نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۴، شماره ۱، ۱۴۰۱، صفحات ۱-۱۶

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 14, Issue 1, 2022, Pages 1-16
DOI: 10.22092/ijwmse.2021.343122.1800

روش‌های کنترل و مرمت آبکندها در استان‌های مختلف ایران

مجید صوفی[۱]، رضا بیات[۲] و افشین پرتوی[۳]

[۱] دانشیار، مرکز آموزش و تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران، [۲] استادیار پژوهشی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران و [۳] مربی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۵

چکیده

بخشی از طرح ملی طبقه‌بندی مورفوکلیماتیک آبکندهای ایران در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری به مقدار تولید رسوب و اقدامات احیایی برای کاهش خسارت ناشی از گسترش آن‌ها پرداخته است. نتایج این پژوهش، نشان داد که آبکندهای ایران در دو طبقه آبکندهای کوچک (عمق کوچک‌تر از یک متر) و متوسط (عمق یک تا ۱۰ متر) قرار دارند. به‌طور متوسط، هر متر از آبکندهای ایران حدود ۱۹ مترمکعب رسوب تولید کرده است. آبکندهای ایران عموماً در اراضی زراعی دیم و مراتع و در خاک‌های با بافت لوم، لوم شن و لوم رس پراکنش دارند. تخریب مراتع، تبدیل اراضی مرتعی به زراعی و باغ، ساخت راه‌ها و آبگذرهای جاده‌ای غیراصولی از مهمترین علل اصلی ایجاد و گسترش آبکندهای ایران هستند. پژوهش حاضر نشان داد که بالغ بر ۵۰ درصد از آبکندهای ایران فاقد اقدامات مدیریتی و احیائی بوده، به‌طوری که در برخی از استان‌ها، ۹۰ درصد آبکندها فاقد اقدامات و در برخی دیگر، ۳۰ تا ۵۰ درصد هیچ‌گونه اقدام حفاظتی دریافت نکرده‌اند. در بیشتر استان‌ها از اقدامات سازه‌ای مانند سدهای اصلاحی خشکه‌چین، سنگ و سیمانی و توری‌سنگی استفاده شده که بیشتر با هدف کنترل رسوب بوده است. بیشتر اقدامات در آبکندهای کوچک و تعدادی نیز در آبکندهای متوسط صورت گرفته است. اقدامات مدیریتی برای پیش‌گیری از ایجاد آبکند مخصوصاً در اراضی دیم بسیار ناچیز بوده است و توجه جدی به طراحی و ساخت آبگذرهای جاده‌ای و راه‌های مناطق کوهستانی و پرشیب ضروری است. در ایران، از روش‌های گیاهی و بلانکت و سنگریزه کمتر استفاده شده است. تخریب و رهاسازی آب‌انبارهای قدیمی نیز در ایجاد و گسترش آبکندها نقش داشته است.

واژه‌های کلیدی: ایجاد آبکند، بلانکت، کنترل رسوب، تخریب مراتع، سدهای اصلاحی

مقدمه

فرسایش خاک به‌عنوان مهمترین عامل تخریب خاک در سراسر دنیا تشخیص داده شده است (Valentin و همکاران، ۲۰۰۵؛ Liginer و Critchley، ۲۰۰۷). یکی از انواع فرسایش آبی، فرسایش آبکندی[1] یا خندقی است. در سال‌های اخیر، اولویت به تحقیقات در زمینه فرسایش آبکندی داده شده است که از علل آن می‌تواند معدود تحقیقات انجام شده روی آبکندها، ناشناخته‌های فراوان در این زمینه و سهم تولید رسوب زیاد آن‌ها در حوزه‌های آبخیز دنیا باشد (Poesen و همکاران، ۲۰۰۳). آبکندها موجب بروز مشکلات و خسارات زیادی در محل وقوع و خارج از محل وقوع

* مسئول مکاتبات: majidsoufi@gmail.com

[1] Gully erosion

خود می‌شوند. این خسارات شامل کاهش امکان تردد وسایل نقلیه و ماشین‌آلات کشاورزی و عبور و مرور انسان و دام نظیر دشتیاری در سیستان و بلوچستان و لامرد در استان فارس (Soufi، ۲۰۱۵)، کاهش تولید علوفه مراتع و محصولات کشاورزی در ایران، فلسطین اشغالی و اتیوپی (Hooshmand، ۲۰۱۲؛ Avni، ۲۰۰۵؛ Nyssen و همکاران، ۲۰۰۴)، تخریب اراضی زراعی و مرتعی و مسکونی و راه روستاها و مهاجرت روستاها که این پدیده در بسیاری از مناطق آبکندی ایران نظیر روستای ایده‌لو در استان زنجان و روستاهای تابعه از شهرستان لامرد در استان فارس (Soufi، ۲۰۱۶) هستند. تولید رسوب، از دیگر تأثیرات منفی آبکندها است که سبب کاهش عمر مفید سازه-های آبی، کاهش ظرفیت انتقال آبراهه‌ها و رسوب‌گذاری ذرات ریزدانه بر روی اراضی پائین‌دست آبکندها و سامانه‌های تولید آبزیان است. مطالعات (Wasson و همکاران، ۲۰۰۲) نشان داد که اغلب فرسایش آبکندی مهمترین منبع تولید رسوب است. نقش فرسایش آبکندی در تولید رسوب بین ۱۰ تا ۹۷ درصد کل رسوب در آبخیزهای مختلف دنیا گزارش شده است (Poesen و همکاران، ۲۰۰۳).

تعاریف متعددی به‌وسیله محققین مختلف برای آبکند ارائه شده است. در تعاریف ارائه شده به‌وسیله مجامع مختلف علمی دنیا به عواملی نظیر عرض بالا و عمق، شیب پیشانی و کناره‌ها و فرایندهای هیدرولوژیک (رواناب سطحی) و تداوم آن‌ها اشاره شده است. در بسیاری از تعاریف دو عنصر شیب تند و عمق مستتر است. به‌عنوان مثال، FAO (۱۹۶۵) آبکند را کانال طبیعی بزرگی می‌داند که به‌دلیل عرض و عمق زیاد نمی‌توان آن را به‌وسیله شخم معمول در کشاورزی حذف کرد یا در تعریف دیگری به‌وسیله Hudson (۱۹۹۵) آبکند به‌عنوان یک کانال فرسایشی که نمی‌تواند از طریق شخم از بین برود، مطرح است. در تعریف انجمن خاک امریکا و Bradfoed و Piest فقط از عامل عمق آبکند استفاده کرده‌اند، یعنی آبکندها را کانال‌های عمیقی می‌دانند که به‌وسیله شخم عادی از بین نمی‌روند (Bradfoed و Piest، ۱۹۸۰؛ Soil Science Society of America، ۱۹۸۴). Poesen و همکاران (۲۰۰۳) آبکند را یک کانال با کناره‌های دارای شیب تند و یک پیشانی فرسایشی پرشیب و فعال معرفی می‌کند که به‌وسیله فرسایش ناشی از جریان سطحی متناوب (معمولاً در طی یا پس از وقوع باران‌های شدید) یا جریان متمرکز اشباع و یا ذوب برف ایجاد شده است.

در زمینه کنترل، Govers و Poesen (۱۹۸۸) روش‌های کنترل آبکندهای موقت و جانبی را در خاک‌های لومی بلژیک بررسی کردند. در مورد کنترل آبکندها نتیجه گرفتند که به هم فشردن لایه سطحی خاک از فرسایش با جریان متمرکز شده جلوگیری می‌کند و گسترش آبکندهای با نسبت عرض به عمق یک یا کمتر را کاهش می‌دهد. این کار می‌تواند با به هم فشردن خاک لایه فوقانی، شخم نزدن و یا ساختن آبراهه‌های علفی صورت گیرد. آن‌ها بهترین روش را آبراهه‌های علفی دانستند، اگرچه در بلژیک آن را آزمایش نکردند. آن‌ها در نهایت نشان دادند که نیروی برشی طبقات زیرین خاک، شاخص مناسبی برای فرسایش جریان متمرکز بوده و روش‌های سازه‌ای را برای کنترل آبکندهای جانبی پیشنهاد کردند.

Lenzi (۲۰۰۲) و Lenzi و Comiti (۲۰۰۳) در زمینه استفاده از سدهای اصلاحی سنگی در تثبیت بستر رودخانه تحقیقی را در شمال ایتالیا انجام داد. وی معتقد است که این سدها در تثبیت بستر رودخانه با شیب زیاد کاربرد زیادی داشته‌اند. او معتقد است، سدهای اصلاحی به‌کار رفته نقش مؤثری در کاهش فرسایش بستر و ایجاد تعادل در شکل رودخانه در سیلاب‌های با دوره بازگشت ۱۰-۷ و ۲۵-۲۰ سال موفق عمل کرده‌اند.

Xiang-zhou و همکاران (۲۰۰۴) تحقیقی در فلات لسی در چین انجام داده و سامانه‌های سد اصلاحی در آبکندها را در این منطقه مورد بررسی قرار داده است. آن‌ها دو راه اصلی جلوگیری از ورود رسوب به رودخانه زرد از این مناطق را کشت در منطقه و انجام اقدامات مهندسی دانسته‌اند. ولی به‌دلیل اقلیم خشک و خاک غیرمثمر در این منطقه اقدامات کشاورزی پاسخ‌گو نیست. با توجه به این موضوع، اجرای سامانه سد اصلاحی در آبکندها یکی از مؤثرترین راه‌های نگهداری آب و خاک در منطقه است و مقدار رسوب نگه‌داشته شده به‌وسیله چکدم‌ها از

سایر روش‌ها بیشتر است. بنابراین، پشت چکدم‌ها کشتزار، زمین‌های زراعی باکیفیت بالا یا باغ‌های با خاک حاصلخیز غنی‌شده و آب فراوان ایجاد شده است.

Heede (۱۹۷۹) نشان داد که احداث سامانه سدهای رسوب‌گیر بر روی آبکند اصلی و شاخه‌های مهم حوضه‌ای در غرب کلرادوی مرکزی، رسوب جریان را به میزان ۹۰ درصد در طول ۱۱ سال کاهش داد. همچنین، افزایش فراوانی در پوشش گیاهی بوته‌ای و کاهش در علف‌های هرز دائمی ایجاد شده که ناشی از خروج دام و چرای کنترل‌شده بود.

Tuan (۱۹۸۸) نشان داد که سدهای ساخته‌شده از لاستیک‌های مستعمل در شمال تایوان، شیب متوسط آبکند و انتقال رسوب را به‌ترتیب به مقدار هشت و ۱۲/۷ درصد کاهش دادند.

Poesen (۱۹۹۳) راه‌کارهایی نظیر فشرده کردن خاک، شخم حفاظتی برای جلوگیری از تونلی شدن، ایجاد آبراهه‌های با پوشش علفی و ایجاد جاده‌های مقاوم به فرسایش برای راه‌های دسترسی بین مزارع را برای حذف آبکندهای موقت و ایجاد بافر زون (دیواره گیاهی حائل) برای حذف رواناب سطحی از مناطق بالادست را برای جلوگیری از ایجاد آبکند در فلات لسی بلژیک عنوان کرده‌اند.

Mehdipour (۲۰۱۲) در مقایسه روش‌های مختلف کنترل فرسایش آبکندی در بافت کرمان نتیجه گرفت که انحراف آب از پیشانی آبکند، میزان پیشروی آبکندها را تا حد قابل ملاحظه‌ای کاهش داده است و در کاهش پیشروی بسیار مؤثر بوده است، اما سازه‌های چپر و گابیون به‌دلیل نگهداری رسوبات و جلوگیری از ورود آن‌ها به پایین‌دست مؤثرتر خواهند بود. از بین این دو سازه نیز، چپر اقتصادی‌تر است. Mehdipour (۲۰۱۲) به نقل از کریمی برای مهار فرسایش آبکندی در منطقه زهاقان دو روش پیشنهاد کرده است: ۱- اصلاح شیمیایی خاک با عمل زهکشی و ۲- انحراف سیلاب از پیشانی آبکند و تثبیت پیشانی آبکند با سازه‌های تثبیت‌کننده و سپس، انجام عملیات بیولوژیکی با ایجاد سکو در دیواره‌های قائم آبکندها و کشت گیاهان سازگار با منطقه روی آن‌ها که روش اول به‌دلیل دربر داشتن هزینه بالا و عملی نبودن در عرصه توصیه نشده است.

Dabiri (۲۰۱۲) در بررسی عملکرد سدهای اصلاحی در سه حوزه آبخیز طویله‌بند، تنگ‌شول و جونگان به‌ترتیب در شهرستان‌های اقلید، مرودشت و ممسنی استان فارس نتیجه گرفت که سدهای اصلاحی بدون تخریب (سالم) به‌ترتیب معادل ۸۳/۵، ۷۴/۸ و ۹۶/۷ درصد در حوضه‌های طویله‌بند، تنگ‌شول و جونگان بوده است. عمده‌ترین دلایل تخریب سدهای اصلاحی حوضه‌های مورد مطالعه، عدم رعایت نکات فنی در اجرا، عدم رعایت استاندارد در تأمین مواد ساختمانی، تخریب به‌وسیله روستائیان و عدم رعایت فاصله مناسب بوده است.

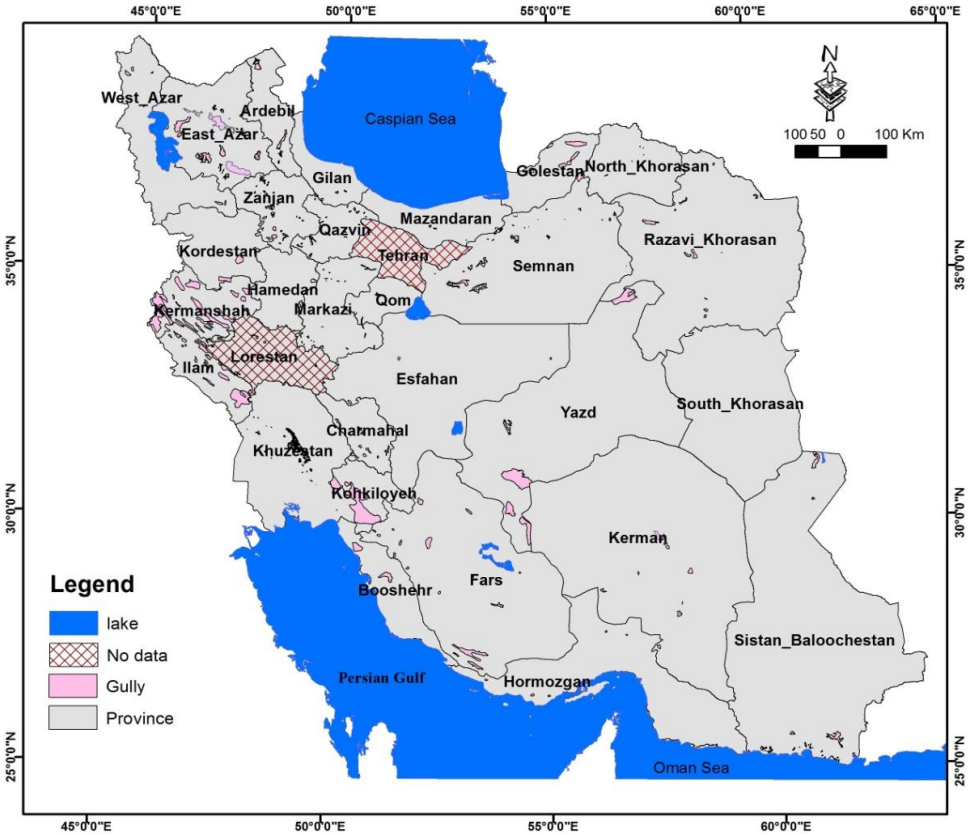
بررسی نتایج اقدامات برای کنترل فرسایش آبکندی در کشورهای مختلف نشان می‌دهد که در کشورهای غربی روش‌های متنوع و ارزان قیمت بیشتر مورد استفاده قرار گرفته، تقریباً روش‌ها با کمک اداره حفاظت خاک به‌صورت مدون و چاپ شده ترویج شده است و به‌صورت صنعتی شرکت‌های مختلف مواد مورد نیاز را تولید و به فروش می‌رسانند. در ایران، بیشتر از روش‌های معدود سازه‌ای نظیر سدهای اصلاحی سنگ و سیمان، توری‌سنگی و خشکه‌چین استفاده شده و عمدتاً از طریق اداره منابع طبیعی اجرا شده است و آموزش‌های لازم به مردم از طریق اداره ترویج داده نشده است.

مواد و روش‌ها

محدوده‌های مورد مطالعه این پژوهش، در کل سطح ایران واقع شده است. ارتفاع مناطق مورد پژوهش از ۲۵ تا بالای ۳۰۰۰ متری از سطح دریا قرار داشتند. از نظر اقلیمی تمامی اقلیم‌های دومارتن را دربر می‌گیرند، ولی بیشتر در اقلیم‌های خشک، نیمه‌خشک و مدیترانه‌ای قرار داشتند. از نظر بارشی در طبقه بارشی ۱۰۰ تا ۳۰۰ و ۳۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متری فراوانی بیشتری داشتند. عموماً در اراضی زراعی دیم و مراتع قرار دارند، ولی بخش کمی در باغات، جنگل و زراعت آبی و مناطق مسکونی وجود دارند. بیشتر در خاک‌های با بافت لوم، لوم-شن و لوم-رس پراکنش

داشته که در مناطق جنوبی بافت لوم شن، در مناطق مرکزی و غربی دارای بافت لوم-رس و در مناطقی از شرق و شمال شرق به بافت لوم تمایل دارند. شکل ۱، پراکنش آبکندهای ایران را نشان می‌دهد.

روش پژوهش: این تحقیق، در تمامی استان‌های ایران در سه فاز در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری ایران در دهه ۸۰ هجری شمسی صورت پذیرفت. ابتدا، در هر استان با استفاده از اطلاعات مدیریت آبخیزداری استان، بررسی عکس‌های هوایی و یا تصاویر ماهواره‌ای محدوده جغرافیایی آبکندهای موجود با مساحت بالغ بر ۵۰۰ هکتار بر روی نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ مشخص شد. اقلیم مناطق آبکندی با استفاده از نقشه اقلیمی دومارتن گسترده تهیه شده در شرکت جاماب تعیین شد. از هر طبقه اقلیمی، دو منطقه آبکندی انتخاب شد. آبکندها بر اساس موقعیت مکانی به دو طبقه بر روی شیب و بر روی دشت تقسیم شدند و بر اساس دوره تکاملی به پیوسته (مسن) و ناپیوسته (جوان) تقسیم و بر اساس پلان عمومی و عمق نیز طبقه‌بندی شدند. از هر طبقه آبکند، سه آبکند به‌عنوان معرف انتخاب و اطلاعات لازم از نظر شرایط اکولوژیک و فیزیکی آبخیزی که در آن ایجاد شده‌اند، بررسی و اندازه‌گیری ابعاد و کاربری قدیم و جدید در اطراف آن‌ها بررسی شد. میزان رسوب تولیدی در هر متر طولی آبکند از طریق محاسبه حجم فرسایش تعیین شد. نوع اقدامات کنترلی به‌کار رفته در آن‌ها بررسی و میزان موفقیت آن‌ها تعیین شد. میزان خسارت حاصل از ایجاد و گسترش آبکند بر اساس قیمت منطقه‌ای در سال اجرای پژوهش برآورد شد (برای اطلاع از جزئیات بیشتر در مورد روش تحقیق Soufi، ۲۰۱۵؛ Soufi، ۲۰۱۶؛ Soufi، ۲۰۱۷؛ Soufi و همکاران، ۲۰۲۰ مراجعه شود).



شکل ۱- نقشه پراکنش آبکندهای ایران

نتایج و بحث

برای مدیریت فرسایش آبکندی ابتدا لازم است، بدانیم آبکندها در چه محیطهایی در ایران تشکیل شده‌اند و در چه طبقه عمقی، تکاملی و غیره قرار دارند. اطلاعات حاصل از طرح ملی بررسی و طبقه‌بندی مورفوکلیماتیک آبکندهای ایران (Soufi،

۲۰۱۵؛ Soufi، ۲۰۱۶؛ Soufi، ۲۰۱۷) نشان داد که آبکندهای ایران از کناره‌های نواحی ساحلی خلیج‌فارس مانند بندر لنگه تا ارتفاعات کوهستانی غرب ایران ایجاد شده و ۵۳ درصد از آن‌ها در طبقه ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ متر از سطح دریا گسترش یافته‌اند. عمدتاً در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک توسعه یافته‌اند و در اراضی با شیب چند در هزار تا ۶۰ درصد وجود دارند. یعنی هم در اراضی بسیار مسطح مانند لامرد فارس و دشتیاری سیستان و بلوچستان و هم بر روی مناطق تپه‌ای لسی مانند استان گلستان، مارن‌های استان‌های کرمانشاه، بوشهر و هم بر مناطق کوهستانی و پرشیب نظیر ایلام، اردبیل، همدان، آذربایجان غربی و شرقی، کرمانشاه و کردستان حضور دارند. آبکندهای ایران غالباً در دو طبقه عمقی کوچک یعنی کمتر از یک متر و هم در طبقه عمقی متوسط یعنی بین یک تا ۱۰ متر حضور دارند. به‌عنوان مثال، متوسط عمق آبکندها در ۲۰ استان ایران با پراکنش در جنوب (هرمزگان و بوشهر)، شرق (سیستان و بلوچستان) مرکز (اصفهان)، جنوب غرب (فارس)، جنوب شرق (کرمان)، شمال شرق (خراسان شمالی، جنوبی و رضوی و گلستان) و غرب (کردستان، ایلام و کرمانشاه) معادل ۲/۷ متر است، یعنی دارای طبقه عمقی متوسط هستند. استانی مانند سیستان و بلوچستان با آبکندهای فعال دارای عمق بیشینه هشت تا نه متر در شمال دشتیاری است و با حرکت به سمت جنوب دشتیاری از عمق و عرض آبکندها کاسته می‌شود.

بافت خاک آبکندهای ایران (به‌ترتیب دارای فراوانی بیشتر) لوم، لوم-شن و لوم-رس است. هر چه به جنوب ایران نزدیک می‌شویم، بر میزان شن خاک افزوده‌شده و بافت به سمت لوم-شن تمایل دارد و هر چه به سمت مرکز و غرب ایران می‌رویم، بر میزان رس خاک افزوده شده و بافت به سمت لوم-رس تمایل دارد. آبکندهای ایران غالباً بر روی اراضی زراعی دیم و آبی و مراتع ایجاد شده‌اند. بررسی در استان‌های ایران نشان داد که علل اصلی ایجاد آبکندهای ایران شامل تخریب مراتع، تبدیل اراضی ملی به زراعت دیم و آبی و باغ و توسعه عمرانی مخصوصاً احداث راه‌های دسترسی و آبگذرهای جاده‌ای و عملیات خاک‌برداری به‌منظور لوله‌گذاری و یا معادن شن و ماسه است. بررسی‌های میدانی در ایران نشان داد که بخش اعظم آبکندهای ایران در مناطق نیمه‌خشک (۴۴ درصد در طبقه بارشی ۶۰۰-۳۰۰ میلی‌متر) و خشک (۴۰ درصد در طبقه بارشی ۳۰۰-۱۰۰ میلی‌متر) ایجاد شده‌اند و بر روی اراضی دیم و مراتع تخریب یا تبدیل‌شده، فراوانی بیشتری دارند. بخشی از آبکندها نیز به‌دلیل توسعه عمرانی در روستاها در اطراف راه‌های دسترسی و آبگذرهای جاده‌ای متمرکز شده‌اند.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در برخی از استان‌های ایران نظیر سیستان و بلوچستان، گلستان، چهارمحال و بختیاری، کرمانشاه، یزد، خراسان رضوی، آذربایجان شرقی و قم، تنها ۱۰ درصد از آبکندها مورد عملیات حفاظتی از نوع سازه یا بیولوژیک قرار گرفته‌اند و برخی دیگر، نظیر فارس، هرمزگان و گیلان، بین ۳۰ تا ۵۰ درصد. بنابراین، می‌توان در نتیجه‌گیری کلی اعلام کرد که بالغ بر ۵۰ درصد از آبکندهای ایران فاقد اقدامات حفاظتی بوده‌اند. از بعد تولید رسوب، هر یک متر فرسایش آبکندی ایران معادل ۱۹ مترمکعب رسوب تولید می‌کند که بخشی از آن بر بستر آبکندها و آبراهه‌ها و اراضی ملی و زراعی ته‌نشین شده و بخشی دیگر از منطقه خارج و در مخازن سدها و یا سواحل رسوب‌گذاری خواهد کرد. راه‌کارهای مدیریت فرسایش آبکندی می‌تواند مربوط به قبل از ایجاد و یا بعد از ایجاد آبکند باشد.

۱- روش‌های قبل از ایجاد آبکند یا پیش‌گیری از ایجاد:

الف- خاک‌ورزی حفاظتی: بر جای گذاشتن بقایای گیاهی بر روی زمین و کاشت بذر بر روی بستر باقی مانده از بقایا در مناطق مرطوب برای پیش‌گیری از ایجاد آبکند توصیه می‌شود. عدم رعایت این مسئله در بسیاری از اراضی زراعی دیم ایران نظیر کردستان، لرستان، آذربایجان شرقی و غربی مشاهده می‌شود. در این حالت، ابتدا شیارهایی بر سطح مزرعه ظاهر شده و با وقوع باران‌های زمستانه بر عمق و گسترش شیارها افزوده و آن‌ها را به آبکندهای کوچک و سپس، متوسط تبدیل می‌کند. این مسئله در اراضی زراعی کشورهای اروپایی نیز مشاهده می‌شود. خطر زمانی بیشتر می‌شود که برخی از اراضی دیم به‌دلیل تولید

ناچیز رها شده و مدیریتی به‌وسیله سکنه آبخیز صورت نمی‌گیرد و با گسترش آن‌ها بر معضلات منطقه افزوده می‌شود. در کشورهای اروپایی بعد از پدیدار شدن شیارها مخصوصاً بعد از وقوع باران‌های شدید، بلافاصله با انجام شخم سعی در محو شیارها و کشت مجدد کچلی‌های زمین زراعی می‌کنند و یا از پوشش بلانکت و بذرپاشی بر روی آن برای کنترل فرسایش بر روی شیب‌ها استفاده می‌کنند، ولی در کشورهای آفریقایی و آسیایی مانند ایران عدم بازدیدهای پس از وقوع باران‌های سنگین و رها شدن دیم‌زارها به‌مرور آبکندهای دائمی را حکم‌فرما می‌کند.

ب- مدیریت جوی‌پشته‌ها: در بررسی فرسایش آبکندی در ایران به‌وسیله نگارنده مشاهده شد که در اثر سرریز کردن آب آبیاری از جوی‌پشته‌های احداث‌شده در اراضی دارای پستی و بلندی زیاد، آب آبیاری سبب پارگی دیوار کرت و سرازیر شدن به سمت پایین‌دست شده و به‌دلیل پستی و بلندی اراضی و شیب زیاد اراضی در اطراف زمین کشاورزی، سرعت آب افزایش یافته و باعث فرسایش شیاری و سپس، آبکندی شده است. عدم مدیریت این کانال‌های فرسایش سبب افزایش ابعاد کانال‌های فرسایش می‌شود.

ج- ساخت صحیح آبگذرهای راه‌های ارتباطی: برای داشتن یک آبگذر جاده‌ای مناسب بایستی ابعاد مناسبی برای آن طراحی کرد و در پایین‌دست آبگذر از کف بندهای با ضخامت و طول مناسب استفاده کرد. در بررسی آبکندها در بسیاری از استان‌های ایران مشاهده شد که آبگذرهای جاده‌ای به‌صورت اصولی طراحی و ساخته نشده مخصوصاً به‌دلیل فقدان کف بند مناسب در پایین‌دست آبگذر و لذا، ریزش سیلاب‌ها به پایین‌دست آن‌ها سبب ایجاد آبکندهای گاها عمیقی شده که خود سازه آبگذر و جاده را نیز تهدید می‌کند (شکل ۲). گاهی عدم مدیریت سرریز آب از منبع آب ساخته‌شده بر روی شیب می‌تواند سبب ایجاد فرسایش و تهدید منطقه نماید (شکل ۳).

شکل ۲- ساخت غیراصولی آبگذرهای جاده‌ای در مغان اردبیل (سمت راست) و هلوش لرستان (سمت چپ)

شکل ۳- ایجاد آبکند بر روی یک تپه پر شیب در اثر سرریز آب از منبع احداث‌شده در بالای شیب-استان زنجان

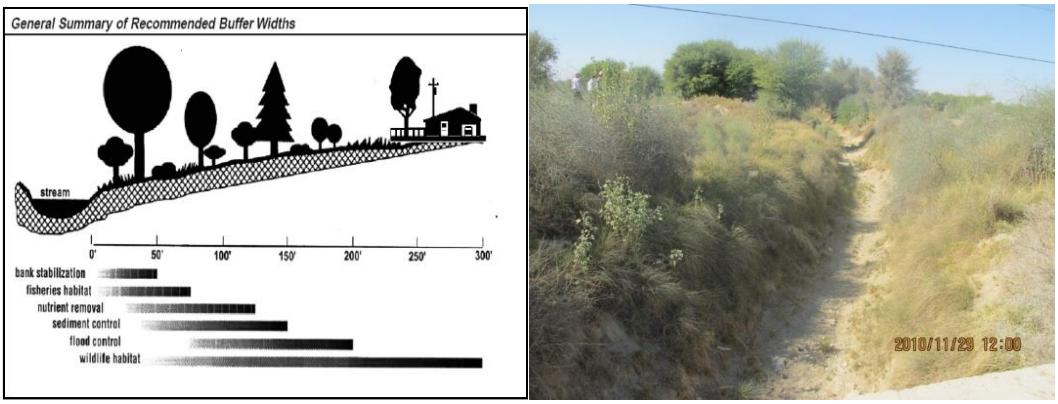
د- هدایت مناسب رواناب تولیدی در مزارع و سطوح بالادست: جمع‌آوری و هدایت رواناب و سیلاب‌های تولیدی در بارش‌های سنگین نیازمند آموزش و معرفی روش‌های مناسب برای احداث سازه‌های سبک جمع‌آوری و هدایت سیلاب است. در برخی از کشورها نظیر استرالیا یا کشورهای اروپایی سعی شده به کشاورزان آموزش کافی در مورد احداث موانع کوچک برای جمع‌آوری و هدایت رواناب تولیدی به نقاط مناسب برای تخلیه داده شود. ایجاد دیوارهای برزنتی با پایه‌های دارای فواصل یک متر (شکل ۴) یا خاکریزی یا ایجاد دیوارهای کوتاه از کیسه‌های پرشده از ماسه یا ساخته‌شده از کاه و بقایای گیاهی از این نوع راه‌کارها است. در برخی از اراضی زراعی ایران مشاهده می‌شود که کشاورزان با احداث خاکریز غیراصولی در اطراف زمین زراعی خود رواناب تولیدی در مزرعه خود را به مزرعه همسایه هدایت کرده، در آنجا سبب ایجاد فرسایش آبکندی می‌شوند، بدون این‌که همکاری دسته‌جمعی کشاورزان برای انتقال رواناب تولیدی به نقاط مناسبی از طبیعت صورت پذیرد.

شکل ۴- دیوارهای برزنتی کنترل رواناب سطحی و رسوب

ه- طراحی و ساخت اصولی راه‌های آسفالته: در بسیاری از استان‌های ایران نظیر چهارمحال و بختیاری، لرستان، سیستان و بلوچستان راه‌های دسترسی ایجاد شده رواناب فراوانی تولید کرده، به‌دلیل عدم رعایت اصول مهندسی آبخیزداری، رواناب تولیدی به اطراف جاده که عموماً در مناطق کوهستانی و پرشیب ایجاد شده‌اند، سرازیر شده و سبب ایجاد فرسایش آبکندی شده است (شکل ۵).

شکل ۵- ایجاد فرسایش آبکندی توأم با فرسایش‌های سطحی و شیاری در جنگل‌های تخریبی بلوط در اثر احداث راه آسفالته و تخلیه رواناب سطحی در بالای تصویر-استان چهارمحال و بختیاری

ح- حفظ بافرهای گیاهی طبیعی در اطراف آبراهه‌های طبیعی و رودخانه‌ها: در برخی کشورها از جمله استرالیا برای حفاظت آب و خاک و کنترل فرسایش و رسوب از دستورالعمل حفظ بافر زون‌های گیاهی بین ۲۲ تا ۱۰۰ متر برحسب هدف استفاده می‌کنند. به‌عنوان مثال، برای جلوگیری از ریزش رواناب تولیدی از کناره‌های آبراهه به درون آن، لازم است، دست‌کم ۲۲ متر گیاهان طبیعی بر زمین باقی گذاشته شود و یا در صورت تخریب، ایجاد شود. سلسله مراتب گیاهان نیز از درخت و درختچه و بوته و گراس است. هر چه به دیواره آبراهه نزدیک‌تر می‌شود، به سمت گونه‌های بوته‌ای و گراس تمایل پیدا می‌شود. برای ترکیبی از اهداف مثلاً گرفتن رسوبات، حذف رواناب سطحی، جذب آلاینده‌ها و سموم، ایجاد آشیانه برای پرندگان یا سایر جانوران از بافر ۱۰۰ متری استفاده می‌شود (شکل ۶- سمت چپ). این بافرهای گیاهی در بسیاری از استان‌های ایران در اطراف آبراهه‌ها و آبکندها وجود داشته ولی به‌دلیل مالکیت بسیاری از اراضی، بهره‌برداران تا کنار آبکند یا آبراهه شخم زده و رواناب تولیدی مزرعه وارد کانال آبراهه و سبب فرسایش شدید می‌شود. شکل ۶- سمت راست، یک بافر گیاهی متراکم را در اطراف کانال‌های انتقال سیلاب در دشتیاری سیستان و بلوچستان نشان می‌دهد.



شکل ۶- بافر گیاهی طبیعی در اطراف کانال‌های آب در دشتیاری سیستان و بلوچستان (سمت راست) و طبقه‌بندی بافر زون‌ها بر حسب هدف (سمت چپ، CRJC، ۲۰۰۰)

ک- احداث آب‌انبار در مسیر سیلاب: در روستای گزیر در شهرستان بندرلنگه استان هرمزگان مشاهده شد که در روزگار قدیم برای کنترل فرسایش آبی مبادرت به احداث ۱۱ آب‌انبار در مسیر سیلاب کرده بودند که به‌مرور این فناوری بومی و مفید به فراموشی سپرده‌شده و برخی از آن‌ها تخریب‌شده، لذا، بعد از سرریز کردن سیلاب از آب‌انبارهای تخریبی آبکندهای با عمق یک متر ایجاد شده‌اند (شکل ۷). حال در همین منطقه، سد ملاتی برای کنترل آبکند احداث کرده‌اند و با وجود موفقیت عملکرد آن به‌دلیل فراوانی آبکندها قادر به کنترل همه آن‌ها نیست، ولی سامانه طراحی و ساخت آب‌انبارها قادر به کنترل مسیر زیادی از حرکت رواناب سطحی و سیلاب بوده است و با صرف هزینه کمی قادر بوده‌اند، برای مدت طولانی هم آب را برای مصارف محلی ذخیره کرده، هم از بروز مشکلات فرسایش منطقه جلوگیری کنند.

۲- روش‌های مورد استفاده برای مدیریت آبکند در حال گسترش: در این زمینه لازم است، ابتدا، نوع گسترش آبکندها مورد بررسی قرار گیرد. به‌عبارت دیگر، آبکندها می‌توانند از طریق پیشروی پیشانی خود به گسترش طولی بپردازند و یا از طریق عرضی گسترش یابند و یا تلفیقی از هر دو باشند. در بسیاری از کشورهای دنیا به‌دلیل گسترش طولی آبکندها سعی در کنترل پیشروی آبکند در ناحیه پیشانی آن کرده‌اند و برخی از روش‌ها نیز به تثبیت شیب بستر و گرفتن رسوب کرده‌اند.

الف- پر کردن آبکند با خاک و ایجاد پوشش طبیعی یا مصنوعی روی آن: معمولاً آبکندهای با عمق

کوچک‌تر از یک متر را می‌توان با تخریب کناره‌ها پر کرد و خاک درون آن را با وسایل مکانیکی کوبید و برای جلوگیری از ایجاد دوباره آن بر روی آن پوشش گیاهی علفی سریع‌الرشد، پوشش پلاستیکی، بلانکت‌های آلی، سنگریزه و یا سیمان ایجاد کرد. پوشش علفی مناسب مناطق دارای اقلیم مرطوب و بارندگی بالاتر از ۷۰۰ میلی‌متر است و مراقبت از گیاهان برای جلوگیری از خشک شدن و یا چیدن به‌موقع ارتفاع گیاهان در مسیر عبور رواناب سطحی لازم است. در مناطقی که امکان رویش گیاهان وجود ندارد، می‌توان از پوشش پلاستیکی و یا سنگریزه استفاده کرد. در دشتیاری سیستان و بلوچستان از ایجاد پوشش سیمانی در بستر آبکندهای کم‌عمق استفاده کرده‌اند (شکل ۸).

ب- کنترل گسترش طولی یا پیشروی پیشانی آبکند: در این حال رواناب یا سیلاب تولیدی به درون پیشانی آبکند وارد می‌شود. در این حالت بایستی سعی شود، با استفاده از روش‌هایی از فرسایش پیشانی آبکند جلوگیری شود. در این مرحله، می‌توان از فلوم‌های چوبی یا گالوانیزه برای ورود بدون خطر رواناب به درون پیشانی آبکندها استفاده کرد (شکل ۹). این روش در آبکندهای با عمق سه تا ۱۰ متر استفاده شده است (Kautz و Aull، ۱۹۷۱). این روش‌ها در برخی نقاط از امریکا برای کنترل فرسایش آبکندی و جلوگیری از پیشروی پیشانی آبکند استفاده شده است. برای آبکندهای با عمق تا سه متر و دبی سیلابی کمتر از یک متر مکعب در ثانیه فلوم‌های کوچک توصیه شده است. هر چه بر عمق و دبی ورودی به پیشانی آبکند افزوده شود، از فلوم‌های معلق با کابل‌های مهاری استفاده می‌شود (شکل ۹). گاهی می‌توان با احداث کانال انحراف آب در بالادست پیشانی آبکند، از ورود رواناب سطحی به پیشانی آبکند جلوگیری کرده، رواناب حاصله را در محلی مطمئن یا وارد کانال آبکند کرد یا در محل با شیب کم تخلیه کرد (شکل ۱۰).

برای جلوگیری از ایجاد آبکند بر روی شیب‌ها می‌توان رواناب تولید شده در بالای شیب را با لوله یا ایجاد پوشش سنگریزه در مسیر حرکت رواناب به پایین‌دست انتقال داد. بایستی توجه کرد که محل ورود و خروجی رواناب کاملاً اصولی ساخته شود و در طراحی و ساخت این راهکار بایستی طول کف بند در محل تخلیه جریان به‌اندازه کافی باشد تا با استهلاک انرژی جریان از ایجاد فرسایش جلوگیری شود (شکل ۱۱).

گاهی می‌توان رواناب سطحی تولیدی در بالادست پیشانی آبکند را با احداث حوضچه جمع‌آوری رواناب در بالای پیشانی و انتقال مطمئن آن به درون کانال آبکند از طریق لوله‌های گالوانیزه و یا پلاستیکی مدیریت کرد (شکل ۱۲).

شکل ۷- تخریب آب‌انبارها در روستای گزیر بندرلنگه سبب ایجاد آبکند در مسیر حرکت رواناب سطحی شده است

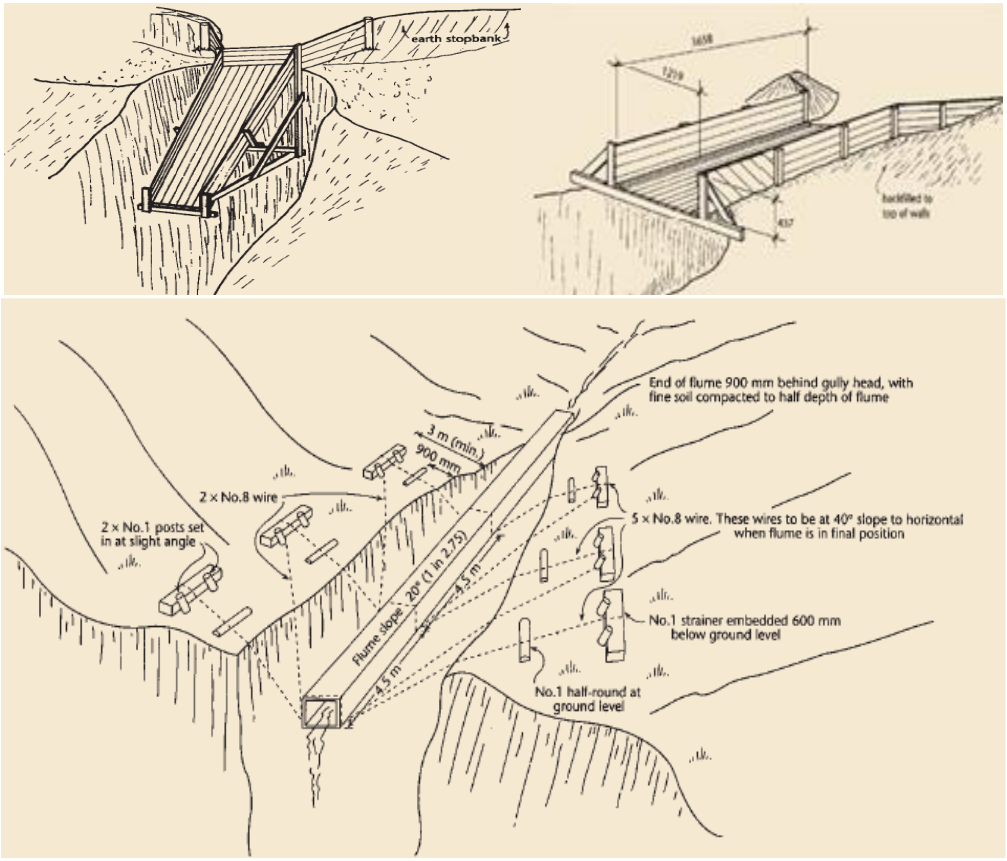
الف ب

پ ج

د ذ

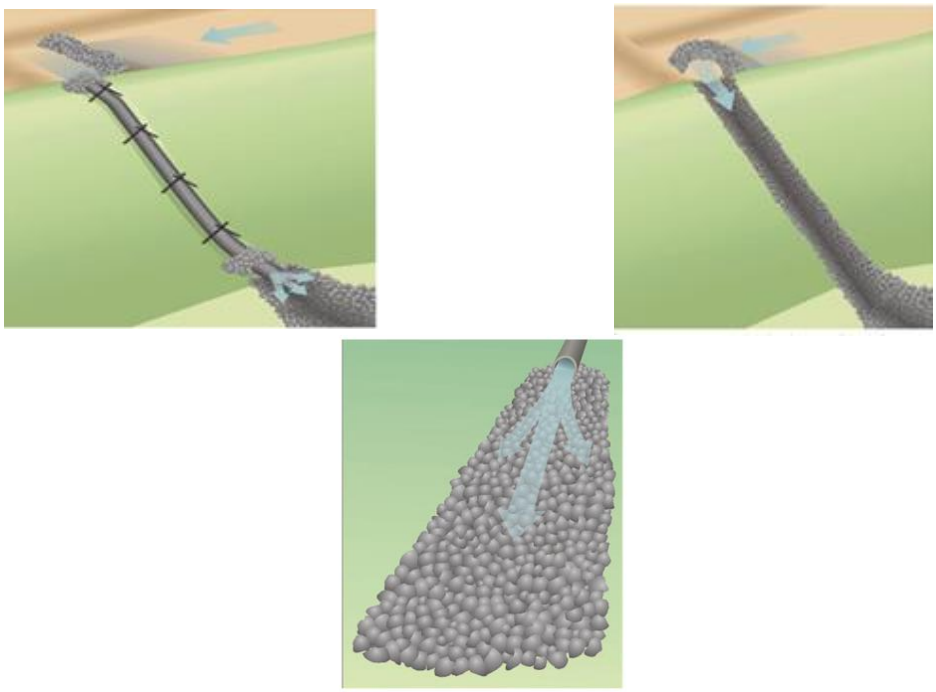
ر ز

شکل ۸- پر کردن آبکند کم‌عمق و ایجاد پوشش علفی بر روی آن (استرالیا، الف و ب)، ایجاد پوشش علفی بر بستر آبراهه کنار جاده‌ای (امریکا، پ)، پر کردن آبکندهای کم‌عمق با بولدوزر (اهرم در استان بوشهر، ج)، ایجاد پوشش سیمانی بر بستر آبکند کم‌عمق (دشتیاری سیستان و بلوچستان، د)، ایجاد پوشش پلاستیکی بر بستر آبکند کم‌عمق (استرالیا، ذ)، استفاده از بلانکت و بذرپاشی و رویش گیاهان علفی بر بستر آبراهه کنار جاده‌ای (امریکا، ر) و پر کردن آبکند کم‌عمق با خاک (روستای گزیر، بندرلنگه، هرمزگان، ز)



شکل ۹– فلوم چوبی کانتیلور (بالا سمت راست)، فلوم لبه‌ای چوبی (بالا سمت چپ) و فلوم فلزی معلق (پایین). فلوم‌های چوبی کانتیلور و لبه‌ای برای آبکندهای با عمق پیشانی کوچک‌تر از سه متر و دبی رواناب سطحی کمتر از یک مترمکعب در ثانیه و فلوم معلق برای آبکندهای با عمق پیشانی بزرگ‌تر از سه متر که امکان دسترسی به درون آبکند امکان‌پذیر نباشد. این فلوم‌ها در برخی از نقاط امریکا استفاده‌شده و به‌وسیله سازمان حفاظت خاک امریکا پیشنهاد شده است (Kautz و Aull، ۱۹۷۱).

شکل ۱۰– مدیریت آبکند با احداث کانال انحراف رواناب سطحی در روستای تغنیت آذربایجان غربی



شکل ۱۱- انتقال مطمئن رواناب تولیدی در بالای شیب به پایین‌دست با استفاده از لوله یا سنگریزه. استفاده از کف‌بند با طول مناسب موفقیت پروژه را افزایش می‌دهد (Kautz و Aull، ۱۹۷۱)

شکل ۱۲- انتقال رواناب سطحی از بالادست پیشانی به درون آن با احداث حوضچه جمع‌آوری و لوله گالوانیزه (Kautz و Aull، ۱۹۷۱)

۳- تثبیت آبکند با احداث بند: گاهی هدف از مدیریت آبکند به دام انداختن رسوبات است تا با ایجاد شیب حد در بستر آبکند از فرسایش در بستر و کناره‌ها جلوگیری کرد. در این حالت، برای آبکندهای با عمق کمتر از یک متر می‌توان از بندهای چپری، چوبی یا توری فلزی و یا خشکه‌چین و یا کیسه‌های پرشده از خاک (شکل ۱۳) استفاده کرد. لازم است، به نکات فنی در انتخاب محل این نوع سازه ازنظر شیب و اندازه و کیفیت مواد به‌کار رفته دقت کرد. معمولاً در آبخیزهایی که این نکات رعایت شده می‌توان از این روش‌های ساده و کم هزینه استفاده کرد و دبی جریان در این آبراهه‌ها معمولاً کوچک‌تر از یک مترمکعب در ثانیه است و یا ابعاد کانال آبکند خیلی بزرگ نیست. با افزایش دبی جریان، شیب بستر آبراهه و ابعاد مخصوصاً عمق آبکند (بزرگ‌تر از یک متر) بایستی از روش‌های سازه‌ای مانند بندهای توری‌سنگی، سنگی و سیمان (ملاتی)، ساروج و یا سرریز بتنی توأم با دستک‌های خاکی سود برد (شکل ۱۴). در مناطقی که خاک بسیار فرسایش‌پذیر است و سیلاب‌های بزرگی نظیر دشتیاری سیستان و بلوچستان جاری می‌شود،

استفاده از سازه‌هایی نظیر سرریز بتنی یا سنگ و سیمان توأم با خاک‌ریز برای دستک‌ها توصیه می‌شود (شکل ۱۵- سمت چپ).

شکل ۱۳- بندهای چپری چوبی (بالا سمت راست) در دشت یاری، بند توری فلزی توأم با درخت‌کاری در زنجان (بالا سمت چپ)، بند خشکه‌چین در جونگان ممسنی فارس (وسط سمت راست)، چپری چوبی در حوضه تنگ‌شول مرودشت فارس (وسط سمت چپ) و بند کیسه خاکی در دشتیاری سیستان و بلوچستان (پایین)

برای آبکندهای کوچک‌تر نیز استفاده از سازه‌های توری‌سنگی پیشنهاد شده است. یکی از موارد ضروری، مدیریت خاکریزهای کنترل سیلاب است که بایستی به‌صورت دوره‌ای بازدید و مرمت شود و از خاک مناسبی با فشردگی کافی برای ساخت آن استفاده کرد، ولی به نظر می‌رسد، در زمینه مدیریت و کنترل این موارد، سازمان خاصی وظیفه‌مند نیست، لذا، بعد از وقوع سیلاب و ایجاد خسارت‌های فراوانی بازدید از مناطق و تلاش برای ارائه راهکار صورت می‌گیرد ولی متولی خاص برای استمرار پیگیری‌ها وجود ندارد و به نظر می‌رسد، بایستی مانند شهرداری‌ها که طبق ضوابطی اقدامات ساختمانی را کنترل کرده، پاسخگو

هستند، بایستی این وظیفه‌مندی کنترل سیلاب و فرسایش نیز متولی مناسب با وظایف، بودجه و پاسخگویی وجود داشته باشد. در کشورهایی نظیر امریکا و استرالیا با ارائه دستنامه‌هایی برای اقدامات مناسب کنترل سیلاب همه بهره‌برداران نظیر کشاورزان بایستی این راهنماها را مطالعه و آموزش‌های لازم را دیده، در اطراف اراضی خود اقدامات لازم را انجام دهند. سازمان‌های پژوهشی و دانشگاه نیز نیازهای پژوهشی آنان را بررسی و با همکاری اداره ترویج به آن‌ها انتقال می‌دهند و در مناطق شهری به کمک شهرداری‌ها کنترل و در اراضی ملی نیز از طریق سازمان مدیریت اراضی یا حفاظت منابع طبیعی پیگیری و کنترل می‌شود.

شکل ۱۴- سد ملاتی (سمت راست) و ساروج (سمت چپ) در روستای گزیر بندرلنگه هرمزگان

شکل ۱۵- بندهای سنگ و سیمان بید گینه زنجان و سرریز سنگ و سیمان با دستک‌های خاکی در روستای سید بار واقع در دشتیاری سیستان و بلوچستان

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، سعی شد، بخشی از نتایج تحقیقات فرسایش آبکندی در عرصه ایران به‌وسیله نگارندگان مقاله با معرفی ویژگی‌های آبکندهای ایران و پراکنش آن‌ها در استان‌های مختلف ایران و روش‌های مورد استفاده برای کنترل فرسایش آبکندی به‌صورت مختصر ارائه شود. همراه با این نتایج، تجربیات برخی از کشورهای مورد بازدید نگارنده اول نیز معرفی شود. نتایج این تحقیق نشان داد که در بالغ بر ۵۰ درصد از مناطق آبکندی ایران هیچ‌گونه اقدام کنترلی صورت نگرفته است. مقایسه استان‌های ایران از نظر عدم اجرای اقدامات کنترلی نشان داد که بین ۲۰ تا ۹۰ درصد متغیر بوده است. علل تفاوت آن‌ها نیز می‌تواند به‌ترتیب اولویت، نبود بودجه کافی، عدم وجود یا کمبود متخصص مربوطه، بی‌اطلاعی از وجود چنین پدیده‌ای و یا عدم درک نحوه کنترل آن به‌دلیل پیچیدگی پدیده را نام برد. بررسی میدانی نشان داد که معاونت آبخیزداری به‌عنوان متولی کنترل فرسایش آبکندی در ایران، عمدتاً رویکرد سازه‌ای از نوع سدهای خشکه‌چین، توری‌سنگی و سنگ و سیمان را انجام

داده است، هر چند که در برخی استان‌ها از روش بیولوژیک توام با سدهای سبک فلزی نظیر زنجان و یا به تنهایی نظیر ایلام و کرمانشاه را می‌توان نام برد. در برخی از استان‌ها اقدامات کنترلی از تنوع بیشتری برخوردار بوده که دلیل آن اقدام سکنه محلی آبخیز و مشارکت در اجرای اقدامات بوده است، نظیر استان‌های آذربایجان غربی، بوشهر و سیستان و بلوچستان. به نظر می‌رسد، برخی از روش‌های مورد استفاده در سایر کشورها، در ایران ترویج نشده است و علت احتمالی آن را می‌توان عدم آشنائی و عدم اطمینان از عملکرد آن‌ها اعلام کرد که در این مورد انجام تحقیقات بیشتر در مراکز پژوهشی و آموزشی روی روش‌های اثبات شده و ترویج آن به بهره‌برداران از نیازهای آینده کشور است. نکته جالب توجه در بازدیدهای میدانی نشان داد که آب‌انبار علاوه‌بر ذخیره رواناب سطحی برای سکنه محلی، سبب پیشگیری از ایجاد آبکند نیز می‌شده است و بقایای آب‌انبارهای موجود در استان هرمزگان نشان می‌دهد که تخریب آن‌ها سبب ایجاد فرسایش آبکندی در مسیر عبور رواناب سطحی شده است که به نظر می‌رسد، مراکز پژوهشی و دانشگاهی بایستی بر روی فناوری‌های قدیمی کنترل و ذخیره سیلاب به‌وسیله ایرانیان قدیم در مناطق خشک، تحقیقات بیشتری انجام دهند و شکل جدیدی از این فناوری ساده و بسیار موثر را ارائه دهند.

سپاس‌گزاری

مطالب ارائه شده در این مقاله، بخشی از نتایج طرح ملی طبقه‌بندی مورفوکلیماتیک آبکندهای ایران است که در سه فاز در استان‌های مختلف در دهه ۸۰ هجری شمسی انجام شد. بودجه این تحقیق که بیش از یک دهه به طول انجامید، با کمک پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری در سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی وزارت جهاد کشاورزی تامین شد. نگارندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از حمایت‌های مادی و معنوی روساء و معاونین سابق و فعلی پژوهشکده، روسای سابق و فعلی بخش مهندسی حفاظت آب و خاک، کارشناسان بخش‌های مختلف پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، روسای وقت مراکز تحقیقات، آموزش و ترویج استان فارس و دیگر استان‌های دارای پروژه استانی طبقه‌بندی مورفوکلیماتیک که مورد بازدید نگارندگان قرار گرفته، تشکر و قدردانی کنند.

منابع مورد استفاده

1. Avni, Y. 2005. Gully incision as a key factor in desertification in an arid environment, the Negev highlands, Israel. Catena, 63: 185-220.
2. Bradford, J.M. and R.F. Piest. 1978. Erosion development of valley-bottom gullies in the upper mid weastern United States. In D.R. Coates and J.D. Vitek (eds), Thresholds in Geomorphology, Allen and Unwin, Shubbery, 75-101.
3. Dabiri, S.S. 2012. Determination of success and/or failure of check dams, case study: Watersheds of Eghlid, Marvdasht and Mamasani cities. MS Thesis, Islamic Azad University, 157 pages (in Persian).
4. FAO. 1965. Soil erosion by water-some measures for its control on cultivated lands. Paper no. 81, 299 pages.
5. Govers, G. and J. Poesen. 1988. Assessment of the interrill and rill contributions to total soil loss from an upland field plot. Geomorphology, 1: 343-354.
6. Heede, B.H. 1979. Deteriorated watersheds can be restored: a case study. Environmental Management, 3: 271-281.
7. Hooshmand, A. 2012. A study of the impacts of gully erosion on desertification in the Baba-Arab Watershed. MS Thesis, Faculty of Natural Resources and Earth Science, University of Kashan,92 pages (in Persian).
8. Hudson, N. 1995. Soil conservation. Iowa State Press, 391 pages.
9. Kautz, H.M. and J.A. Aull. 1971. Engineering field manual for conservation practices. United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Washington D.C. 20250. 1140 pages.
10. Lenzi, M.A. 2002. Stream bed stabilization using boulder check-dams that mimic step-pool morphology features in northern Italy. Journal of Geomorphology, (45): 243-260.

11. Lenzi, M.A. and F. Comiti. 2003. Local scouring and morphological adjustments in steep channels with checkdam sequences. Geomorphology, 55: 97-109.
12. Liniger, H. and W. Critchley. 2007. Where the land is greener: case studies and analysis of soil and water conservation initiatives worldwide. WOCAT, FAO and CDE, 364 pages.
13. Mehdipour, A. 2012. Investigation and evaluation of some of the mechanical measures of gully erosion in Baft region. Research Final Report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 72 pages (in Persian).
14. Nyssen, J., J. Poesen, J. Moeyersons, J. Deckers, H. Mitiku and A. Lang. 2004. Human impact on the environment in the Ethiopian and Eritrean highlands-a state of the art. Earth Science Reviews, 64(3-4): 273-320.
15. Poesen, J. 1993. Gully typology and gully control measures in the European loess belt. In: Wicherek, S. (Ed.), Farmland Erosion in Temperate Plains Environment and Hills. Elsevier, Amsterdam, 221-239.
16. Poesen, J., J. Nachtorgale and G. Verstrac. 2003. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. Catena, 50: 91-133.
17. Soufi, M. 2015. Morphoclimatic classification of gullies in different climates of I.R. Iran (phase 2). Research Final Report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute , 84 pages (in Persian).
18. Soufi, M. 2016. Morphoclimatic classification of gullies in different climates of I.R. Iran (phase 3). Research Final Report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute , 76 pages (in Persian).
19. Soufi, M. 2017. Morphoclimatic classification of gullies in different climates of I.R. Iran (phase 1). Research Final Report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute , 92 pages (in Persian).
20. Soufi, M., R. Bayat and A.H. Charkhabi. 2020. Gully erosion in I.R. Iran: characteristics, processes, causes and land use, Chapter 23. In Gully Erosion Studies from India and Surrounding Regions, Advances in Science, Technology and Innovations, P.K. Shit et al.(eds.), Springer Nature Switzerland, AG, 2020.
21. Tuan, C.H. 1988. Study on the gully control by used-tire structure in northern Taiwan. Proceeding of the Fifth International Symposium on Landslide, Rotterdam Netherland, 2: 1001-1006.
22. Valentin, C., J. Poesen and Y. Li. 2005. Gully erosion: impacts, factors and control. Catena, 63: 132-153.
23. Wasson, R.J., G. Caitcheon, A.S. Murray, M. McCulloch and J. Quade. 2002. Sourcing sediment using multiple tracers in the catchment of lake Argyle, Northwestern Australia. Environmental Management, 29(5): 634-646.
24. Xiang-zhou, X., Z. Hong-wu and Z. Ouyang. 2004. Development of check-dam systems in gullies on the Loess Plateau, China. Environmental Science and Policy, 7: 79-86.