پژوهش های آبخیزداری
شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱

علت‌های گسترش فرسایش خندقی و خسارت‌های ناشی از آن در ایران

صمد شادفر[۱]، مجید صوفی[۲]

۱- دانشیار پژوهشکدهٔ حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۲- دانشیار بازنشستهٔ بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع‌طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

چکیدهٔ مبسوط

مقدمه و هدف

یکی از انواع فرسایش آبی که باعث ایجاد فرسایش و رسوب در آبخیزها می‌شود و خسارت‌های زیادی به زمین‌های کشاورزی، مرتعی و تأسیسات زیربنایی وارد می‌کند، فرسایش خندقی است. مدیران زمین با شناسایی علت‌های مؤثر بر فرسایش خندقی می‌توانند با در نظر گرفتن و رعایت عامل‌های مؤثر مدیریتی، از گسترش خندق‌ها جلوگیری کنند. این پژوهش با هدف بررسی فرسایش خندقی در استان‌های کشور، شناسایی عامل‌های مؤثر بر گسترش فرسایش خندقی، به‌دست آوردن مساحت مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی و برآورد خسارت‌های ناشی از آن، انجام شد. افزون بر این، اندازهٔ گسترش خندق‌ها در قالب عامل‌های گوناگون طبقه‌بندی‌شده بررسی شد و خسارت ناشی از آنها در ایران ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش، از نتایج طرح‌های پژوهشی که به‌شکل مستقیم و غیر مستقیم، گسترش فرسایش خندقی را بررسی کرده بودند، استفاده شد. ابتدا تعدادی از مهم‌ترین عامل‌های مؤثر بر فرسایش خندقی در آبخیزهای کشور، بررسی شد. سپس، کلیه عامل‌های طبقه‌بندی‌شده و رابطهٔ آنها با مناطق تحت تأثیر فرسایش‌خندقی بررسی شد. در این پژوهش، با استفاده از روش دومارتن گسترده، اقلیم مناطق خندقی طبقه‌بندی شد و رابطهٔ میان اقلیم‌های گوناگون و فراوانی خندق‌ها بررسی و محاسبه شد.

نوع مقاله: پژوهشی

***مسئول مکاتبات، نشانی الکترونیکی:** samad.shadfar@gmail.com

استناد: شادفر، ص.، صوفی، م. ۱۴۰۴. علت‌های گسترش فرسایش خندقی و خسارت‌های ناشی از آن در ایران. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۸(۲): ۹۷-۸۳.

شناسهٔ دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2024.367344.1597

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۸، **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۳/۰۸/۲۶، **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۰۹/۲۹، **تاریخ انتشار:** ۱۴۰۴/۰۴/۰۱

پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۴، دورهٔ ۳۸، شمارهٔ ۲، شمارهٔ پیاپی ۱۴۷، تابستان ۱۴۰۴، صفحه‌های ۸۳ تا ۹۷.

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان فارس

© نویسندگان

کاربری‌های قدیم و جدید در مناطق خندقی مقایسه شد و بافت خاک و دامنهٔ تغییرات ذرات خاک، تغییرات شوری خاک، تغییرات مواد آلی، تغییرات نسبت جذبی سدیم (SAR) در مناطق خندقی، شیب، جاده‌سازی و شخم در جهت شیب به‌عنوان برخی از مهم‌ترین عامل‌های تأثیرگذار در گسترش فرسایش‌خندقی بررسی شدند. سرانجام، اندازهٔ مساحت فرسایش خندقی رخداده همراه نوع و اندازهٔ خسارت بر اساس قیمت روز برای استان‌ها برآورد شد.

نتایج و بحث

نتایج بررسی رابطهٔ میان اقلیم‌های گوناگون و فراوانی خندق‌ها نشان داد که ۳۲٪ خندق‌ها در اقلیم نیمه‌خشک، ۱۷٪ در اقلیم خشک، ۱۴٪ در اقلیم خشک و بیابانی گرم، ۱۴٪ در اقلیم خشک و بیابانی معتدل، ۹٪ در اقلیم مدیترانه‌ای، ۵٪ در اقلیم نیمه‌مرطوب، ۴٪ در هر کدام از اقلیم‌های مرطوب و خشک بیابانی سرد و ۱٪ در اقلیم خیلی‌مرطوب، رخ داده‌اند. مقایسهٔ کاربری‌های قدیم و جدید در مناطق خندقی نشان داد که ۵۵٪ از خندق‌ها در اثر تغییر کاربری مرتع به زراعت دیم رخ داده‌اند. بافت‌های سیلت‌لوم، لوم و لوم‌شنی به‌ترتیب با ۲۶، ۲۳ و ۲۰٪ فراوانی به‌عنوان بافت غالب خاک در خندق‌ها شناسایی شد و ۱۴٪ از مناطق بررسی‌شده از نظر شوری محدودیت خیلی‌شدید داشتند. اندازهٔ مادهٔ آلی در مناطق پژوهش‌شده از ۰/۰۲ تا ۲/۹ ٪ متغیر بود. مادهٔ آلی ۹۴٪ از مناطق خندقی کمتر از ۲٪ بود و مادهٔ آلی حدود ۶٪ از مناطق نیز از ۲ تا ۲/۹٪ متغیر بود. نتایج بررسی نسبت جذبی سدیم نشان داد که نسبت جذبی سدیم ۲۴٪ از مناطق خندقی بیشتر از ۱۵ بود. شیب ۷۰٪ از مناطق خندقی کمتر از ۱۲٪ بود و ۱۶٪ از مناطق خندقی در طبقهٔ شیب ۱۲ تا ۲۵٪ و ۱۴٪ از مناطق خندقی نیز در شیب بیشتر از ۲۵٪ بودند. در ۳۸٪ از مناطق خندقی جاده‌سازی و در ۲۷٪ از آن شخم در جهت شیب به‌عنوان عامل‌های مؤثر بر فرسایش خندقی شناخته شدند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بر اساس نتایج این پژوهش، بیشترین فراوانی خندق‌ها در اقلیم نیمه‌خشک، زراعت دیم، مربوط به خاک‌هایی با بافت سیلت لوم بود. همچنین، خندق‌ها در مناطقی که محدودیت خیلی شدید از دیدگاه شوری، ماده آلی بسیار کم، نسبت جذبی سدیم زیاد بود، گسترش یافته‌اند. در مناطقی نیز جاده‌سازی و شخم در جهت شیب به‌عنوان عامل‌های مؤثر بر فرسایش خندقی شناخته شد. بر اساس نتایج این پژوهش خسارت ناشی از گسترش خندق‌های ایران حدود ۷۰۰ میلیارد تومان محاسبه شد. همچنین، به‌دلیل آغاز یک دورهٔ خشک‌سالی درازمدت، پیشنهاد می‌شود از طرح‌های حفاظتی (زیستی) و در برخی شرایط تلفیقی (زیستی و سازه‌ای) برای کاهش گسترش خندق‌های ایران استفاده شود. در مناطقی که عملیات نادرست کشاورزی موجب گسترش خندق‌ها شده است، به کشاورزان، به‌ویژه در زمینهٔ شخم صحیح آموزش داده شود. همچنین، در مناطق مطالعه‌شده تغییر کاربری زمین مهم‌ترین عامل انسانی مؤثر در رخداد فرسایش خندقی شناخته شد. ازاین‌رو، پیشنهاد می‌شود از تغییرات کاربری زمین اجتناب شود.

واژگان کلیدی

اقلیم، تغییر کاربری زمین، خسارت، شخم در جهت شیب، فرسایش‌خندقی، مادهٔ آلی

مقدمه

بررسی علت‌های گسترش فرسایش خندقی در کشورهای گوناگون دنیا از جمله ایران بیانگر آن است که علت‌های کلی شامل تغییرات یا نوسان‌های اقلیمی، دخالت انسان و تغییرات درون آبخیزی است. با وجود بررسی‌های فراوان درباره علت‌های گسترش فرسایش خندقی به‌دلیل پیچیدگی‌ها و اثرات اندرکنش عامل‌های گوناگون، هنوز مجادله زیادی میان متخصصان وجود دارد. بیش از یک میلیون هکتار از زمین‌های مرتعی و دیم در استان‌های گوناگون ایران دچار فرسایش خندقی شده‌اند که دامنهٔ ژرفای آنها ۸-۰/۵ متر است (صوفی ۲۰۰۹). این موضوع بیانگر آن است که سطح گسترده‌ای از زمین‌های تولیدکنندهٔ

علوفه و غذا از دسترس کشاورزی خارج شده‌اند. از سوی دیگر، این نوع فرسایش به‌دلیل تأثیرگذار بودن بر رواناب سطحی و زیرزمینی، اهمیت بیشتری دارد. دلیل اول اینکه خندق‌ها با انحراف رواناب سطحی به سمت پیشانی خود سبب تمرکز سیلاب در درون خود می‌شوند و به این ترتیب سیلاب سریع از دسترس زمین‌های اطراف خندق‌ها خارج می‌شود. دلیل دوم این است که خندق‌ها با افزایش ژرفای فرسایش کانال خود سبب افزایش سرعت تخلیه آب زیرزمینی شده و به این ترتیب زمین‌های اطراف آنها سریع خشک می‌شود. در چنین شرایطی اثرات تغییر اقلیم نیز چند برابر خواهد شد. دلیل سوم اینکه فرسایش خندقی با تولید رسوب فراوان سبب مشکلات زیادی در پائین‌دست خود مانند منابع آبی خواهد شد (شادفر ۲۰۱۵). در سه دهه گذشته در ایران، به‌شکل پراکنده و محدود پژوهش‌هایی درباره انواع گوناگون فرسایش خاک از جمله فرسایش خندقی انجام‌شده است (ثروتی و همکاران ۲۰۰۸). در شهرستان بندر لنگه آبخیز گزیر، پرورش (۱۹۹۲) گزارش کرد که خندق‌ها در اثر نابودی پوشش گیاهی مراتع مشجر با گونه درختی گز و تاغ و تبدیل به زمین‌های زراعی و ترک روش‌های سنتی و مهار رواناب سطحی به‌وسیلهٔ آب انبار و یا متروکه شدن آب انبارهای قدیمی روی شیب ۲-۰٪ و رسوبات ژرف دریائی و یا مارن ایجاد شده‌اند. در آبخیز سوق در شهرستان دهدشت، شهریور (۱۹۹۷) عامل‌هایی مانند نوع سازند، اندازهٔ رس، اندازهٔ ماسه و سیلت، تراکم پوشش گیاهی، املاح محلول موجود در خاک، مساحت آبخیز خندق، شیب کف خندق و شیب آبخیز خندق را بررسی کرد و دریافت که دو عامل مساحت آبخیز در بالادست خندق (عامل پستی‌بلندی) و درصد املاح محلول در خاک (عامل خاک یا سنگ بستر) بیشترین تأثیر را در گسترش فرسایش خندقی دارند. در بندر گناوه، راهی (۱۹۹۸) عامل‌هایی چون سازندهای حساس زمین‌شناسی، نفوذپذیری کم، فقر پوشش گیاهی، شدت زیاد بارندگی‌ها، تعداد دام مازاد در مرتع را از جمله علت‌های گسترش فرسایش خندقی گزارش کرد. همچنین، صوفی (۲۰۰۳) عامل‌هایی مانند نابودی پوشش گیاهی، کاربری نامناسب زمین و ساخت جاده و آبیاری غیر اصولی در استان فارس را از جمله علت‌های گسترش فرسایش خندقی معرفی کرد. زارع‌مهرجردی و همکاران (۲۰۰۵) دریافتند که عامل اصلی گسترش خندق در استان هرمزگان شدت زیاد بارندگی، نوع خاک، از بین رفتن پوشش گیاهی و به‌دنبال آن انجام کشاورزی نادرست و نبودن مدیریت صحیح سیلاب بود. در یکی از زیرآبخیزهای زنجان‌رود، مرتضایی (۲۰۰۵) گزارش کرد که شیب بالادست خندق (عامل پستی‌بلندی)، اندازهٔ املاح موجود در سازند، افزایش بارندگی بیش از ۱۳ میلی‌متر در ۲۴ ساعت (عامل اقلیم) و قابلیت انحلال‌پذیری سازند (سنگ بستر) در گسترش و گسترش خندق مؤثرند. صوفی و چرخابی (۲۰۰۵) علت‌های گسترش خندق را در شهرستان لامرد فارس، خاکبرداری، تردد وسائط نقلیه موتوری، نابودی پوشش گیاهی جنگلی و مرتعی، شخم با ادوات سنتی و در معرض رواناب سطحی بودن لایهٔ زیرین خاک با مواد آلی بسیار ناچیز (میانگین ۰/۵٪) و با سیلت فراوان، ایجاد شخم در جهت شیب در زمین‌های زراعی، ساخت پل‌های جدید، گزارش کردند. حیدری و همکاران (۲۰۰۶) سازوکارهای گسترش فرسایش خندقی در استان کرمان را بررسی کردند و دریافتند که عامل‌هایی مانند درصد رس (بستر)، سطح آبخیز خندق (پستی‌بلندی) و میانگین عرض خندق (شکل‌شناسی خندق) در حجم گسترش خندق تأثیرگذار بودند و عامل‌هایی مانند عرض خندق، مجموع بارش سالانه (اقلیم)، درصد سیلت و رس خاک در گسترش طولی خندق‌های منطقه بیشترین تأثیر را داشتند. شادفر و همکاران (۲۰۰۷) برخی از عامل‌های مؤثر بر فرسایش خندقی در آبخیز قشلاق البرز را بررسی کردند و دریافتند که ۶۳٪ از مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی، در واحدهای سنگ‌شناسی متشکل از رس و سیلت بودند و ۳۷٪ در مناطق آبرفتی بودند. همچنین، ۹۸٪ از خندق‌ها در طبقه شیب ۵-۰٪ و در دشت‌های دامنه‌ای و سیلابی (به‌ترتیب ۴۳ و ۴۹٪)، کاربری کشاورزی و مراتع فقیر

رخ داده‌اند. همچنین، افزایش تهاجم فرسایش خندقی در این آبخیز سبب هدر رفتن زمین‌های قابل کشت شده است. در این راستا، سه عامل مدیریت کاربری انسان، پستی‌بلندی و سنگ بستر بیشترین تأثیر را داشتند. شادفر و صبحزاهدی (۲۰۰۷) علت‌های گسترش فرسایش خندقی در آبخیز علی‌آباد استان گیلان را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که واحدهای سنگ‌شناسی Ng2 و Qf1، ۱۰۰٪ و تیپ زمین‌های تپه ماهور ۵۷٪ از مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی را شامل می‌شوند. همچنین، بیشترین گسترش فرسایش خندقی در آبخیز مطالعه‌شده در مناطقی با طبقهٔ شیب ۲۰-۵٪ (۹۲٪)، جهت شیب جنوبی (۸۲٪) و کاربری مرتع فقیر (۱۰۰٪) مشاهده شد. شادفر (۲۰۱۰) از جمله عامل‌های تأثیرگذار در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی را حساسیت سازند، شیب، بارش، جهت دامنه‌ها، چرای بیش از حد دام، نوع خاک، جاده‌سازی، شخم در جهت شیب، تراکم و پوشش گیاهی و کاربری زمین معرفی کرد. نکوئی‌مهر و همکاران (۲۰۱۱) در استان چهارمحال و بختیاری گزارش کردند که نابودی پوشش گیاهی، تغییر کاربری زمین (دخالت‌های انسان به‌شکل‌های گوناگون)، سیل (اقلیم)، شیب‌زمین (پستی‌بلندی)، فرسایش‌پذیری خاک، حساس بودن سازند، جاده‌سازی و ساخت پل که سبب تمرکز جریان آب در پایین‌دست می‌شود از مهم‌ترین عامل‌های گسترش فرسایش خندقی در استان به‌شمار می‌آید. علیرضایی و همکاران (۲۰۱۱) در استان همدان علت‌های فرسایش‌خندقی را چرای بیش از حد، تبدیل مراتع به دیم در شیب‌های زیاد، ایجاد شخم در جهت شیب (دخالت انسان)، وجود سیلت فراوان، کم بودن مواد آلی، ساختمان تک دانه‌ای، تکامل نیافتن ساختمان خاک (سنگ بستر)، شیب (پستی‌بلندی)، جنس تشکیلات زمین‌شناسی، بهره‌برداری غیر مجاز و بیش از حد از معادن سنگ سیلیس و ساخت جاده‌های غیر اصولی (دخالت نامناسب انسان) گزارش کردند. نتایج پژوهش اعظمی و همکاران (۲۰۱۲) بیانگر آن بود که بیشترین خسارت‌های خندق شامل نابودی زمین‌های مرتعی، کشاورزی، نابودی منازل و ابنیه‌ها است. این پژوهشگران فرسایش‌پذیری خاک، نابودی پوشش گیاهی، شدت بارندگی و ضریب هرزآب زیاد در لایه‌های سنگی آغاجاری، رواناب سطحی، شیب زیاد، چرای بیش از حد دام، تبدیل زمین‌های مرتعی و شیب‌دار به زمین‌های زراعی دیم و اقدام‌های نادرست کشاورزی در استان ایلام را از علت‌های گسترش فرسایش خندقی گزارش کردند.

ویسی‌سرطایره و اسفندیاری‌درآبادی (۲۰۱۵)، در پژوهشی نقش شیب در شکل‌گیری و گسترش فرسایش‌خندقی در شهرستان ثلاث باباجانی را بررسی کردند. نتایج این پژوهش بیانگر آن بود که شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی در این منطقه تابعی از عامل‌های گوناگون شامل میانگین بلندی بارندگی، روش استفاده از زمین، نوع و پوشش گیاهی، شیب و جهت زمین است. از آنجایی که در این مطالعه بیشتر خندق‌ها روی شیب بودند، این پژوهشگران عامل شیب را به‌عنوان مهم‌ترین عامل در شکل‌گیری و گسترش فرسایش‌خندقی معرفی کردند و اصلاح کاربری زمین و مدیریت پوشش گیاهی و جلوگیری از قطع درختان را به‌عنوان راهکارهای مهار این نوع فرساش، توصیه کردند. شادفر (۲۰۱۵) در بررسی و ارزیابی عامل‌های مؤثر بر فرسایش خندقی دریافت که بیش‌ترین گسترش فرسایش خندقی در مناطقی با اقلیم نیمه‌خشک که خاک‌هایی با بافت سیلت‌لوم و مادهٔ آلی کمتر از ۲٪، شیب کمتر از ۱۲٪ داشتند، بود. نتایج پژوهش شیرانی (۲۰۱۹) در جنوب استان اصفهان نشان داد که شاخص‌های قدرت فرسایندگی جریان آب، بافت خاک و سنگ‌شناسی بر پهنه‌های حساس به فرسایش خندقی بیشترین تأثیر را داشتند. شیرانی (۲۰۲۱) تأثیرگذارترین سنجه‌ها در رخداد خندق در آبخیز سمیرم در جنوب استان اصفهان را کاربری زمین، شیب و فاصله از آبراهه معرفی کرد. شیرانی (۲۰۲۴) در بررسی آبخیزهای سمیرم، مارون، سمنان، ایلام، سراب‌هلیل و بازفت دریافت که عامل‌های کاربری زمین، سنگ‌شناسی، بارش، نوع

خاک، بلندی، درجه شیب و سطح زهکشی آبخیز به‌ترتیب در رخداد فرسایش خندقی بیشترین تأثیر را داشتند. عسکری و شیرانی (۲۰۲۴) در آبخیز ایلام دریافت که متغیرهای کاربری زمین، تراکم آبراهه، سنگ‌شناسی، اقلیم، بارش، پوشش گیاهی و بلندی، به‌ترتیب بیشترین تأثیر را در گسترش فرسایش خندقی داشتند. در پژوهش بیلی و همکاران (۱۹۸۶) مشخص شد که پیشرفت فرسایش تونلی منجر به شکل‌گیری ناگهانی خندق‌ها شد و عامل اصلی آن وجود املاح محلول در خاک، حرکت آب در تودهٔ خاک در اثر تجمع در گودال‌های کوچک در سطح خاک و اشباع شدن خاک، بود. پوزن وگاورز (۱۹۹۰) فرسایش خندقی را در خاک‌های لومی بلژیک بررسی کردند و گزارش کردند که همه خندق‌ها در خاک‌هایی با بافت لوم‌سیلتی تشکیل شده‌اند. ویجدنس و برایان (۱۹۹۱) دریافتند که رشد خندق‌ها در سال بیش از ۱۰ متر بود و همبستگی زیادی میان توزیع بارندگی و نابودی پوشش گیاهی وجود داشت. همچنین، خندق‌ها در زمین‌های مسطح با پوشش علفی و خاک بدون ساختمان به‌شدت گسترش یافته‌اند.

عامل اصلی افزایش خطر ایجاد خندق روی شیب‌های شدید در بوم‌نظام‌های گوناگون در مرکز بلژیک (ناشترگیل ۲۰۰۱) افزایش سطح زیر کشت ذرت و اثرات جاده‌سازی (کروک و موکلر ۲۰۰۱؛ مونت گومری ۱۹۹۴؛ ومپل و همکاران ۱۹۹۶) گزارش‌شده است. کوکال و ماتارو (۲۰۰۲) گزارش کرد که با افزایش شیب نسبت میانگین طول خندق‌ها افزایش می‌یابد. همچنین، هر چه اندازهٔ ماده آلی کاهش یابد، اندازهٔ فرسایش خندقی افزایش خواهد یافت. از سوی دیگر، سنجه‌هایی مانند شیب، مساحت آبخیز، عامل شکل، فرسایش‌پذیری سطحی و زیرسطحی خاک، میانگین بارندگی و وضعیت پایداری خاک با گسترش خندق رابطه مستقیم دارند. افزون بر این، این پژوهشگران گزارش کردند که تشکیل بیشتر خندق‌ها به‌دلیل پیدایش کافی رواناب و انرژی بود و این موضوع به درجه شیب بستگی دارد و تأکید کردند که عامل شیب و مساحت آبخیز مهم‌ترین عامل در گسترش فرسایش خندقی در مناطق مطالعه‌شده بود. ژانگ و همکاران (۲۰۰۷) گسترش خندق‌های کوچک و موقتی را در زمین‌های کشاورزی در منطقه‌ای در شمال‌شرق چین ارزیابی کردند. این پژوهشگران اندازه‌گیری‌های لازم در این پژوهش را در دو دورهٔ اواخر بهار و تابستان که دوره‌های بحرانی تشکیل این خندق‌ها بود، انجام دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که افزون بر خصوصیات خاک و بارش، نوع عملیات کشاورزی نیز در گسترش خندق‌ها مؤثر بود که این موضوع بیانگر اثرات بیشتر مدیریت انسان بر اقلیم و بستر برای گسترش خندق‌ها بود. منندز دوآرتی و همکاران (۲۰۰۷) رابطهٔ میان عامل‌های پستی‌بلندی و نوع لایهٔ سنگ‌شناسی را با گسترش فرسایش‌خندقی در مراتع شیب‌دار شمال اسپانیا بررسی کردند. نتایج این بررسی نشان داد که: ۱- رابطهٔ میان ریخت‌سنجی کانال، پستی‌بلندی و شدت فرسایش معنی‌دار بود. ۲- خندقی شدن به‌شدت تحت تأثیر وجود لایه رگولیت در ژرفای خاک بود. ۳- گسترش خندق بستگی به فرایندهای لغزش دارد که این فرایندها نیز تحت تأثیر وجود آب در منافذ لایه رگولیت بود. این نتایج بیانگر اثرات شدید شیب و پستی‌بلندی در افزایش گسترش خندق‌های شمال اسپانیا بود. نتایج پژوهش میانگ‌نر و همکاران (۲۰۰۷) نشان داد که بیشتر خندق‌های موقت ایجادشده در زمین‌های زراعی آمریکا به‌دلیل عملیات شخم که نتیجه مدیریت انسان بوده است، مشاهده شد. آچتن و همکاران (۲۰۰۸) رخداد فرسایش خندقی را در منطقه‌ای با مساحت ۱۳۰۰۰ کیلومترمربع در جنوب‌شرق تانزانیا بررسی کردند. نتایج این بررسی نشان داد که ساخت جاده‌ها که نتیجه دخالت انسان است، مهم‌ترین عامل ایجاد خندق در منطقه نامبرده بود. گومز گوتیرز و همکاران (۲۰۰۹) گسترش فرسایش خندقی را در یک دورهٔ ۶۰ ساله در یک آبخیز مرتعی کوچک در جنوب اسپانیا بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که اندازهٔ فرسایش خندقی رابطهٔ مستقیمی با تغییرات کاربری زمین به‌ویژه وسعت زمین‌های کشاورزی و شدت چرا داشت. این یافته بیانگر آن بود که اثرات دخالت و

مدیریت انسان در مقایسه با دیگر عامل‌ها در گسترش خندق بیشتر بود. در پژوهشی، نوان کوالا و نوان‌کو (۲۰۱۸) وضعیت فرسایش‌خندقی در ایالت آبیا نیجریه را بررسی کردند. ایشان علت‌های اصلی ایجاد فرسایش خندقی در منطقهٔ نامبرده را وجود معدن شن، فعالیت‌های نادرست کشاورزی، سامانه‌های ضعیف و نامناسب زهکشی، جاده‌سازی و ساخت و سازهای غیر اصولی گزارش کردند. در استان ایلام، شیرانی و همکاران (۲۰۲۳) عامل‌های مانند نوع خاک، سنگ‌شناسی، شیب، بلندی و میانگین بارش را در رخداد فرسایش خندقی مؤثر دانسته‌اند.

نتایج پژوهش‌های گوناگون بیانگر آن است که افزون بر عامل‌های طبیعی مانند اقلیم، ویژگی‌های خاکشناسی و غیره نیز در گسترش فرسایش خندقی تأثیرگذار بوده‌اند و دخالت انسان به‌شکل‌های گوناگون در آبخیزهای ایران سبب نابودی مراتع به‌دلیل چرای بیش از حد، خشک‌سالی و تردد دام‌ها در فصل‌های مرطوب، تبدیل مراتع به زراعت دیم یا آبی، راه‌سازی و جایگذاری نامناسب آبگذرهای جاده‌ای، شخم دیم‌زارها در جهت شیب و بدون پوشش بودن آنها در فصل بارش و استفاده نکردن از خاکورزی حفاظتی بوده است. زیرا مدارک تاریخی نشان داد که در چند دههٔ گذشته که توسعهٔ فعالیت‌های عمرانی و کشاورزی در ایران کمتر بوده است، این پدیده در بسیاری از آبخیزهای ایران گسترش زیادی نداشته است. به بیان دیگر می‌توان گفت با کاهش پوشش گیاهی بر سطح مراتع و تبدیل آنها به دیم و ارائه طرح‌های توسعه فعالیت‌های عمرانی در ۵ دههٔ گذشته، سبب افزایش گسترش فرسایش خندقی شده است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای بررسی علت‌های گسترش فرسایش خندقی و خسارت‌های ناشی از آن در ایران از نتایج بررسی‌های انجام‌شده، بازدیدهای میدانی، مدارک تاریخی (عکس‌های هوائی و تصویرهای ماهواره‌ای) و روایتی (مصاحبه با افراد آگاه و ساکن در آبخیزها با فرسایش خندقی) استفاده شد. همچنین، تعدادی از مهم‌ترین عامل‌های بررسی‌شده در این پژوهش به شرح زیر است:

اقلیم

طبقه‌بندی اقلیم مناطق خندقی با استفاده از روش دومارتن گسترده انجام شد. سپس، اندازهٔ خندق‌های رخ داده در هر یک از طبقه‌های اقلیمی بررسی شد.

کاربری زمین‌ها

تغییرات کاربری زمین به‌عنوان یک عامل مؤثر در رخداد فرسایش خندقی بررسی شد. برای مقایسهٔ کاربری‌های قدیم و جدید در مناطق خندقی، تغییرات تبدیل مرتع به زراعت دیم، تبدیل مرتع به زمین‌های رهاشده و بایر، تبدیل جنگل به مرتع و زراعت دیم، تبدیل جنگل به زراعت دیم، تبدیل مرتع به زراعت آبی، تبدیل زراعت به مرتع و باغ، تبدیل زراعت آبی به زمین‌های رهاشده و تبدیل مرتع به جاده بررسی شد.

بافت خاک

در این پژوهش بافت خاک و دامنهٔ تغییرات ذرات خاک شامل رس، سیلت و شن بررسی شد.

بررسی تغییرات EC

تغییرات EC خاک از عامل‌های مهم و اثرگذار بر اندازهٔ گسترش خندق‌ها است. برای مقایسهٔ رابطهٔ میان اندازهٔ هدایت الکتریکی و طبقهٔ خاک از دیدگاه شوری از طبقه‌بندی مؤسسهٔ تحقیقات خاک و آب استفاده شد (جدول ۱).

جدول ۱- طبقه‌بندی اندازهٔ محدودیت شوری خاک با استفاده از هدایت الکتریکی.

Table 1- Classification of soil salinity limitation using electrical conductivity.

Electrical conduction(ds/m)	The amount of salt restriction
4<	No restriction
4-8	Low restriction
8-16	Medium restriction
16-32	Severe restriction
> 32	Very Severe restriction

تغییرات مواد آلی

کمبود مواد آلی یکی از عامل‌های نشان‌دهندهٔ اندازهٔ حساسیت مناطق نسبت به فرسایش خندقی است. آستانه مادهٔ آلی برای جدایش خاک‌های فرسایش‌پذیر ۳/۵٪ است و مناطقی که کمتر از ۳/۵٪ مادهٔ آلی داشته باشند، جزء خاک‌های فرسایش‌پذیر به‌شمار می‌آیند، چونکه این اندازه از مادهٔ آلی برای ایجاد مقاومت در برابر فرسایش آبی کافی نیست (مورگان و منگومزولو ۲۰۰۳).

در این پژوهش، برای بررسی درصد مادهٔ آلی، ابتدا خندق‌ها از دیدگاه اندازهٔ مادهٔ آلی در گروه‌های کمتر از ۰/۵، ۰/۵-۱، ۱-۱/۵، ۱/۲-۵ و بیشتر از ۲٪ طبقه‌بندی شدند. سپس، اندازهٔ خندق‌های ایجادشده در هر یک از طبقه‌ها بررسی شد.

تغییرات نسبت جذبی سدیم (SAR) در مناطق خندقی

خندق‌ها از دیدگاه اندازهٔ نسبت جذبی سدیم در گروه‌های کمتر از ۵، ۵-۱۰، ۱۰-۱۵، ۱۵-۲۰ و بیشتر از ۲۰ طبقه‌بندی شدند. سپس، اندازهٔ خندق‌های ایجادشده در هر یک از طبقه‌ها بررسی شد.

شیب

اثرات شیب آبخیز بر جریان سطحی محسوس و قابل توجه است. اثرات شیب روی اندازهٔ رواناب، ظرفیت نگهداری آب و خاک، فرصت نفوذ آب در خاک و اندازهٔ نفوذ آب در آن است. برای بررسی رابطهٔ میان فرسایش خندقی و شیب از طبقه‌بندی مؤسسهٔ تحقیقات خاک و آب استفاده شد (جدول ۲). سپس، اندازهٔ خندق‌های ایجادشده در هر یک از طبقه‌ها بررسی شد.

جدول ۲- طبقه‌بندی شیب بر اساس روش مؤسسهٔ خاک و آب.

Table 2- Slope classification based on Soil and Water Institute method.

Slope condition	Slope Percent	Sign
Flat	0-2	A
Gentle slope	2-5	B
Sloping ground	5-8	C
Very steep	8-12	D
Relatively steep slope	12-25	E
Steep slope	25-40	F
Very steep slope	40-70	G
Extremely steep slope	70<	H

عامل‌های دیگری مانند جاده‌سازی که اغلب موجب تمرکز هرزآب‌های بالادست در آبراهه‌های زیر جاده‌ها و ایجاد خندق در پایین‌دست جاده می‌شود و همچنین، شخم در زمین‌های شیب‌دار که همه ساله باعث فرسایش و کاهش اندازهٔ درصد حاصلخیزی خاک و در نتیجه کاهش اندازهٔ محصول می‌شود و بلندی نیز به‌عنوان عامل‌های مؤثر در گسترش فرسایش خندقی بررسی شدند.

طول خندق‌ها

در این پژوهش بر اساس روش احمدی (۱۹۹۹) خندق‌ها از دیدگاه طول در ۳ گروه، خندق‌های کوچک (کمتر از ۱۲۰ متر طول)، خندق‌های متوسط (۱۲۰-۲۴۰ متر طول) و خندق‌های بزرگ (بیش از ۲۴۰ متر طول) طبقه‌بندی شدند.

طبقه‌بندی خندق‌ها بر اساس شکل مقطع عرضی

در این پژوهش، از روش فائو برای طبقه‌بندی خندق‌ها بر اساس شکل مقطع عرضی آنها استفاده شد و به سه گروه V، U و ذوزنقه‌ای شکل طبقه‌بندی شدند.

خسارت‌های ناشی از فرسایش خندقی

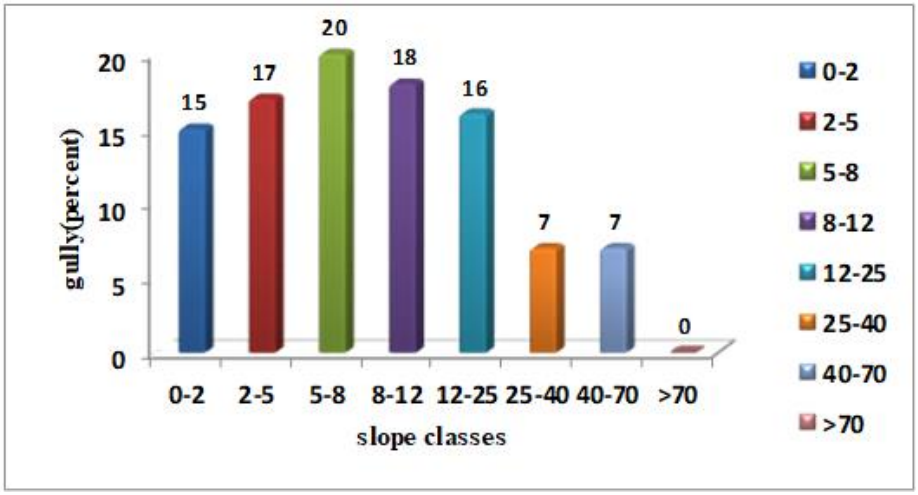
در این پژوهش، ابتدا مساحت مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی در ۲۱ استان کشور محاسبه شد. سپس، نوع خسارت وارده به راه‌ها، زمین‌های کشاورزی، جنگل‌ها، مراتع، باغ‌ها، قنات‌ها، صنایع، منازل مسکونی و دیگر کاربری‌ها تعیین شد. سرانجام برآورد تقریبی خسارت ناشی از فرسایش خندقی در

مناطق معرف هر استان با توجه به نوع خسارت در گزارش‌های بررسی‌شده تعیین شد و ارزش ریالی انواع خسارت‌های وارده برآورد شد.

نتایج و بحث

نتایج بررسی‌های پرشمار متخصصان ایرانی نشان داد که مساحت گسترش خندق‌های ایران بیش از یک میلیون و چهارصد هزار هکتار در اکثر اقلیم‌ها بود. اما، خندق‌ها در اقلیم‌های نیمه‌خشک و خشک گسترش بیشتری داشته‌اند. نتایج بررسی رابطهٔ میان اقلیم‌های گوناگون و فراوانی خندق‌ها در این پژوهش نشان داد ٪۳۲ خندق‌ها در اقلیم نیمه‌خشک، ۱۷٪ در اقلیم خشک، ۱۴٪ در اقلیم خشک و بیابانی گرم، ۱۴٪ در اقلیم خشک و بیابانی معتدل، ۹٪ در اقلیم مدیترانه‌ای، ۵٪ در اقلیم نیمه‌مرطوب، ۴٪ در هر کدام از اقلیم‌های مرطوب و خشک بیابانی سرد و ۱٪ در اقلیم خیلی مرطوب رخ داده‌اند. نتایج این پژوهش با یافته‌های پوزن و همکاران (۱۹۹۶) و پوزن و هوک (۱۹۹۷) مبنی بر افزایش گسترش فرسایش خندقی در اقلیم خشک در مقایسه با اقلیم مرطوب، هماهنگی دارد.

نتایج بررسی بافت خاک مناطق خندقی نشان داد که بافت غالب خاک در آنها شامل بافت‌های سیلت‌لوم، لوم و لوم‌شنی به‌ترتیب با ۲۶، ۲۳ و ۲۰٪ فراوانی بود. نتایج بررسی تغییرات درصد ذرات رس در مناطق خندقی نتایج نشان داد که اندازهٔ رس ۱۴٪ از مناطق خندقی کمتر از ۹٪، اندازهٔ رس ۶۵٪ از مناطق خندقی ۹ تا ۳۰٪ و اندازهٔ رس ۲۱٪ از مناطق خندقی بیش از ۳۰٪ بود. نتایج بررسی تغییرات درصد ذرات سیلت در مناطق خندقی نشان داد که اندازهٔ سیلت ۴۷٪ از مناطق خندقی کمتر از ۴۰٪، اندازهٔ سیلت ۴۰٪ از مناطق خندقی ۴۰ تا ۶۰٪ و اندازهٔ سیلت ۱۳٪ از مناطق خندقی بیش از ۶۰٪ بود. نتایج بررسی درصد تغییرات درصد ذرات شن نشان داد که اندازهٔ شن ۴۹٪ از مناطق خندقی کمتر از ۴۰٪، اندازهٔ شن ۳۶٪ از مناطق خندقی ۴۰ تا ۶۰٪ و اندازهٔ شن ۱۵٪ از مناطق خندقی بیش از ۶۰٪ بود. کمبود مواد آلی یکی از عامل‌های نشان‌دهندهٔ حساسیت مناطق نسبت به فرسایش خندقی است. خندق‌های ایران روی خاک‌های با مادهٔ آلی بسیار کم گسترش یافته‌اند. نتایج بررسی درصد تغییرات مادهٔ آلی نشان داد که اندازهٔ مادهٔ آلی در ۹۴٪ از مناطق خندقی کمتر از ۲٪ و اندازهٔ مادهٔ آلی در ۶٪ از مناطق خندقی ۲ تا ۳٪ بود. خندق‌ها معمولاً روی مراتع با مادهٔ آلی کمتر از ۱٪ و روی کشت‌های دیم و آبی با مادهٔ آلی ۱ تا ۳٪ گسترش یافته‌اند. با توجه به آستانه ۳/۵٪ مادهٔ آلی برای جدایش خاک‌های فرسایش‌پذیر، در مناطق نامبرده این اندازهٔ از مادهٔ آلی برای ایجاد مقاومت در برابر فرسایش آبی کافی نیست. نتایج بررسی اندازهٔ EC نشان داد که از دیدگاه شوری ۲ و ۱۴٪ از مناطق خندقی به‌ترتیب محدودیت شدید و خیلی شدید داشتند. نتایج بررسی نسبت جذبی سدیم نشان داد اندازهٔ نسبت جذبی سدیم در ۲۴٪ از مناطق بررسی‌شده بیشتر از ۱۵ بود. نتایج بررسی تغییرات شیب نشان داد که طبقهٔ شیب در ۷۰٪ از مناطق خندقی کمتر از ۱۲٪، طبقهٔ شیب در ۱۶٪ از مناطق خندقی ۱۲ تا ۲۵٪ و طبقهٔ شیب در ۱۴٪ از مناطق خندقی بیشتر از ۲۵٪ بود. این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های مورتینز و همکاران (۲۰۰۲) مبنی بر اینکه دو عامل سطح آبخیز و درجهٔ شیب را عامل مؤثر بر ایجاد خندق‌های موقتی گزارش کرده‌اند، مطابقت دارد. همچنین، شادفر و همکاران (۲۰۰۷) در آبخیز قشلاق البرز گزارش کردند که ۹۸٪ از خندق‌ها در طبقهٔ شیب ۵-۰٪ رخ داده‌اند، که با یافته‌های این پژوهش هم‌راستا است. طبقه‌های گوناگون شیب و اندازهٔ خندق‌های رخداده در هر یک از طبقه‌ها در شکل ۱ نشان‌داده شده است. بر اساس نتایج این پژوهش فراوانی فرسایش خندقی موجود در عرصه‌های بررسی‌شده نشان داد که طبقهٔ بلندی در ۴۶٪ از مناطق خندقی کمتر از ۱۰۰۰ متر، طبقهٔ بلندی در ۲۳٪ از مناطق خندقی ۱۵۰۰-۱۰۰۰ متر، طبقهٔ بلندی در ۲۱٪ از مناطق خندقی ۲۰۰۰-۱۵۰۰ متر و طبقهٔ بلندی در ۱۰٪ از مناطق خندقی بیش از ۲۰۰۰ متر از سطح دریا بود.



شکل ۱- طبقه‌های گوناگون شیب و اندازهٔ خندق‌های رخداده در طبقه‌ها.

Figure 1- Different classes of slope and the amount of gullies occurred in the classes.

در این پژوهش تغییرات کاربری زمین به‌عنوان یکی از عامل‌های مؤثر در رخداد فرسایش خندقی بررسی شد. نتایج مقایسهٔ کاربری‌های قدیم و جدید در مناطق خندقی نشان داد که تغییرات تبدیل مرتع به زراعت دیم (۵۵٪)، تغییرات تبدیل مرتع به زمین‌های رهاشده و بایر (۴٪)، تغییرات تبدیل جنگل به مرتع و زراعت دیم (۴٪)، تغییرات تبدیل مرتع به زراعت آبی(۳٪)، تغییرات تبدیل زراعت به مرتع و باغ (۲٪)، تغییرات تبدیل زراعت آبی به زمین‌های رهاشده (۲٪) و تغییرات تبدیل مرتع به جاده (۱٪) بود. ۱۸ ٪ ازمناطق دارای کاربری مرتع و ۳ ٪ از مناطق دارای کاربری زراعت دیم نیز بدون تغییر باقی مانده اند(جدول۳). محققانی مانندگریس (۲۰۰۴) وگالانگ و همکاران(۲۰۰۷) تغییر کاربری را در گسترش خندق-ها بسیار مهم‌تر از سایر عامل‌های می‌دانند.

جدول۳- مقایسهٔ کاربری‌های قدیم و جدید در مناطق خندقی.

Table 3- Comparison of old and new land uses in gully areas.

Percent	Current Land use	Past Land use
55	Dry farming	Rangeland
4	Bare land	Rangeland
4	Rangeland and Dry farming	Forest
3	Water farming	Rangeland
2	Rangeland and garden	Agriculture
2	Bare land	Water farming
1	Road	Rangeland
18	Rangeland	Rangeland
3	Dry farming	Dry farming
8	Mining, water farming	Other (Rangeland, bare land, etc.)

بیشتر عملیات‌های جاده‌سازی موجب تمرکز هرزآب‌های بالادست در آبراهه‌های زیر جاده‌ها و ایجاد خندق در پایین‌دست جاده می‌شود. در ۳۸٪ از مناطق خندقی جاده‌سازی به عنوان یکی از عامل‌های مؤثر بر فرسایش خندقی شناخته شد. این یافته با نتایج پژوهش‌های آچن و همکاران (۲۰۰۸) و کروک و موکر (۲۰۰۱) مطابقت دارد. شخم در زمین‌های شیبدار همه ساله باعث فرسایش و کاهش اندازهٔ درصد حاصلخیزی خاک شده و اندازهٔ محصول در هر هکتار را به‌شدت کاهش می‌دهد. در ۲۷٪ از مناطق خندقی

شخم در جهت شیب به‌عنوان یکی از عامل‌های مؤثر بر فرسایش خندقی شناخته شد. این یافته با نتایج پژوهش میانگ‌نر و همکاران (۲۰۰۷) مبنی بر اینکه علت غالب خندق‌های موقت ایجادشده در زمین‌های - زراعی آمریکا را عملیات شخم گزارش کرد، هماهنگی دارد. در این پژوهش، نتایج درصد فراوانی مناطق خندقی از دیدگاه طول نشان داد که ۴۲٪ از خندق‌ها در گروه خندق‌های کوچک بودند و ۱۸٪ از خندق‌ها متوسط و ۴۰٪ از خندق‌ها در گروه خندق‌های بزرگ بودند. در مناطق خندقی بررسی‌شده ۴۳٪ از سطح مقطع خندق‌ها Vشکل، ۴۱٪ سطح مقطع خندق‌ها Uشکل و ۱۶٪ از سطح مقطع خندق‌ها ذوزنقه‌ای شکل بود. با بررسی نتایج پژوهش‌ها در ۲۱ استان کشور در راستای فرسایش خندقی مشخص شد که بیش از ۱/۴ میلیون هکتار از عرصه‌های مراتع، زراعت دیم و آبی و ابنیه، راه‌های روستایی و آسفالته، منازل روستایی، دکل‌های برق و ... در معرض خطر فرسایش-خندقی هستند که خطر نابودی آنها را تهدید می‌کند. سرانجام، اندازهٔ مساحت فرسایش خندقی رخداده همراه با نوع و اندازهٔ خسارت بر اساس قیمت روز برای استان‌ها برآورد شد (جدول ۴).

جدول ۴- اندازهٔ خسارت ناشی از فرسایش‌خندقی.

Table 4- The amount of damage caused by gully erosion.

The value of damage (million rials)	Type of damage	Gully Area (ha)	Province
17400	Road, rangeland	256.52	Esfahan
18000	agriculture	29400	Bushehr
97560	Forest, rangeland, rain fed	32520	Chahar Mahal and Bakhtiari
2300000	Rangeland, road, building, village, garden	188125	Sistan and Baluchistan
339000	Village, Dry farming, Rangeland, Building, Road	47925	Fars
85000	Agriculture, Rangeland, Industry	6427.6	Qom
11580	Agriculture, building, road	16962.3	Kurdistan
20000	Road, water channel, electricity tower, agriculture	33925	Kerman
1500000	Building, Rangeland, Dry farming	60560	Golestan
3000	Rangeland, Dry farming	47347.6	Khorasan
3500	Building, Rangeland	1038	Guilan
20000	Road, Bridge, Agriculture	14663	East Azerbaijan
113	Dry farming, Rangeland, Road	16000	Semnan
77760	Dry farming, Rangeland	259200	Kohkilouye and Boyer Ahmed
1376607	Dry farming, Rangeland, Road	432947	Kermanshah
140480	Dry farming, Rangeland, Road	24060	Ardabil
4093.5	Rangeland	5506.5	Qazvin
187000	Building, Rangeland, Dry farming, Road, Garden	153570	Ilam
10897	Rangeland, Dry farming, Village	3630	Zanjan
2596.5	Rangeland, Rural houses	3328	Mazandaran
601925.6	Rangeland, Foundation of oil pipes, Electricity and telecommunications tower, rural road	49978	Khuzestan
6816513.6		1427369.52	Sum

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

توصیه‌های فنی و ترویجی برای بخش اجرا

در این پژوهش، موقعیت مکانی فرسایش خندقی با وسعت ۵۰۰ هکتار مشخص شد. از آنجایی که تاکنون ادارات آبخیزداری در استان‌های گوناگون نقشهٔ رقومی آن را نداشتند، نقشهٔ رقومی این مناطق تهیه شد. این کار نیز در پژوهشکدهٔ حفاظت خاک و آبخیزداری

انجام شد. دیگر ادارات آبخیزداری استان‌ها نیز در حال به‌روز رسانی این اطلاعات هستند. در نقاط گوناگون ایران علت‌های ایجاد و گسترش خندق‌ها مشخص شد. بررسی‌های میدانی این پژوهش نشان داد که به‌طور میانگین حدود ۴۰٪ از خندق‌های ایران با بهره‌گیری از راهکارهای گوناگون و متنوع مهار شده‌اند و برای ۶۰٪ دیگر هیچ عملیات مهارکننده‌ای انجام نشده است. همچنین، پدیدهٔ فرسایش خندقی، سبب نابودی زمین‌های کشاورزی و مرتعی در بسیاری از آبخیزها شده و مشکلات زیادی برای آبخیزنشینان به‌وجود آورده است. ازاین‌رو می‌توان گفت برنامه‌ریزی بودجه برای مهار آنها لازم و ضروری است. پیشنهاد می‌شود برای پیشگیری از ایجاد خندق از راهکارهایی چون جلوگیری از تبدیل مراتع به دیم‌زار، بهبود وضعیت مراتع فقیر با روش‌های مدیریتی مانند قرق و چرای تناوبی، بذرپاشی و بذرکاری، انتقال رواناب تولیدی از راه‌های ساخته‌شده به مناطق بدون شیب، طراحی و ایجاد سامانه‌های جمع‌آوری رواناب به‌دست آمده از باران در کنار راه‌ها و مناطق ویران‌شده و زمین‌های برهنه مانند ساخت دریاچه‌های جمع‌آوری سیلاب، ایجاد موانع گیاهی از بوته‌ها و گراس‌ها روی زمین‌های شیب‌دار با کاربری دیم در فاصله‌های معین به‌منظور کاستن حجم و سرعت رواناب تولیدی، اجرای پوشش سنگریزه در زیر آبگذرهای جاده‌ای به‌منظور کاهش انرژی رواناب تخلیه‌شده و جلوگیری از فرسایش، بهره برد. همچنین، پیشنهاد می‌شود برای مدیریت خندق‌ها و پرکردن خندق‌هایی با ژرفای یک متر و ایجاد پوشش گیاهی روی آنها از مواد آبرفتی درشت‌دانه مخلوط‌شده با ریزدانه استفاده شود. بر اساس نتایج این پژوهش استفاده از بندهای اصلاحی خشکه‌چین، گابیونی و خاکی برای خندق‌های بزرگ‌تر از یک متر ژرفا و ایجاد یک بند خاکی در انتهای خندق‌های با ژرفای متوسط برای به دام انداختن رسوبات پیشنهاد می‌شود تا از آب جمع‌آوری‌شده برای باغ‌های ساخته‌شده در درون خندق‌ها و یا در پیرامون آنها استفاده شود. بر اساس نتایج این پژوهش مشخص شد که می‌توان خندق‌های دراز و بزرگ را به‌وسیلهٔ سازه‌های نامبرده و ساخت بند در درون آنها تقسیم کرد تا سیلاب برای زراعت در پیرامون خندق‌ها و درون مسیر خندق‌های پهن (با پهنای بزرگتر از ۱۰ متر) برای کشت، جمع‌آوری شود. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده طرح ریخت‌شناسی اقلیمی به‌منظور مدیریت و اولویت‌بندی مناطق خندقی ایران بر اساس نقشهٔ خندق‌های ایران اجرا شود و از روش‌شناسی ویژهٔ نیز استفاده شود. همچنین، سهم رسوب به‌دست آمده از فرسایش خندقی در مقایسه با دیگر شکل‌های فرسایش بسیار زیاد است. ازاین‌رو، پیشنهاد می‌شود پهنه‌بندی و تعیین پهنه‌های گوناگون خطر و مهار فرسایش خندقی از جمله اولویت‌های پژوهش‌های آینده در این زمینهٔ باشد.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در زمینهٔ نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

دسترسی به داده ها

همهٔ اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه‌شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسندهٔ اول: نگارش نسخهٔ اولیهٔ مقاله، انجام تحلیل‌های آماری، بررسی نتایج.

نویسندهٔ دوم: راهنمایی و مشاوره، بازبینی متن مقاله.

فهرست منابع

Ahmadi H. 1999. Applied geomorphology, volume 1, water erosion, Tehran University Press. 688 p.

Achten WMJ, Dondeyne S, Mugogo S, Kafiriti E, Poesen J, Deckers J, Muys B. 2008. Gully erosion in South Eastern Tanzania: Spatial distribution and topographic thresholds. Zeitschrift für Geomorphologie Zeitschrift für Geomorphology. 52(2): 225-235.

Ali Rezae H, Soufi M, Farhadi AS, Ahmadyan M, Nazripoya H, Amiri M. 2005.

Morphoclimatic classification of gullies in Hamadan Province. Final Report of the Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 69 p. (In Persian).

Asgari S, Shirani K. 2024. Evaluation of the effective factors in gully erosion sensitivity using Dempster-Shafer. Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards. 11 (2): 8.137-159.

Azami A, Seyavoshi K, Jafari M, Pirani A. 2012. Morpho climatic classification of gullies in Ilam Province, Final Report of the Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 106 p. (In Persian).

Billi CI, Faulkner PH, Espin GD, Levett MJ, Nicholsen. 1986. Problems of protection against piping and surface erosion in central Tunisia, Environmental Conservation 13(1): 27-40.

Croke J, Mockler S. 2001. Gully initiation and road-to-stream linkage in a forested catchment, southeastern Australia. Earth Surface Processes and Landforms. 26: 205-217.

Galang MA, Markewitz D, Morris LA, Busseli P. 2007. Land use change and gully erosion in the Piedmont region of South Carolin. Journal of Soil and Water Conservation. 62:122-129.

Gómez Gutiérrez A, Schnabel S, Lavado Contador F. 2009. Gully erosion, land use and topographical thresholds during the last 60 years in a small rangeland catchment in SW Spain. Land Degradation and Development. 20 (5): 535 – 550.

Grace JM. 2004. Soil erosion following forest operations in the Southern Piedmont of central Alabama. Journal of Soil and Water Conservation. 59:180-185.

Hedarimorchehkhorti F, Ghoddosi J, Madanchi P. 2006. Investigating the gully erosion development mechanism (Kerman Province). Final Report of the Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 67 p. (In Persian).

Kukal S, Matharu GS. 2002. Behavior of gully erosion in relation to catchment characteristics in foothills of lower Shivaliks. 17th World Congress on Science and Soccer. pp. 14-21 August 2002, Thailand, P628-1-6.

Mar Tinez, Casasnovas A, Anton Fernandes C, Ramos MC. 2002. Sediment production in large gully of the Mediterranean area (NE Spain) from high- resolution digital elevation models and geographical information system analysis. Earth Surface Processes and Landforms, Published by Wiley and British Society for Geomorphology.

Morgan RPC, Mngomezulu D. 2003. Threshold conditions for initiation of valley-side gullies in the Middle Veld of Swaziland. Catena. 50: 401–414.

Menéndez-Duarte R, Marquínez J, Fernandez-Menéndez S, Santos R. 2007. Incised channels and gully erosion in Northern Iberian Peninsula: Controls and geomorphic setting, Catena. 71 (2): 267-278.

Montgomery DR. 1994. Road surface drainage, channel initiation, and slope instability, Water Resources Research. 30: 1925-1932.

Mortezae frezhandi G. 2005. Evaluating the quantitative effect of environmental variables in the occurrence of gully erosion and introducing the most suitable model for predicting the length growth of gullies. Ph.D. Thesis, Islamic Azad University Science and Research Unit.

Nachtergaele J. 2001. A spatial and temporal analysis of the characteristics, importance and prediction of ephemeral Gully erosion. Un publ. Ph.D. Thesis, Department of Geography– Geology, K.U. Leuven. 255 p.

Nekoemehr M, Charkhabi AH, Raeesian R, Amami SN. 2011. Investigating the morphoclimatic characteristics of gullies in Chaharmahal and Bakhtiari Province. Final Report of the Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 125 p. (In Persian).

Nwankwo C, Nwankwoala HO. 2018. Gully erosion susceptibility mapping in Ikwuano Local Government Area of Abia State, Nigeria using GIS Techniques. Earth Sciences Malaysia. 2(1): 8-15.

Parvaresh A. 1992. Investigating the relationship between geomorphology and erosion in the Guriz Watershed of Bandar Langeh City (Emphasis on gully erosion). M.Sc. Thesis in Watershed Management, Faculty of Natural Resources, University of Tehran. 255 p. (In Persian).

Poesen J, Govers G. 1990. Gully erosion in the loam belt of Belgium. Topology and control measures. Soil erosion on agriculture land. Proceedings of a workshop sponsored by the British Geomorphological Research Group, Coventry, UK. pp. 513-530.

Poesen j k, Vandaele B, Van Wesemael. 1996. Contribution of gully erosion to sediment production on cultivated lands and rangelands. Proceeding of the Exeter

Symposium. Association of Hydrological Sciences. pp: 251-266.

Poesen J, Hooke M. 1997. Erosion, flooding and channel management in Mediterranean environment s of Southern Europe. Progress in Physical Geology. 21 (2): 157-199.

Rahi GR. 1998. Investigating the mechanism and causes of ditch erosion in Ganaveh, MSc thesis in Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, University of Tarbiat Modares. 106 p. (In Persian).

Sarvati MR, Ghoddosi J, Dadkhah M. 2008. Factors effecting initiation and advancement of gully erosion in loesses. Pajouhesh and Sazandegi. 78: 20-33. (In Persian).

Shadfar S, Fattahi MM, Namaki M, Sharifi E. 2007. Investigating some effective factors on gully erosion, a case study of Qeshlaq Alborz Watershed. The third Conference on Watershed Management and Water and Soil Resources Management-Kerman. December 1, 2007. (In Persian).

Shadfar S, Sobhzahedi SH. 2007. Investigating the causes of gully erosion development in the Aliabad watershed of Gillan. The 4th Conference of Iran Watershed Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran. Karaj. March 1, 2007 (In Persian).

Shadfar S. 2010. An introduction to gully erosion. Entekhab Publications, 141 p. (in Persian).

Shadfar S. 2015. A study and evaluation of results of the effective factors on gully erosion in Iran. Final Report of the Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 59. p. (In Persian).

Shahrivar A. 1997. Investigating the factors affecting the creation of Gully erosion and presenting a model in Souq region (Dehdasht), M.Sc. Thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran. 128 p. (In Persian).

Shirani k. 2019. Zoning sensitivity to gully erosion using maximum entropy probabilistic model, case study: South of Esfahan Province. Final Report of the Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 178 p (In Persian).

Shirani K. 2021., Gully erosion mapping and susceptibility assessment using statistical and probabilistic methods. Journal of Hydrology and Soil Science. 25 (2):151-174.

Shirani K, Peyrowan H, Shadfar S, Asgari S. 2023. Gully erosion mapping based on hydro geomorphometric factors and geographic information system. Environmental Monitoring and Assessment. 195(721):1-25

Shirani k. 2024. Determination of the most important conditioning factors thresholds and gully erosion susceptibility modelling assessment in selected watersheds. Final Report of the Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 215 p. (In Persian).

Soufi M. 2003. The relationship between climate change and Gully erosion. Proceedings of the third Regional Conference and the First National Climate Change Conference, Esfahan. pp. 82-88 (In Persian).

Soufi M, Chakhabi AH. 2005. Investigating the causes of gully erosion in a dry desert ecosystem. Proceedings of the 9th Soil Science Congress. 2: 475- 477.

Soufi M. 2009. Investigation and morphoclimatic classification of gullies in Iran. Final Report of the Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 105 p. (In Persian).

Vesisartayere C, Asfandyari dorafadi F. 2015. The role of slope in the formation and expansion of Gully erosion (case study: Salas-Babajani City). First National Conference on New Achievements in Life Sciences and Agriculture. Zabol University. 5 p.

Wemple BC, Jones JA, Grant GE. 1996. Channel network extension by logging roads in two basins, Western Cascades, Water Resources Bulletin. 32(6): 1195-1207.

Wijdennes DJO, Brayan RB. 1991. Gully head cuts as sediment source on the Njemps flats and initial low-cost gully control measures. Cremlingen – Destedt, Germany. Catena. pp. 205-229.

Zare mehrjerdi M, Soufi M, Chopani S, Pishkar A. 2005. Investigating the morphoclimatic characteristics of Gullies in Hormozgan Province. Final Report of the Research Project, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 52 p. (In Persian).

Zhang Y, Wu Y, Liu B, Zheng Q, Yin J. 2007. Characteristics and factors controlling the development of ephemeral gullies in cultivated catchments of black soil region. Northeast China, Soil and Tillage Research. 96 (1-2): 28-41.

Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

Watershed Management Research

ISSN: 2981- 2038

Agricultural Research, Education and Extension Organization

Causes of Gully Erosion and Damages Caused by it in Iran

Samad Shadfar [1*], Majid Soufi [2]

1- Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

2- Retired Associate Professor, 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

Extended Abstract

Introduction and Goal

One of the types of water erosion that causes erosion and sediment in watersheds and causes a lot of damage to agricultural lands, range lands and infrastructure is gully erosion. By identifying the causes of gully erosion, land managers can prevent the expansion of gullies by considering and observing effective management factors. This research was conducted with the aim of examining gully erosion in the provinces of the country, identifying the factors influencing the expansion of gully erosion, determining the area affected by gully erosion, and estimating the damages resulting from it. In addition, the extent of the expansion of gullies in the classes of different factors and the damage caused by gullies in Iran were investigated

Materials and Methods

The materials used in this research are research projects that directly and indirectly focus on the expansion of gully erosion. Initially, several of the most important factors influencing gully erosion in the watersheds of the country were examined. Then, all classified factors and their relationships with areas affected by gully erosion were analyzed. In this research, the climates of gully-affected areas were classified using the extensive Dummartin method, and the relationship between different climates and the frequency of gullies was examined and calculated. Comparison of old and new land uses in gully areas, soil texture and range of soil particle changes, EC changes, organic matter changes, SAR changes in gully areas, slope, road construction, and plowing in the slope direction as some of the most important. The effective factors were investigated in the expansion of gully erosion. Finally, the area of gully erosion occurred along with the type of damage and the estimated amount of damage has been estimated based on daily prices for the provinces.

Results and Discussion

The results of the analysis of the relationship between different climates and the frequency of gullies indicated that 32% of gullies are in semi-arid climates, 17% in dry climates, 14% in dry and hot desert climates, 14% in dry and temperate desert climates, and 9% in Mediterranean climates, 5% occurred in semi-humid climates, 4% in humid and dry cold desert climates respectively, and 1% in very humid climates. The comparison of old and new land uses in gully areas showed that 55 %of the gullies were created as a result of changing the land use of rangeland to dry farming agriculture.

Article Type: Research Article

***Corresponding Author's E-mail:** samad.shadfar@gmail.com

Citation: Shadfar, S., Soufi, M. 2025. Causes of gully erosion and damages caused by it in Iran. Watershed Management Research. 38(2): 83-97.

DOI: 10.22092/WMRJ.2024.367344.1597

Received: 19 October 2024, **Received in revised form:** 16 November 2024, **Accepted:** 19 December 2024

Published online: 22 June 2025

Watershed Management Research, Vol.38, No.2, Ser. No:147, Summer 2025, pp. 83-97.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources and Education Center

©Author(s)

Silt Loam, Loam, and Sandy Loam are the dominant soil textures in gullies with 26, 23, and 20%, respectively. 14 %of the studied areas have very severe restrictions in terms of salinity. The amount of organic matter in the studied areas varies from 0.02 to 2.9%. The organic matter of 94% of the gully areas was less than 2%, and the organic matter of about 6% of the areas varied from 2 to 2.9%. The results of the sodium absorption ratio study showed that the sodium absorption ratio of 24% of the gully areas was greater than 15. The slope of 70% of the gully areas was less than 12%, 16% of the gully areas were in the slope class of 12 to 25%, and 14% of the gully areas were in the slope class of more than 25%. In 38% of the gully areas, road construction and in 27% of them, plowing in the direction of the slope were identified as factors affecting gully erosion.

Conclusion and Suggestions

Based on the results of this research, the highest frequencies of gullies were observed in semi-arid climates rain fed agriculture and the soils with silty loam texture. Additionally, gullies have expanded in areas with very severe salinity limitations, very low organic matter, and high sodium absorption ratios. In some areas, road construction and plowing in the direction of the slope are also known as effective factors in gully erosion. Based on the results of this research, the damage caused by the expansion of Iranian gully was calculated to be about 700 billion Tomans. Also, due to the onset of a long-term drought period, it is suggested that conservation plans (biological) and in some cases combined (biological and structural) be used to reduce the expansion of Iranian gullies. Also, in areas where improper agricultural practices have led to the expansion of gullies, farmers should be educated, particularly in the area of proper plowing techniques. Additionally, in the studied areas, land use change was identified as the most significant human factor affecting the occurrence of gully erosion. Therefore, it is recommended to avoid land use changes.

Keywords: Climate, damage, gully erosion, land use change, organic matter, plowing in the direction of the slope

Article Type: Research Article

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data Availability Statement

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Author's Contribution

Samad Shadfar: drafting the initial manuscript, performing statistical analyses, verifying results.

Majid Soufi: Supervision and guidance, reviewing the manuscript.