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع است. باتوجه به تنش مجاز ۱/۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع، نشست

نتایج بررسی بندها نشان‌دهنده‌ی پایداری همه‌ی سازه‌ها در برابر نشست است (جدول ۳). از خاک بستر سازه‌ها ۳۶/۸٪ از جنس سنگ‌ریزه است. بازه‌ی تنش‌های خاک بستر سنگ‌ریزه‌ی ۰/۱۲ تا ۰/۶۱ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع محاسبه شد. تنش مجاز این

تحلیل پایداری بندهای سنگی-ملاتی آبخیز کَلستان...

سنگی ۱۹/۱٪ از سازه‌ها ۰/۱۴ تا ۰/۳۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع بود، که در مقایسه با تنش مجاز ۱۶ عدد بسیار ناچیزی است، و نشان می‌دهد که آن‌ها پایدار اند.

در این سازه‌ها عامل تخریب نیست. رس ۳۹/۷٪ از خاک بستر سازه‌ها را تشکیل می‌دهد. بازه‌ی تنش‌ها ۰/۱۲ تا ۰/۴۳ محاسبه شد. براساس حد مجاز تنش در رس (۱/۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع) سازه‌ها در برابر نشست پایدار است. بازه‌ی تنش در بستر

جدول ۳- نشست بندها در آبخیز کَلستان.

ردیف	شماره- ی روی نقشه و زمین	خاک بستر	تنش موجود Kg/cm ²	تنش مجاز kg/cm ²	وضعیت پایداری	ردیف	شماره‌ی روی نقشه و زمین	خاک بستر	تنش موجود Kg/cm ²	تنش مجاز kg/cm ²	وضعیت پایداری
۱	۱	ریگ	۰/۲۴	۲/۵	پایدار	۱۷	۱۷	رس	۰/۲۲	۱/۵	پایدار
۲	۲	ریگ	۰/۳۳	۲/۵	پایدار	۱۸	۱۸	شن	۰/۳۶	۱/۵	پایدار
۳	۳	ریگ	۰/۲۷	۲/۵	پایدار	۱۹	۱۹	ریگ	۰/۲۶	۲/۵	پایدار
۴	۴	ریگ	۰/۲۸	۲/۵	پایدار	۲۰	۲۰	ریگ	۰/۲۹	۲/۵	پایدار
۵	۵	ریگ	۰/۲۵	۲/۵	پایدار	۲۱	۲۱	رس	۰/۳۴	۱/۵	پایدار
۶	۶	رس	۰/۱۴	۱/۵	پایدار	۲۲	۲۲	ریگ	۰/۲۸	۲/۵	پایدار
۷	۷	رس	۰/۱۲	۱/۵	پایدار	۲۳	۲۳	ریگ	۰/۲۹	۲/۵	پایدار
۸	۸	رس	۰/۱۷	۱/۵	پایدار	۲۴	۲۴	ریگ	۰/۲۶	۲/۵	پایدار
۹	۹	رس	۰/۲۱	۱/۵	پایدار	۲۵	۲۵	رس	۰/۲۲	۱/۵	پایدار
۱۰	۱۰	ریگ	۰/۱۳	۲/۵	پایدار	۲۶	۲۶	رس	۰/۳۱	۱/۵	پایدار
۱۱	۱۱	ریگ	۰/۱۴	۲/۵	پایدار	۲۷	۲۷	ریگ	۰/۲۸	۲/۵	پایدار
۱۲	۱۲	ریگ	۰/۶۱	۲/۵	پایدار	۲۸	۲۸	ریگ	۰/۲۷	۲/۵	پایدار
۱۳	۱۳	ریگ	۰/۱۲	۲/۵	پایدار	۲۹	۲۹	ریگ	۰/۲۹	۲/۵	پایدار
۱۴	۱۴	رس	۰/۱۲	۱/۵	پایدار	۳۰	۳۰	ریگ	۰/۳۷	۲/۵	پایدار
۱۵	۱۵	رس	۰/۳۴	۱/۵	پایدار	۳۱	۳۱	ریگ	۰/۲۶	۲/۵	پایدار
۱۶	۱۶	رس	۰/۲۳	۱/۵	پایدار	۳۲	۳۲	ریگ	۰/۲۹	۲/۵	پایدار

ادامه‌ی جدول ۳- نشست بندها در آبخیز گلستان

ردیف	شماره‌ی روی نقشه و زمین	خاک بستر	تنش موجود Kg/cm ²	تنش مجاز kg/cm ²	وضعیت پایداری	ردیف	شماره‌ی روی نقشه و زمین	خاک بستر	تنش موجود Kg/cm ²	تنش مجاز kg/cm ²	وضعیت پایداری
۳۳	۳۳	ریگ	۰/۲۹	۲/۵	پایدار	۵۲	A11	رس	۰/۲۹	۲/۵	پایدار
۳۴	۳۴	ریگ	۰/۳۷	۲/۵	پایدار	۵۳	A12	رس	۰/۲۶	۱/۵	پایدار
۳۵	۳۵	رس	۰/۳۲	۱/۵	پایدار	۵۴	A13	شن	۰/۲۴	۱/۵	پایدار
۳۶	۳۶	ریگ	۰/۲۶	۲/۵	پایدار	۵۵	A14	رس	۰/۳۸	۱/۵	پایدار
۳۷	۳۷	سنگ	۰/۲۴	۱۶	پایدار	۵۶	A15	رس	۰/۳۱	۱/۵	پایدار
۳۸	۳۸	سنگ	۰/۱۴	۱۶	پایدار	۵۷	A16	رس	۰/۲۹	۱/۵	پایدار
۳۹	۳۹	رس	۰/۱۹	۱/۵	پایدار	۵۸	P1	سنگ	۰/۱۴	۱۶	پایدار
۴۰	۴۰	رس	۰/۳۱	۱/۵	پایدار	۵۹	P2	سنگ	۰/۲۱	۱۶	پایدار
۴۱	۴۱	رس	۰/۴۳	۱/۵	پایدار	۶۰	P3	سنگ	۰/۲۷	۱۶	پایدار
۴۲	A1	-	-	-	ناقص	۶۱	P4	سنگ	۰/۳۴	۱۶	پایدار
۴۳	A2	رس	۰/۲۴	۱/۵	پایدار	۶۲	P5	سنگ	۰/۲۸	۱۶	پایدار
۴۴	A3	-	-	-	تخریب شده	۶۳	P6	سنگ	۰/۳۱	۱۶	پایدار
۴۵	A4	رس	۰/۳۱	۱/۵	پایدار	۶۴	P7	سنگ	۰/۲۸	۱۶	پایدار
۴۶	A5	رس	۰/۳۸	۱/۵	پایدار	۶۵	P8	سنگ	۰/۳۱	۱۶	پایدار
۴۷	A6	رس	۰/۳۴	۱/۵	پایدار	۶۶	P9	سنگ	۰/۳۵	۱۶	پایدار
۴۸	A7	رس	۰/۲۷	۱/۵	پایدار	۶۷	P10	سنگ	۰/۳۴	۱۶	پایدار
۴۹	A8	رس	۰/۲۹	۱/۵	پایدار	۶۸	P11	سنگ	۰/۲۹	۱۶	پایدار
۵۰	A9	رس	۰/۲۷	۱/۵	پایدار	۶۹	B1	ریگ	۰/۲۳	۲/۵	پایدار
۵۱	A10	شن	۰/۲۹	۱/۵	پایدار	۷۰	B2	ریگ	۰/۲۶	۲/۵	پایدار

(S.F.S) ۲ و ضریب پایداری سازه در مقابل واژگونی (S.F.S) ۱/۵ است، که کوچکتر از عددهای به‌دست‌آمده است. این اختلاف نشان‌دهنده‌ی اجرای سازه‌های مکانیکی با طراحی دست‌بالا (Over Design) است، و سازه‌ها حجیم طراحی و اجرا شده‌اند. پراکنده‌بودن زیاد ضریب‌های اطمینان نااقتصادی بودن طرح را نشان می‌دهد.

تحلیل نتایج بررسی واژگونی و لغزش بندها (جدول ۴) نشان‌دهنده‌ی پایداری ۹۸/۶٪ بندها در برابر واژگونی و لغزش است. فقط یکی (۱/۴٪) از آن‌ها به‌طور کامل تخریب شده است. بازه‌ی ضریب اطمینان در سازه‌ها، خیلی بزرگ و متفاوت است (جدول ۴)؛ به‌طوری‌که بند شماره‌ی ۳ کوچک‌ترین ضریب‌های اطمینان لغزش و واژگونی (۲/۴۷ و ۶/۲۲)، و بند شماره‌ی ۳۹ بزرگ‌ترین آن (۵۷/۷۷ و ۸۹/۵۵) را دارد. درحالی‌که ضریب پایداری لغزش

تحلیل پایداری بندهای سنگی-ملاتی آبخیز گلستان...

جدول ۴- واژگونی و لغزش بندها در آبخیز گلستان.

وضعیت پایداری	ضریب اطمینان واژگونی	ضریب اطمینان لغزش	شماره‌ی ردیف		وضعیت پایداری	ضریب اطمینان واژگونی	ضریب اطمینان لغزش	شماره‌ی ردیف و نقشه	
			روی نقشه و زمین	ردیف				و زمین	ردیف
پایدار	۲۳/۵۷	۱۲/۵۷	۱۶	۱۶	تخریب شده	-	-	۱	۱
پایدار	۱۷/۰۶	۸/۰۸	۱۷	۱۷	پایدار	۲۷/۴۲	۱۱/۳۳	۲	۲
پایدار	۲۹/۸۸	۱۱/۹۶	۱۸	۱۸	پایدار	۶/۲۲	۲/۴۷	۳	۳
پایدار	۲۰/۰۴	۹/۰۸	۱۹	۱۹	پایدار	۹/۵۸	۳/۹۴	۴	۴
پایدار	۱۵/۴۷	۷/۴۱	۲۰	۲۰	پایدار	۳۰/۶۱	۱۴/۶۷	۵	۵
پایدار	۲۴/۱۴	۱۰/۳۸	۲۱	۲۱	پایدار	۱۵/۱۳	۵/۹۲	۶	۶
پایدار	۱۸/۳۴	۱۰/۶۹	۲۲	۲۲	پایدار	۱۵/۳۰	۶/۷۱	۷	۷
پایدار	۴۸/۷۱	۲۷/۴۰	۲۳	۲۳	پایدار	۱۹/۴۰	۸/۵۶	۸	۸
پایدار	۳۵/۳۹	۱۶/۷۴	۲۴	۲۴	پایدار	۱۴/۴۵	۶/۷۵	۹	۹
پایدار	۱۵/۴۹	۶/۴۲	۲۵	۲۵	پایدار	۱۸/۲۶	۸/۳۴	۱۰	۱۰
پایدار	۲۸/۷۹	۱۳/۷۸	۲۶	۲۶	پایدار	۱۵/۰۳	۶/۲۰	۱۱	۱۱
پایدار	۴۳/۷۰	۲۴/۵۹	۲۷	۲۷	پایدار	۱۴/۶۹	۵/۸۳	۱۲	۱۲
پایدار	۵۶/۵۷	۳۲/۲۴	۲۸	۲۸	پایدار	۱۷/۹۵	۷/۹۲	۱۳	۱۳
پایدار	۸۸/۸۱	۵۱/۸۹	۲۹	۲۹	پایدار	۸/۹۹	۳/۸۶	۱۴	۱۴
پایدار	۱۹/۸۳	۹/۶۵	۳۰	۳۰	پایدار	۳۳/۱۲	۱۶/۷۷	۱۵	۱۵
پایدار	۱۸/۶۶	۷/۳۴	A10	۵۱	پایدار	۳۹/۸۳	۲۳/۵۶	۳۱	۳۱
پایدار	۲۳/۰۸	۹/۲۱	A11	۵۲	پایدار	۳۵/۷۴	۲۰/۳۵	۳۲	۳۲
پایدار	۲۴/۷۱	۱۴/۹۷	A12	۵۳	پایدار	۷۱/۸۵	۴۳/۵۹	۳۳	۳۳
پایدار	۳۳/۵۰	۱۵/۰۶	A13	۵۴	پایدار	۲۴/۳۶	۱۲/۸۲	۳۴	۳۴
پایدار	۱۳/۷۳	۵/۴۲	A14	۵۵	پایدار	۳۱/۳۳	۱۲/۹۵	۳۵	۳۵
پایدار	۱۹/۴۹	۸/۴۹	A15	۵۶	پایدار	۳۳/۲۴	۱۸/۸۲	۳۶	۳۶
پایدار	۱۵/۲۵	۸/۷۳	A16	۵۷	پایدار	۲۳/۰۴	۱۰/۲۶	۳۷	۳۷
پایدار	۲۰/۷۷	۹/۸۴	P1	۵۸	پایدار	۷/۰۷	۳/۰۹	۳۸	۳۸
پایدار	۱۶/۰۴	۹/۱۸	P2	۵۹	پایدار	۸۹/۵۵	۵۷/۷۷	۳۹	۳۹
پایدار	۲۸/۵۲	۱۶/۶۶	P3	۶۰	پایدار	۴۳/۱۰	۲۵/۰۰	۴۰	۴۰
پایدار	۲۶/۹۰	۱۵/۶۱	P4	۶۱	پایدار	۴۲/۰۸	۲۲/۵۴	۴۱	۴۱
پایدار	۳۳/۳۸	۲۱/۱۰	P5	۶۲	ناقص	-	-	A1	۴۲
پایدار	۲۸/۵۹	۱۶/۷۸	P6	۶۳	پایدار	۱۵/۸۴	۵/۹۵	A2	۴۳
پایدار	۲۴/۷۹	۱۳/۷۷	P7	۶۴	تخریب شده	-	-	A3	۴۴
پایدار	۳۷/۳۰	۲۰/۰۹	P8	۶۵	پایدار	۲۱/۹۱	۸/۱۷	A4	۴۵
پایدار	۴۳/۲۳	۲۶/۳۵	P9	۶۶	پایدار	۲۰/۰۷	۸/۳۰	A5	۴۶
پایدار	۳۰/۲۰	۱۷/۴۵	P10	۶۷	پایدار	۱۳/۳۲	۵/۳۶	A6	۴۷
پایدار	۲۰/۶۵	۱۱/۷۱	P11	۶۸	پایدار	۱۶/۴۳	۶/۶۵	A7	۴۸
پایدار	۳۹/۱۰	۱۷/۴۵	B1	۶۹	پایدار	۱۷/۹۱	۷/۵۷	A8	۴۹
پایدار	۵۳/۰۹	۲۴/۶۴	B2	۷۰	پایدار	۲۱/۱۴	۹/۲۳	A9	۵۰

اگرچه سازه‌ها در برابر واژگونی و لغزش پایدار اند و ضریب‌های اطمینان آن‌ها زیاد است، آسیب‌دیدگی سازه‌ها هم زیاد است. از نظر وضعیت آسیب‌دیدگی بندها، بیش‌ترین درصد تخریب (۱۰۰٪) فقط در یک بند کوتاه بود (جدول ۵).

جدول ۵- وضعیت آسیب‌دیدگی بندها در آبخیز کلستان.

درصد آسیب	تعداد	درصد
۰	۱۶	۲۲/۸۶
۵-۱۰	۳۷	۵۲/۸۵
۳۰-۴۰	۱۱	۱۵/۷۲
۶۰-۷۰	۵	۷/۱۴
۱۰۰	۱	۱/۴۳
جمع	۷۰	۱۰۰

آسیب‌ها بیش‌تر در دستک، پاچین، سرریز و دیواره‌های نگه‌دارنده‌ی سازه‌ها دیده شد. آسیب‌دیدگی بندها بر اثر مصالح نامناسب (۵۳/۷۰٪)، آب‌شستگی (۲۷/۷۸٪) و اجرای نامناسب (۱۸/۵۲٪) به‌ترتیب عامل‌های اصلی آسیب‌دیدگی بندها است (جدول ۶).

جدول ۶- عامل‌های آسیب‌دیدگی بندها در آبخیز کلستان.

آسیب	تعداد	درصد از تعداد بندهای آسیب‌دیده	درصد از کل بندها
نشست	۰	۰	۰
واژگونی	۰	۰	۰
لغزش	۰	۰	۰
مصالح نامناسب	۲۹	۵۳/۷۰	۴۱/۴۳
آب‌شستگی	۱۵	۲۷/۷۸	۲۱/۴۳
اجرای نامناسب	۱۰	۱۸/۵۲	۱۴/۲۸
جمع	۵۴	۱۰۰	۷۷/۱۴

شکل‌های ۴ تا ۷ عمل‌کرد سازه‌ها را در برابر جریان روان‌آب‌ها نشان می‌دهد. تخریب پاچین و پایاب دو نمونه از بندهای آسیب‌دیده در شکل ۴ و ۵ نشان داده شده‌است. برای نشان دادن وضعیت پایداری بندها دو نمونه (بند P۱۱ و ۳۷) در شکل‌های ۶ و ۷ آورده شده‌است. علت پایداری این بندها تکیه‌گاه مناسب آن‌ها است.



شکل ۵- تخریب پایاب بند شماره ۲۷.



شکل ۴- تخریب پاچین بند شماره ۵.



شکل ۷- تکیه‌گاه مناسب بند ۳۷ و پایداری آن



شکل ۶- عبور کردن سیل از سرریز بند P₁₁ و پایداری آن.

بازگشت ۲۵ ساله برای بندهای کوتاه در نظر گرفته شد ولی برای سازه‌ها آب‌دهی با دوره‌ی بازگشت پنج ساله اتفاق افتاد، بنابراین براساس آب‌دهی نمی‌توان سازه‌ها را ارزیابی کرد. نتایج نشان داد که بخشی زیادی از آسیب‌ها جزئی و ترمیم شدنی است. با توجه به شرایط محل ساخت و تخصیص داده‌نشدن اعتبار برای نگهداری و بازسازی سازه‌ها در تشکیلات آبخیزداری کشور، با گذشت زمان از اجرا، مشاهده‌ی این گونه آسیب‌ها دور از انتظار نیست. اما، نباید از نقش اجرای برخی سازه‌ها بی‌طراحی شدن و تحلیل کردن سازه‌ی، انتخاب کردن اشتباه محل اجرای برخی سازه‌ها، و نظارت کردن اندک بر اجرا در بروز و گسترش این آسیب‌ها چشم‌پوشی کرد. ۹۸/۶٪ از بندها در برابر واژگونی و لغزش پایدار است. ضریب‌های اطمینان در سازه‌ها بازه‌ی خیلی بزرگ و متفاوتی دارند؛ این بازه برای ضریب اطمینان لغزش بین ۲/۴۷ و ۵۷/۷۷ و ضریب اطمینان واژگونی بازه‌ی بین ۶/۲۲ و ۸۹/۵۵ است. درحالی که ضریب پایداری لغزش ۲ و ضریب

نتیجه‌گیری

تحلیل پایداری سازه‌های مکانیکی ساخته‌شده در آبخیز گلستان شیراز نشان‌دهنده‌ی پایداری سازه‌ها در برابر پدیده‌های نشست، لغزش و واژگونی است. نتایج نشان داد که بیش‌ترین آسیب (۵۳/۷٪ از بندها) ناشی از تخریب مصالح شامل مصالح سنگی بی‌کیفیت و شسته‌شدن ملات ماسه سیمان به‌کاررفته در بندها است. این نتایج با تحقیق فرهادی (۲۰۱۲) مطابقت دارد، که کیفیت نامناسب مصالح را علت آسیب‌دیدگی سازه‌ها دانست. آسیب بعدی آب‌شستگی (۲۷/۷۸٪ از بندها) بود که به ۱۵ بند کوتاه سنگی-ملاتی آسیب رسانده است. اجرای نامناسب (۱۸/۵۲٪ از بندها) شامل اتصال ناقص دستک‌ها بی‌در نظر گرفتن وضعیت آبراه و تراز نبودن سرریز بندها بوده که در آسیب‌پذیری آن‌ها نقش داشته است، و با تحقیقات غفاری و همکاران (۲۰۱۵) که ضعف در نظارت و اجرا را عامل موفق نبودن طرح آبخیزداری دانستند مطابقت دارد. آب‌دهی طراحی با دوره‌ی

هر مترمکعب پیش‌بینی شود تا ملات ماسه‌سیمان تنش‌های بیش‌تری را تحمل، و چسبندگی بیش‌تری به مصالح سنگی پیدا کند.

این تحقیق تنها با بررسی‌های میدانی و اندازه‌گیری دقیق اندازه‌ی سازه‌ها و تعیین عوامل‌های تخریب آن انجام شد. برای بررسی دقیق تأثیر عوامل زمین‌فنا (چسبندگی، زاویه‌ی اصطکاک داخلی، وزن مخصوص، دانه‌بندی، تراکم و درصد رطوبت) در پایداری سازه‌ها نیاز به انجام آزمایش‌های مکانیک خاک است، که باید در پژوهش‌های آینده به آن‌ها پرداخته شود.

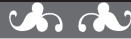
سپاسگزاری

این پژوهش با پشتیبانی مالی سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور و حمایت مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس و اداره‌ی کل منابع طبیعی و آبخیزداری فارس انجام شد. از همکارانی که در داده‌برداری از کمک‌آنان بهره‌مند شدیم سپاسگزاریم.

پایداری سازه در برابر واژگونی $1/5$ است، و در برابر عدد‌های به‌دست‌آمده کوچک‌تر است. این اختلاف نشان‌دهنده‌ی اجرای سازه‌های مکانیکی با طراحی دست‌بالا (Over Design) است و این‌که سازه‌ها حجیم طراحی و اجرا شده‌اند. پراکنده‌بودن زیاد ضریب‌های اطمینان غیراقتصادی بودن طرح را نشان می‌دهد. باتوجه به جنس مصالح پی و وجود یک لایه‌ی درشت‌دانه، بر اثر شسته‌شدن ذره‌ها، زیادبودن آب‌دهی عبوری خطر زیرشویی (آب‌شستگی) را تقویت کرده است. برای کاهش زیرشویی (آب‌شستگی) طراح این سازه‌ها می‌توانست در ابتدا و انتهای بعضی از بندها سپری و پنجه طراحی کند. ولی این عمل در سازه‌های این منطقه انجام نشده است. برای جلوگیری از این پدیده پیشنهاد می‌شود که خاک بستر در محل قرارگیری بند برداشته و سپس در لایه‌های مختلف متراکم شود. راه‌حل دیگر تزریق دوغاب سیمان به خاک بستر زیر پی است تا زیرشویی رخ ندهد، یا دست‌کم از محل قرارگیری سازه دور شود. ملات ماسه‌سیمان به‌کاررفته مقاومت مناسبی از خود نشان نداده است. توصیه می‌شود در طرح‌های آینده از ماسه‌ی مرغوب استفاده شود و کم‌ترین عیار سیمان 350 کیلوگرم در

- Abbasi A, Parezkar M, Ghafurian R, Vahedi R. 2012. Study of stability of mechanical structures in watersheds (Goosh sub basin at the upstream of Kardeh Dam). SCWMRI, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 135 p. (In Persian).
- Abdali R, Parezkar M, Gholami A, Panahpour E. 2013a. Investigation of structures sustainability against subsidence in watershed basin (Case study: Kowsar Basin, Andimashk). National Conference on Optimal Utilization of Water Resources, Dezful, February. 20–21. (In Persian).
- Abdali R, Parezkar M, Gholami A, Panahpour E. 2013b. Investigation of structures sustainability against cavity in watershed basin (Case study: Kowsar basin of Andimashk). National conference on optimal utilization of water resources. Dezful, February. 20–21. 2013. (In Persian).
- Abdi A. 2004. Investigation of combined effect on construction of small dams in watersheds management. National Conference on Watershed Management and Soil and Water Resources, 9-10 May 2004, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran. (In Persian).
- Boix-fayos C, Barbera GG, Lopez-Bermudez F, Castillo VM. 2007. Effects of check dams, reforestation and land-use changes on river channel morphology: Case study of the Rogativa Catchment (Spain). *Geomorphology Journal*. 91: 103–123.
- Das BM. 1994. Principles of geotechnical engineering. 3rd edition, Boston PWS publication. 672 p.
- FAJO, Organization of Agriculture Jahad Fars. 2000. Exploratory-executive studies of the Shiraz Kelestan Watershed, Watershed Management.
- Farhadi A. 2012. Evaluation of technical management in design and implementation of check dams in watersheds (Case study: Mousaviéh watershed, Fars province). Msc. in watershed management. Islamic Azad university of Arsenjan. (In Persian).
- Friesecke F. 2004. Precautionary and sustainable flood protection in Germany – strategies and instruments of spatial planning. 3rd FIG Regional Conference. Jakarta, Indonesia. October 3–7. pp. 1–17.
- Ghafari G, Ahmadi H, Bahmani A, Nazari Samani AA. 2015. Assessment of the effect of watershed design on erosion and sedimentation of Kan Watershed Basin. *Range and Watershed Journal*. Iranian Natural Resources Journal. 3: 607–624 (In Persian).
- Ghafari G, Karimizadeh K, Haydari R, Ahmadi H. 2011. Structural study of gabion and stone construction in the Kan Watershed. 7th National Conference on Watershed Engineering Sciences, Esfahan, Iran. 27–28 April 2011. (In Persian).
- Ghahari Gh. 2014. Surveying the impacts of runoff and sediment control mechanical structures in catchments on the groundwater. Final Report Research Project. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Project No: 01-22-22-8804-88002. (In Persian).
- Ghanbari A. 2014. Principles of earth dam engineering. Kharazmi University, Tehran.
- Heidari F, Saboohi R, Matin M. 2018. Assessment of mechanical structures sustainability in Boodejan Catchment. *Extension and Development of Watershed Management*. 6(22):19–28. (In Persian).
- Lucas-Borjaa ME, Zema DA, Hinojosa Guzman MD, Yang Y, Cruz Hernández A, Xiangzhou X, Gianmarco Carrà B, Nichols M, Cerdá A. 2018.

- Ecological Engineering. 122: 39–47.
- Mesbah SH. 2015. Assessment of mechanical structures sustainability in catchments. Final Report of Research Project. Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Project No: 01-22-22–8804-880047. (In Persian).
- Nyssen J. 2004. The effectiveness of loose rock check dams for gully control in Tigray, northern Ethiopia. Soil Use and Management. 20: 1–10.
- Piton G, Recking A. 2016. Effects of check dams on bed-load transport and steep-slope stream morphodynamics. Geomorphology Journal. 291: 94–105.
- Tahouni Sh. 2011. Principles of foundation engineering. Pars Aein publication, Vol.2.



Watershed Management Research

VOL. 32, No. 2, Ser. No: 123, Summer 2019, pp:95-110
DOI: 10.22092/wmej.2019.124151.1177

Stability Analysis of Masonry Check Dams in the Kelestan Watershed

Mohammad Hadi Alipour

Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

Gholamreza Ghahari*

(Corresponding Author)* Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

Seyed Hamid Mesbah

Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

*Corresponding Email: rezaghahari75@gmail.com

Received: 08 December 2018 Accepted: 12 March 2019

Abstract

Assessing performance of watershed management activities will provide valuable information to managers and decisionmakers for long-term planning. Stability of 70 masonry check dams was evaluated that have been constructed on the Kelestan Watershed, Shiraz, in 2006. Relevant information of these structures, namely position, number, type competence of materials, current performance, degradation status (intensity and location), type and culprits of damage were recorded during field visits, and the distribution map of the structures was prepared. Stabilities against subsidence, overturning and sliding were also investigated. The designed discharge of the check dams was to be correlated with the different return periods during the elapsed time. The results showed that as the designed discharge of the check dams for a 25-years return period had not occurred yet up to the evaluation date (2014), their stability cannot be evaluated based on the lower discharges. As to subsidence, no measurable settlement was discovered. Furthermore, 98.6 percent of the check dams showed stability against overturning and sliding and only 1 (1.4 percent) of the check dams was collapsed completely. Signs of damage are observed in the check dams despite showing stability against subsidence, overturning and sliding. Poor quality building materials, unsuitable placement and piping are the main causes of damage on this watershed. To prevent the piping phenomenon, the soil under the structure must be removed and compacted in different layers.

■ **Keywords: Check dam, Fars, Kelestan, stability, watershed management** ■