



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

# پژوهش‌های آبخیزداری

شایا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مآخذ تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

## برآورد حجم هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی و ارتباط آن با ویژگی‌های خاک و آبخیز در آبخیزهای شریف و هدام استان خوزستان

فریدون سلیمانی<sup>۱\*</sup>، مهین کله‌هوئی<sup>۲</sup>، شمس‌اله عسگری<sup>۳</sup>

- ۱ - استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران
- ۲ - دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس
- ۳ - استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران

### چکیده مبسوط

#### مقدمه و هدف

فرسایش خندقی متأثر از عامل‌های فراوانی است، که همراه با زیان‌های فراوان اقتصادی و اجتماعی موجب از بین رفتن و هدررفت حجم وسیعی از خاک می‌شود. متغیر بودن تنوع، تعداد و اندازه‌ی تأثیر عامل‌های مختلف از نقطه‌ای به نقطه دیگر و متفاوت بودن سهم مشارکت آن‌ها در شکل‌گیری و گسترش خندق‌ها در تبعیت از شرایط زمین است. چنین شرایطی سبب شده تحقیقات بیش‌تری جهت شناسایی هر چه بیش‌تر عامل‌های اثرگذار در رخداد فرسایش خندقی و اندازه مشارکت آن‌ها در شکل‌گیری و گسترش این پدیده انجام شود. پژوهش حاضر، باهدف برآورد حجم هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی در آبخیزهای هدام و شریف استان خوزستان برنامه‌ریزی شده است. آبخیز مدرس شوشتر با داشتن زیرآبخیزهای شریف و هدام به‌عنوان یکی از آبخیزهای مهم و خاص استان هرساله وسعت زیادی از زمین‌های کشاورزی آن مورد تهدید فرسایش خندقی قرار می‌گیرد.

#### نوع مقاله: پژوهشی

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: frsolaimani@gmail.com

**استناد:** سلیمانی، ف.، کله‌هوئی، م.، عسگری، ش. ۱۴۰۲. برآورد حجم هدررفت خاک ناشی از فرسایش خندقی و ارتباط آن با ویژگی‌های خاک و آبخیز در آبخیزهای شریف و هدام استان خوزستان. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۶ (۱): ۸۰ تا ۹۵.

**شناسه‌ی دیجیتال:** 10.22092/wmrj.2022.358628.1472

**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۱/۰۲/۲۰، **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۱/۰۴/۱۷، **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۱/۰۶/۳۰، **تاریخ انتشار:** ۱۴۰۲/۰۱/۰۱

پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۲، دوره‌ی ۳۶، شماره‌ی ۱، شماره‌ی پیاپی ۱۳۸، بهار ۱۴۰۲، صفحه‌های ۸۰ تا ۹۵.



نویسندگان

ناشر: مرکز منطقه‌ای اطلاع رسانی علوم و فناوری

## مواد و روش‌ها

برای انجام این پژوهش، نخست در منطقه‌ی مورد مطالعه در طول دوره‌ی ۲۰ ساله (۱۳۹۱-۱۳۷۲) بخش‌های دارای خندق روی نقشه‌ی پستی و بلندی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ مشخص شد. سپس از هر طبقه اقلیمی گرم- خشک بیابانی و گرم- نیمه‌خشک، ۱۵ خندق شناسایی و بررسی شد. ویژگی‌هایی از قبیل شیب نقطه‌ی اولیه‌ی ایجاد خندق و شیب پیشانی خندق از روش میدانی و با استفاده از متر نواری، تراز و دستگاه شیب‌سنج اندازه‌گیری و مساحت سراب پیشانی خندق در محیط گوگل ارث محاسبه شد. هم‌چنین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک هر کدام از خندق‌ها آزمایش شد.

## نتایج و بحث

نتایج نشان داد که متوسط درصد خاک لخت در بالای پیشانی خندق‌های انتخاب‌شده آبخیزهای هدام و شریف به ترتیب ۹۹/۸ و ۹۷/۲۶٪ بود. بر اساس ویژگی‌های خاک، عامل اصلی ناپایداری خاک و ایجاد فرسایش در خندق‌های هر دو آبخیز شوری خاک (EC) است. ویژگی‌های ریخت‌شناسی خندق‌ها نشان داد که تمامی خندق‌ها در آبخیز هدام دارای مقطع V شکل هستند. در آبخیز شریف تنها خندق B12، دارای مقطع V شکل و مابقی U شکل است. آبخیز هدام دارای بیش‌ترین ژرفا، بیش‌ترین عرض پایین و بیش‌ترین عرض بالای خندق نسبت به آبخیز شریف است. در آبخیز شریف و هدام مجموع حجم هدررفت خاک به ترتیب ۲۳۰۰۰ و ۵۱۵۷۹ مترمکعب است. در آبخیز هدام، خندق‌های A18 و B1 به ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین حجم هدررفت خاک، به‌اندازه‌ی ۱۱۵۹۹ و ۱۶۱۲ مترمکعب است. در آبخیز شریف نیز خندق‌های A2 و B4 به ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین حجم هدررفت خاک به‌اندازه‌ی ۵۲۸۲ و ۳۶۹ مترمکعب است.

## نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مهم‌ترین عامل در هدررفت خاک و گسترش خندق‌ها، ویژگی‌های آبخیز در سراب پیشانی خندق (گستره و شیب آبخیز) و هم‌چنین ریزدانه‌بودن خاک (لای زیاد) و بالا بودن شوری خاک بوده است. با توجه به لخت بودن بیش‌از حد خاک، افزایش زبری سطح خاک با استقرار پوشش گیاهی، به‌عنوان یکی از روش‌های سازگار و کم‌هزینه در امر حفاظت منابع خاک است. برای مهار کردن گسترش فرسایش خندقی افزایش ماده‌ی آلی خاک، اصلاح خاک‌های شور و سدیمی با کاربرد اصلاح‌کننده‌ها و هم‌چنین انحراف رواناب‌های پیشانی خندق ضروری است.

واژگان کلیدی: آبخیز هدام، تولید رسوب، ریخت‌شناسی، سطح مقطع خندق، فرسایش خاک، کاربری زمین

## مقدمه

(کله‌هویی و همکاران ۲۰۲۰) و مقدار آن در آبخیزهای کشور نیز بین ۷ تا ۱۶ تن بر هکتار در سال گزارش شده است (مصفايي و طالبی ۲۰۱۴).

خندق‌ها به دلیل گسترش ناگهانی، جز شکل‌های عادی فرسایش به شمار نمی‌آیند (ناشترگیل و همکاران ۲۰۰۱) و عموماً در مناطق خشک ایجاد می‌شوند، و در اقلیم‌های مختلف بیش‌ترین سهم از بین رفتن خاک را دارند. فرسایش خندقی مرحله‌ی پیشرفته‌ی فرسایش شیاری است، در این مرحله آبراهه‌های بزرگ‌تری از فرسایش شیاری در سطح خاک به وجود می‌آید (رفاهی ۲۰۰۹). شیب تند دیواره‌های خندق و هم‌چنین وجود پیشانی پرشیب و فعال (پوسن و همکاران ۲۰۰۳)، منبع اصلی رسوب‌ها به‌شمار می‌رود (دی‌ونت و همکاران ۲۰۰۵؛ رود و همکاران ۲۰۱۸). به‌طور معمول خندق‌ها بیش از ۹۰٪ رسوب آبخیز را تشکیل می‌دهد (سلیمان‌پور

فرسایش خاک، در میان فرآیندهای ویران‌گر زمین تهدید جدی برای حفاظت خاک و آب محسوب می‌شود (احمدی ۲۰۰۶). در این میان، فرسایش آبی یکی از گسترده‌ترین نابودکننده‌های زمین است (محمد و همکاران ۲۰۲۰)، که در مقیاس جهانی به شکل‌های مختلف فرسایش پاشماني، سطحی، بین‌شیاری، شیاری، خندقی و کناره‌ای دیده می‌شود (بلانکو و لال ۲۰۰۸). گستره‌ی فرسایش خاک منحصر به محدوده‌ی خاصی نیست، ولی مقدار و شدت آن در کشورهای در حال توسعه به‌مراتب بیش‌تر از کشورهای پیشرفته است (لال ۱۹۹۸). در سراسر دنیا سالانه نزدیک به ۷۵ میلیارد تن خاک فرسایش می‌یابد (لافن و رز ۱۹۸۸؛ فینز و همکاران ۲۰۲۰؛ کاویان و همکاران ۲۰۱۴). در ایران عامل‌های طبیعی زمینه‌ساز فرسایش باعث شده‌اند که استعداد فراوانی برای فرسایش آبی وجود داشته باشد

و همکاران ۲۰۱۹). نحوه‌ی گسترش و اندازه‌ی رشد خندق‌ها تحت تأثیر عامل‌های محیطی متفاوت است. کانال‌های عمیقی به‌وسیله‌ی رواناب‌های موقتی در خندق‌ها در جهت شیب ایجاد می‌شود (کرکی و همکاران ۲۰۰۹). تاکنون پژوهش‌های پرشماری به‌وسیله‌ی پژوهش‌گران در زمینه‌ی شناخت و شناسایی عامل‌های اثرگذار بر گسترش فرسایش خندقی انجام شده‌است (خیر و همکاران ۲۰۰۸؛ سولومن احیز و آموق‌بو ۲۰۱۳؛ وو و همکاران ۲۰۱۸؛ روی و همکاران ۲۰۲۰؛ فرانک و همکاران ۲۰۲۱؛ تانگ و همکاران ۲۰۲۲؛ سلیمان‌پور و همکاران ۲۰۲۲). متغیر بودن تنوع، تعداد و اندازه‌ی تأثیر عامل‌های مختلف از نقطه‌ای به نقطه دیگر و متفاوت بودن سهم مشارکت آن‌ها در شکل‌گیری و گسترش خندق‌ها در تبعیت از شرایط زمین است. چنین شرایطی سبب‌شده پژوهش‌های زیادی برای شناسایی هر چه بیش‌تر عامل‌های اثرگذار در رخداد فرسایش خندقی و اندازه‌ی مشارکت آن‌ها در شکل‌گیری و گسترش این پدیده در نقاط مختلف و با شرایط زمین‌محیطی متفاوت به مرحله‌ی اجرا درآید. دلایل پرشماری از جمله؛ پستی‌وبلندی (توری و پوسن ۲۰۱۴؛ لی و همکاران ۲۰۲۰)، افزایش چرای بیش‌ازحد (هدلی و همکاران ۱۹۵۵؛ وانجیوی و همکاران ۲۰۲۲)، بارندگی و سیلاب شدید (لئوپولد ۱۹۵۱؛ تانگ و همکاران ۲۰۲۲)، ویژگی‌های آب‌شناسی (اولابود و سان ۲۰۲۲)، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک (اگبیوری و ایگو ۲۰۲۲)، استفاده از زمین و تغییرات آب‌وهوایی (مارتینز ۲۰۰۳، برناتک ژاکیل و ورونسکاولچ ۲۰۱۸، وانگ و همکاران ۲۰۲۲) زمینه‌ساز فرسایش خندقی است. نتایج بررسی اثر ویژگی‌های تغییرات و پویایی خندق استان شانشی چین (بای و همکاران ۲۰۲۱)، نشان داد که شیب و ژرفای خندق به ترتیب حساس‌ترین واکنش را به ضریب زبری دارسی-ویسباخ و جریان آب داشته‌است. مارتینز و همکاران (۲۰۲۲)، گزارش کردند که عامل‌های اصلی تغییرات مکانی شامل مقاومت در برابر نفوذ خاک، شیب، شکل شیب و پوشش گیاهی فرسایش خاک را مدیریت می‌کنند.

در ایران نیز زارعی و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند بین مقدار برآوردی و مشاهداتی فرسایش خندقی در استان گلستان تفاوت معنی‌دار وجود ندارد. نتایج پژوهش رستمی‌زاد و همکاران (۲۰۱۹)، نیز نشان داد که طول خندق با مساحت سراب خندق، عرض بالا و پایین و سطح مقطع خندق با ضریب گردی آبخیز، ژرفای خندق با ضریب گردی آبخیز و انحنا، ارتفاع پیشانی

خندق با شیب محلی سر خندق و شیب جداره‌ی خندق با درصد تاج‌پوشش رابطه‌ی معنی‌دار دارند. در پژوهشی دیگر سلیمان‌پور و همکاران (۲۰۱۹)، در آبخیز قاضیان استان فارس گزارش کردند که خندق‌های منطقه سالانه به‌طور متوسط ۲۰۱/۱۰ مترمکعب فرسایش و هدررفت خاک دارند. علاوه بر آن سالانه به‌طور متوسط ۷۳۷۶/۲۵ دلار زیان به بخش خاک و آب این منطقه وارد می‌شود. در بررسی تغییرات بلندمدت رشد فرسایش خندقی نتایج پژوهش دمی‌زاده و شادفر (۲۰۲۱)، نشان داد که مساحت خندق‌ها در طی دوره‌ی ۶۰ ساله از ۳۲ هکتار به بیش از ۳۷۰ هکتار افزایش داشته‌است. مطابق یافته‌ها و پژوهش‌های انجام‌شده، فرسایش خندقی یکی از مهم‌ترین انواع فرسایش آبی است که در مقایسه با سایر فرسایش‌ها بیش‌ترین نقش را در ازبین‌رفتن خاک و تولید رسوب داشته‌است، علاوه بر آن در مهارکردن و یا وقوع این پدیده عامل‌های پرشماری نقش اثرگذار داشته‌اند. هم‌چنین باید در نظر داشت که اساساً نمی‌توان عامل مشخص و معینی را به‌عنوان عامل اصلی فرسایش خندقی معرفی نمود، بلکه بسته به شرایط آبخیز، فرسایش پیامد واکنش متقابل مجموعه‌ی عامل‌های اثرگذار است. امروزه در کشور ما نیز این پدیده به بحثی تبدیل‌شده، که بیش از هر زمان دیگر دغدغه‌ساز و موردتوجه است. به همین دلیل نیاز به شناسایی جامع و گسترده‌ی عامل‌های اثرگذار است.

دراین‌بین استان خوزستان با مساحتی حدود ۶/۴ میلیون هکتار، دارای زمین‌های مستعد کشاورزی می‌باشد که فرسایش خندقی بخش‌های زیادی از این زمین‌ها را ویران کرده است. آبخیز مدرس شوشتر با داشتن زیرآبخیزهای شریف و هدام به‌عنوان یکی از آبخیزهای مهم و برجسته‌ی استان، هرساله وسعت زیادی از زمین‌های کشاورزی آن مورد تهدید فرسایش خندقی قرار می‌گیرد. پیش‌روی حجم فرسایش خندقی در این آبخیز باعث از بین رفتن زمین‌های کشاورزی و درنتیجه ترک کردن کشاورزی از سوی کشاورزان منطقه شده که درنهایت فقر و مهاجرت به شهرها و... از تبعات اجتماعی آن خواهد بود. در این آبخیز به‌رغم اقدام‌های انجام‌شده برای تثبیت و مهارکردن فرسایش خندقی به علت گستره‌ی وسیع این نوع فرسایش نیاز به اقدام‌های بیش‌تری است.

ازاین‌رو در زمینه‌ی حفظ و پایداری این زمین‌ها برای توسعه‌ی فعالیت‌های کشاورزی برآورد حجم هدررفت خاک ضروری است. با توجه به اهمیت برآورد حجم فرسایش خندقی و رابطه‌ی آن با ویژگی‌های ابعاد آبخیز و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، ضرورت انجام

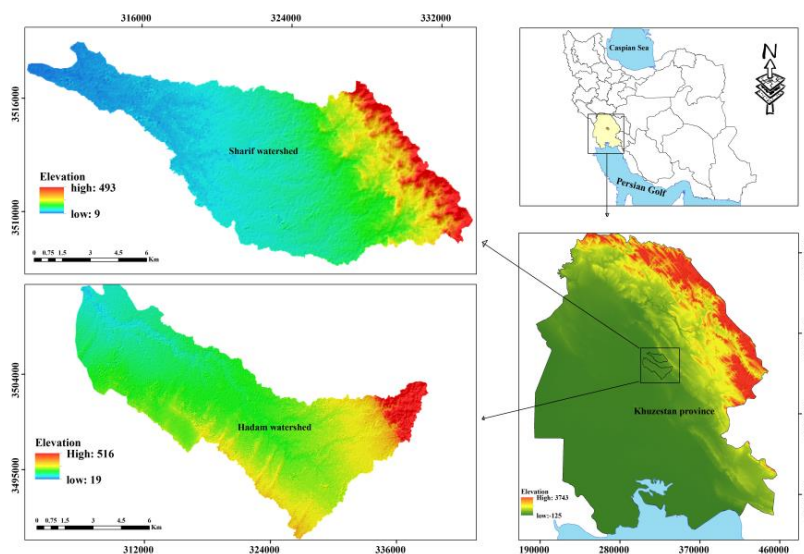
پژوهش روی خندق‌های استان خوزستان دوچندان می‌شود.

## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه‌ی پژوهش

آبخیزهای شریف و هدام بخشی از زیرآبخیزهای شهید مدرس استان خوزستان می‌باشند (شکل ۱)، که در شرق و جنوب‌شرق رودخانه‌ی گرگر واقع شده‌اند. گستره‌ی هر دو آبخیز از رسوب‌های دوران چهارم زمین‌شناسی پوشیده شده که این رسوب‌ها حاصل فرسایش و ته‌نشست سازنده‌های آگاجاری و میشان در بلندی‌های

سراب است. کاربری غالب آبخیزهای هدام و شریف به ترتیب زراعت دیم و مرتع می‌باشد. با توجه به این‌که منطقه‌ی مورد مطالعه فاقد ایستگاه همدید است از نظر اقلیمی، میانگین درازمدت بارش چهار ایستگاه همدید اطراف منطقه شامل شوشتر، رامهرمز، مسجدسلیمان و اهواز که ۳۰۰ میلی‌متر است برای آبخیز هدام و شریف در نظر گرفته شد. آبخیزهای هدام و شریف بر اساس طبقه‌بندی دومارتن اصلاح‌شده به ترتیب در اقلیم‌های گرم-خشک بیابانی و گرم-نیمه‌خشک واقع شده‌اند (سلیمانی ۲۰۱۶؛ سلیمانی و همکاران ۲۰۱۷).



شکل ۱- نمایی از منطقه‌ی مورد مطالعه در استان خوزستان و ایران.

Figure 1. A View of a Case Study in Khuzestan Province and Iran.

## روش تحقیق

برای انجام این پژوهش، نخست در منطقه‌ی مورد مطالعه در طول دوره‌ی ۲۰ ساله (۱۳۹۱-۱۳۷۲) بخش‌های دارای خندق روی نقشه‌ی پستی و بلندی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ مشخص شد. در هر طبقه‌ی اقلیمی، یک منطقه‌ی خندقی که دارای بیش‌ترین مشکلات و آسیب بود انتخاب شد. از روی نقشه‌های پستی و بلندی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه، نقشه‌ی مدل رقومی ارتفاع استخراج گردید. در نقشه‌های پستی و بلندی و بازدیدهای صحرایی موقعیت ۳۰ خندق در آبخیزها شناسایی شد. ویژگی‌هایی از قبیل شیب نقطه‌ی اولیه‌ی ایجاد خندق و شیب پیشانی خندق از روش میدانی و با استفاده از متر نواری، تراز و دستگاه شیب‌سنج اندازه‌گیری و مساحت سراب پیشانی خندق در محیط گوگل ارث محاسبه شد

(سلیمانی ۲۰۱۶). از آن‌جا که یک آبراهه یا خندق دارای مسیر پیچ‌وخم و شکل هندسی نامنظم می‌باشد با بازدید میدانی و پایش مسیر طولی آبراهه و تعیین مسیرهای تقریباً مستقیم و یکنواخت خندق به شکل‌های هندسی منظم (لوزی) تقسیم شد. در این خندق‌ها تقریباً مقطع عرضی با طول مستقیم و بدون پیچ‌وخم حدوداً ۱۰ متر برآورد شد. با تقسیم مقطع خندق به فواصل ۱۰ متری سایر ویژگی‌ها از جمله عرض بالا، عرض پایین و ژرفای خندق نیز محاسبه شد (سلیمانی ۲۰۱۶؛ سلیمانی و همکاران ۲۰۱۷؛ سلیمان‌پور و همکاران ۲۰۱۹). حجم کل خندق‌های آبخیزهای هدام و شریف، با محاسبه‌ی مقطع عرضی و به دست آوردن حجم‌های جزئی در مسیر هر خندق محاسبه گردید (معادله‌ی ۱). درصد پوشش گیاهی، لاشبرگ، خاک لخت، شن و سنگریزه

$$V = \sum_{i=1}^n L \left[ \left( \frac{W_1 + W_2}{2} \right) D \right] \quad \text{معادله (۱)}$$

در این معادله:  $V$  حجم خاک از دست‌رفته ناشی از فرسایش خندقی (مترمکعب)،  $L$  طول خندق (متر)،  $W_1$  عرض بالای خندق (متر)،  $W_2$  عرض پایین خندق (متر) و  $D$  ژرفای خندق می‌باشد (تبیو و همکاران، ۲۰۱۰).

در بالای پیشانی هر خندق از روش پلاتاندازی اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک شامل بافت، هدایت الکتریکی، قلیایی‌سنجی، سدیم، کلسیم، پتاسیم و منیزیم، از خاک سطحی و زیرین بالای پیشانی و دو کناره‌ی خندق نمونه‌برداری شد.



(b)



(a)

شکل ۲- نمایی از خندق‌های آبخیز شریف (الف) و هدام (ب).

Figure 2. A View of Sharif (a) and Hadam (b) Watershed Gullies.

درصد سنگریزه‌ی سطحی و لاشبرگ صفر درصد بود. با توجه به نتایج به دست آمده، پدیده‌ی فرسایش خندقی و رواناب سطحی در این منطقه به علت وجود خاک لخت زیاد (۹۹/۸٪) و فقدان شدید پوشش گیاهی است که در بالای پیشانی خندق‌ها موجب افزایش طول خندقی و حجم هدررفت خاک می‌شود.

## نتایج و بحث

### ویژگی خندق‌های آبخیزهای هدام و شریف

ویژگی خندق‌های بررسی‌شده در آبخیز هدام در جدول ۱ آورده شده است. بر اساس نتایج، متوسط درصد خاک لخت در بالای پیشانی خندق‌های انتخاب‌شده آبخیز هدام ۹۹/۸٪ است. حداقل این اندازه ۹۸٪ در خندق شماره B4 مشاهده شد. هم‌چنین متوسط

جدول ۱- ویژگی خندق‌های بررسی شده در آبخیز هدام.

Table 1. Characteristics of the Studied Gullies in the Hadam Watershed.

| Precipitation (mm) | Upper forehead slope (%) | Initial point slope (%) | The area above the forehead (m <sup>2</sup> ) | Area above the initial point (m <sup>2</sup> ) | Vegetation (%) | Bare soil (%) | Litter (%) | Gravel (%) | No  |
|--------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------|---------------|------------|------------|-----|
| 300                | 1.7                      | 3.5                     | 655                                           | 12386                                          | 0              | 100           | 0          | 0          | A8  |
| 300                | 3.5                      | 3.5                     | 337                                           | 1670                                           | 0              | 100           | 0          | 0          | A10 |
| 300                | 3.5                      | 3.5                     | 1115                                          | 1334                                           | 0              | 100           | 0          | 0          | A11 |
| 300                | 3.5                      | 1.8                     | 2350                                          | 6358                                           | 0              | 100           | 0          | 0          | A12 |
| 300                | 1.8                      | 1.8                     | 25                                            | 137                                            | 0              | 100           | 0          | 0          | A15 |
| 300                | 3.5                      | 1.8                     | 255                                           | 1592                                           | 0              | 100           | 0          | 0          | A16 |
| 300                | 1.8                      | 1.7                     | 1067                                          | 795                                            | 0              | 100           | 0          | 0          | A17 |
| 300                | 1.9                      | 1.7                     | 35                                            | 1840                                           | 0              | 100           | 0          | 0          | A18 |
| 300                | 1.8                      | 1.7                     | 28                                            | 1406                                           | 0              | 100           | 0          | 0          | B1  |
| 300                | 1.7                      | 1.8                     | 845                                           | 5069                                           | 0              | 100           | 0          | 0          | B2  |
| 300                | 1.8                      | 1.8                     | 1703                                          | 3039                                           | 2              | 98            | 0          | 0          | B4  |
| 300                | 1.8                      | 3.6                     | 1084                                          | 6155                                           | 0              | 100           | 0          | 0          | B5  |
| 300                | 1.8                      | 1.8                     | 1486                                          | 4840                                           | 0              | 100           | 0          | 0          | B8  |
| 300                | 1.7                      | 1.8                     | 1471                                          | 3151                                           | 0              | 100           | 0          | 0          | B9  |
| 300                | 1.7                      | 1.8                     | 1440                                          | 2214                                           | 0              | 100           | 0          | 0          | B10 |

بوده است. اندازه‌ی متوسط رس در پیشانی و در طول خندق به ترتیب ۱۸/۲ و ۱۴/۸٪ است که این اندازه در محدوده‌ی اعلام شده به وسیله‌ی ایوانز (۱۹۸۰)، بین ۹ تا ۳۰٪ برای خاک‌های فرسایش پذیر قرار دارد. با توجه به این که متوسط اندازه‌ی EC در طول خندق و پیشانی، به ترتیب ۲۱/۳ و ۳۵ دسی‌زیمنس در متر متغیر است، به نظر می‌رسد EC اصلی‌ترین عامل ناپایداری خاک و ایجاد فرسایش در آبخیز هدام باشد.

ویژگی خاک در طول خندق (G) و در قسمت پیشانی (H) برای خندق‌های مختلف در جدول (۲)، آورده شده است. بافت خاک در طول خندق (G) از نوع لومی شنی (SaL) و در قسمت پیشانی (H) لومی (L) است. دانه‌بندی ذرات خاک در خندق‌های آبخیز هدام نشان می‌دهد که درصد متوسط رس، لای و شن (حاصل از ۹۰ نمونه) در قسمت پیشانی به ترتیب ۱۸/۲، ۳۴/۸، ۵۶/۸ و در طول خندق به ترتیب ۱۴/۸، ۲۸/۸، ۵۶/۸

جدول ۲- ویژگی‌های خاک در طول خندق (G) و قسمت پیشانی (H) آبخیز هدام.

Table 2. Soil Characteristics along the Gullies (G) and Front Part (H) of Hadam Watershed.

| Clay (G) | Silt (G) | Sand (G) | Mg (G) | Ca (G) | Na (G) | pH (G) | EC (G) | Texture (G) | Clay (H) | Silt (H) | Sand (H) | Mg (H) | Ca (H) | Na (H) | pH (H) | EC (H) | Texture (H) | No  |
|----------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------|----------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------|-----|
| 10       | 32.5     | 57.5     | 4.1    | 4.9    | 5.4    | 7.5    | 1.4    | SandyLomi   | 20       | 21       | 57       | 31.5   | 38.5   | 313    | 7.4    | 32     | SandyLomi   | A8  |
| 14.5     | 34.5     | 51       | 6.7    | 30.2   | 31.1   | 7.6    | 6.9    | Lomi        | 14       | 41       | 45       | 27.8   | 11.1   | 9.9    | 7.6    | 2.5    | Lomi        | A10 |
| 12.5     | 36.5     | 51       | 15.2   | 26.1   | 3      | 7.2    | 6.4    | Lomi        | 19       | 43       | 38       | 27.5   | 70     | 110.5  | 7      | 16.6   | Lomi        | A11 |
| 13       | 21.5     | 65       | 53.8   | 29.7   | 250.7  | 7.6    | 26     | SandyLomi   | 24       | 37       | 39       | 82.5   | 97.5   | 416.5  | 7.4    | 59.5   | SandyLomi   | A12 |
| 23.5     | 34       | 42.5     | 102.1  | 67.8   | 638.2  | 7.2    | 62.9   | SandyLomi   | 25       | 33       | 42       | 5.6    | 5.3    | 10.8   | 7.8    | 1.9    | Lomi        | A15 |
| 20.5     | 36       | 43.5     | 39.9   | 96.4   | 170.5  | 7.4    | 28.7   | Lomi        | 22       | 43       | 35       | 79     | 128    | 508    | 7      | 90     | Lomi        | A16 |
| 8        | 12.5     | 79.5     | 3.5    | 8.6    | 6.8    | 7.8    | 1.7    | SandyLomi   | 12       | 33       | 55       | 9.1    | 17.4   | 11     | 7.1    | 3      | SandyLomi   | A17 |
| 10       | 21.5     | 68.5     | 5.4    | 19.6   | 5.4    | 7.4    | 2.4    | SandyLomi   | 12       | 14       | 74       | 3.8    | 11.2   | 5.2    | 7.1    | 1.8    | SandyLomi   | A18 |
| 11       | 20       | 69       | 10.2   | 34.7   | 93.1   | 7.4    | 10.2   | SandyLomi   | 23       | 42       | 35       | 24.5   | 113.5  | 536    | 7.3    | 111.5  | Lomi        | B1  |
| 11       | 22       | 67       | 21.3   | 45.6   | 146.5  | 7.4    | 18.3   | Lomi        | 28       | 42       | 30       | 137.5  | 105    | 900.5  | 7.3    | 90     | Lomi        | B2  |
| 18.5     | 35.5     | 46       | 13.2   | 75.5   | 237.5  | 7.4    | 46.2   | Lomi        | 20       | 34       | 45       | 22.3   | 46.5   | 59.6   | 7.4    | 11     | SandyLomi   | B4  |
| 12.5     | 35       | 52.5     | 33.9   | 78.7   | 103.2  | 7.2    | 26.5   | SandyLomi   | 14       | 34       | 52       | 76.5   | 70.75  | 156    | 7.3    | 56.6   | SandyLomi   | B5  |
| 15.5     | 25.5     | 59       | 23.3   | 8      | 20     | 7.2    | 11.3   | SandyLomi   | 18       | 38       | 44       | 14.6   | 13.7   | 20.3   | 7.4    | 3.9    | Lomi        | B8  |
| 21       | 27       | 52       | 48.9   | 81.2   | 127.8  | 7.4    | 28.5   | SandyLomi   | 10       | 29       | 61       | 6.1    | 9.5    | 10.7   | 7.4    | 2.4    | SandyLomi   | B9  |
| 205      | 30.5     | 48.5     | 23.3   | 52     | 219.2  | 7.4    | 40.8   | SandyLomi   | 13       | 37       | 50       | 53     | 154    | 190    | 7      | 41.5   | SandyLomi   | B10 |

نتایج به‌دست آمده پدیده‌ی فرسایش خندقی و رواناب سطحی در این منطقه به علت وجود خاک لخت زیاد (۹۷/۲۶٪) و فقدان شدید پوشش گیاهی است که در بالای پیشانی خندق‌ها موجب افزایش طول خندق و حجم هدررفت خاک می‌شود.

ویژگی خندق‌های بررسی شده آبخیز شریف در جدول ۳ آورده شده‌است. براساس نتایج متوسط درصد خاک لخت در بالای پیشانی خندق‌های انتخاب شده آبخیز شریف ۹۷/۲۶٪ است، حداقل اندازه ۶۹٪ در خندق شماره B9 مشاهده شد. هم‌چنین متوسط درصد سنگریزه سطحی و لاشبرگ به ترتیب صفر و ۲/۵٪ بود. با توجه به

جدول ۳- ویژگی خندق های بررسی شده در آبخیز شریف.

Table 3. Specifications of the Studied Gullies in the Sharif Watershed.

| Precipitation (mm) | Upper forehead slope (%) | Initial point slope (%) | The area above the forehead (m <sup>2</sup> ) | Area above the initial point (m <sup>2</sup> ) | Vegetation (%) | Bare soil (%) | Litter (%) | Gravel (%) | No  |
|--------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------|---------------|------------|------------|-----|
| 300                | 1.9                      | 1.8                     | 2443                                          | 12334                                          | 1              | 100           | 0          | 0          | A1  |
| 300                | 3.5                      | 1.8                     | 6731                                          | 28856                                          | 1              | 98            | 1          | 0          | A2  |
| 300                | 3.5                      | 1.9                     | 1557                                          | 7675                                           | 0              | 100           | 0          | 0          | A3  |
| 300                | 1.7                      | 1.9                     | 6088                                          | 7675                                           | 1              | 96            | 3          | 0          | A4  |
| 300                | 1.7                      | 1.8                     | 1883                                          | 11786                                          | 1              | 99            | 0          | 0          | A5  |
| 300                | 1.7                      | 1.8                     | 3522                                          | 21962                                          | 0              | 98            | 2          | 0          | A6  |
| 300                | 3.5                      | 3.5                     | 1409                                          | 4871                                           | 0              | 99            | 1          | 0          | A7  |
| 300                | 1.9                      | 3.5                     | 2606                                          | 5479                                           | 0              | 100           | 0          | 0          | B1  |
| 300                | 1.8                      | 1.9                     | 565                                           | 3651                                           | 0              | 100           | 0          | 0          | B2  |
| 300                | 1.7                      | 3.5                     | 4241                                          | 5534                                           | 0              | 100           | 0          | 0          | B3  |
| 300                | 3.5                      | 1.8                     | 1118                                          | 2641                                           | 0              | 100           | 0          | 0          | B4  |
| 300                | 1.8                      | 1.8                     | 456                                           | 1310                                           | 1              | 69            | 30         | 0          | B9  |
| 300                | 1.9                      | 1.8                     | 2958                                          | 14870                                          | 0              | 100           | 0          | 0          | B10 |
| 300                | 3.5                      | 3.6                     | 2120                                          | 9069                                           | 0              | 100           | 0          | 0          | B11 |
| 300                | 3.6                      | 3.6                     | 312                                           | 1645                                           | 0              | 100           | 0          | 0          | B12 |

سطح پیشانی و خندق های این منطقه نزدیک به ۴۰٪ است که دارای فرسایش شدید خندقی است. اندازه ی متوسط رس منطقه ی خندقی در پیشانی و در طول خندق به ترتیب ۱۸/۷ و ۱۶/۲٪ است که این اندازه در محدوده ی اعلام شده به وسیله ی ایوانز (۱۹۸۰)، بین ۹ تا ۳۰٪ برای خاک های فرسایش پذیر قرار دارد. متوسط مقدار EC در طول خندق و پیشانی، به ترتیب ۹/۵ و ۱۹ دسی زیمنس در متر متغیر است که خود بیان کننده ی وضعیت ناپایدار خاک است.

ویژگی های خاک در طول خندق (G) و در قسمت پیشانی (H) برای خندق های مختلف در جدول (۴) آورده شده است. بافت خاک غالب در طول خندق (G) و در قسمت پیشانی (H) عمدتاً لومی می باشد. دانه بندی ذرات خاک در خندق های آبخیز شریف نشان می دهد که درصد متوسط رس، لای و شن (حاصل از ۱۲۰ نمونه) در قسمت پیشانی به ترتیب ۱۸/۷، ۳۹/۸، ۴۱/۴۶ و در طول خندق ۱۶/۲، ۳۸/۷، ۴۵/۲ بوده است. طبق نظر ریشتر و نگدناک (۱۹۷۷)، که فرسایش پذیرترین خاک ها را با ۴۰ تا ۶۰٪ لای می دانند، متوسط لای در

جدول ۴- ویژگی های خاک در طول خندق (G) و در قسمت پیشانی (H) در آبخیز شریف.

Table 4. Soil Characteristics along the Gullies (G) and in the Front Part (H) in the Sharif Watershed.

| Clay (G) | Silt (G) | Sand (G) | Mg (G) | Ca (G) | Na (G) | pH (G) | EC (G) | Texture (G) | Clay (H) | Silt (H) | Sand (H) | Mg (H) | Ca (H) | Na (H) | pH (H) | EC (H) | Texture (H) | No  |
|----------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------|----------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------|-----|
| 21       | 34       | 46       | 35     | 32     | 91     | 8      | 16     | Lomi        | 21       | 43       | 33       | 41     | 30     | 332    | 8      | 40     | Lomi        | A1  |
| 19       | 42       | 40       | 19     | 34     | 21     | 8      | 7      | Lomi        | 21       | 40       | 39       | 31     | 47     | 37     | 7      | 11     | Lomi        | A2  |
| 16       | 30       | 55       | 21     | 21     | 18     | 8      | 5      | Sandy Lom   | 21       | 41       | 38       | 71     | 65     | 341    | 7      | 47     | Lomi        | A3  |
| 16       | 37       | 48       | 21     | 13     | 12     | 8      | 5      | Lomi        | 16       | 39       | 45       | 19     | 14     | 4      | 7      | 5      | Lomi        | A4  |
| 17       | 43       | 41       | 17     | 52     | 21     | 7      | 9      | Lomi        | 20       | 38       | 42       | 10     | 26     | 19     | 8      | 6      | Lomi        | A5  |
| 14       | 35       | 52       | 31     | 25     | 35     | 7      | 8      | Sandy Lomi  | 14       | 32       | 54       | 9      | 5      | 6      | 7      | 2      | Sandy Lom   | A6  |
| 10       | 36       | 55       | 7      | 2      | 6      | 7      | 2      | Sandy Lomi  | 13       | 29       | 58       | 22     | 21     | 10     | 7      | 5      | Sandy Lom   | A7  |
| 13       | 42       | 46       | 26     | 41     | 21     | 7      | 3      | Lomi        | 15       | 39       | 46       | 94     | 97     | 323    | 7      | 47     | Lomi        | B1  |
| 16       | 45       | 39       | 43     | 47     | 34     | 8      | 11     | Lomi        | 16       | 45       | 39       | 83     | 157    | 95     | 7      | 32     | Lomi        | B2  |
| 19       | 44       | 37       | 25     | 94     | 30     | 7      | 14     | Lomi        | 24       | 48       | 28       | 22     | 17     | 32     | 8      | 6      | Lomi        | B3  |
| 12       | 43       | 45       | 10     | 7      | 7      | 7      | 2      | Lomi        | 24       | 44       | 32       | 105    | 53     | 286    | 7      | 41     | Lomi        | B4  |
| 17       | 38       | 45       | 16     | 15     | 15     | 7      | 4      | Lomi        | 14       | 36       | 50       | 7      | 6      | 6      | 7      | 2      | Lomi        | B9  |
| 17       | 37       | 46       | 21     | 18     | 9      | 7      | 4      | Lomi        | 13       | 41       | 46       | 18     | 13     | 21     | 7      | 5      | Lomi        | B10 |
| 19       | 36       | 46       | 57     | 36     | 15     | 7      | 21     | Lomi        | 18       | 41       | 41       | 79     | 30     | 69     | 7      | 16     | Lomi        | B11 |
| 20       | 41       | 40       | 126    | 96     | 72     | 7      | 33     | Lomi        | 28       | 41       | 31       | 97     | 59     | 128    | 7      | 27     | Lomi        | B12 |

هدام دارای مقطع V شکل هستند. در آبخیز شریف تنها خندق B12، دارای مقطع V شکل و مابقی U شکل است. آبخیز هدام دارای بیشترین ژرفا، بیشترین عرض پایین و بیشترین عرض بالای خندق نسبت به آبخیز شریف است.

## ویژگی های ریخت شناسی خندق ها

ویژگی های کامل ریخت شناسی خندق ها از جمله متوسط عرض بالا، متوسط عرض پایین، متوسط ژرفا، شکل مقطع در خندق های آبخیز های هدام و شریف در جدول ۵ آورده شده است. تمامی خندق ها در آبخیز

جدول ۵- ویژگی‌های ریخت‌شناسی خندق‌های آبخیزهای هدام و شریف.

Table 5. Morphological Information of Hadam and Sharif Watershed Gullies.

| Hadam watershed |              |                |           |     | Sharif watershed |              |                |           |     |
|-----------------|--------------|----------------|-----------|-----|------------------|--------------|----------------|-----------|-----|
| Section type    | Up width (m) | Down width (m) | Depth (m) | No  | Section type     | Up width (m) | Down width (m) | Depth (m) | No  |
| V shape         | 10           | 2.8            | 4.1       | A8  | U shape          | 5.6          | 3.8            | 2.1       | A1  |
| V shape         | 7.1          | 2.3            | 2.8       | A10 | U shape          | 7.4          | 4.6            | 2.4       | A2  |
| V shape         | 10.4         | 2.8            | 3         | A11 | U shape          | 4.6          | 3.2            | 1.8       | A3  |
| V shape         | 9.8          | 3.4            | 2.6       | A12 | U shape          | 4            | 2.8            | 1.6       | A4  |
| V shape         | 9.6          | 2.6            | 2.6       | A15 | U shape          | 5.4          | 4.6            | 1.3       | A5  |
| V shape         | 9.7          | 2.3            | 2.4       | A16 | U shape          | 5.2          | 4.2            | 1.2       | A6  |
| V shape         | 9.3          | 3.6            | 2.2       | A17 | U shape          | 9.0          | 7.9            | 1.2       | A7  |
| V shape         | 10.4         | 3.3            | 2.2       | A18 | U shape          | 3.6          | 3.1            | 1.1       | B1  |
| V shape         | 8.8          | 3.1            | 2.1       | B1  | U shape          | 7.1          | 4.2            | 1.1       | B2  |
| V shape         | 7.2          | 2.8            | 2.1       | B2  | U shape          | 6.3          | 4.1            | 1.1       | B3  |
| V shape         | 8.5          | 2.8            | 2.7       | B4  | U shape          | 4.1          | 2.8            | 1         | B4  |
| V shape         | 9.2          | 4.3            | 9.1       | B5  | U shape          | 11.3         | 9.4            | 0.9       | B9  |
| V shape         | 17.2         | 11.8           | 1.8       | B8  | U shape          | 6.2          | 4.5            | 1.1       | B10 |
| V shape         | 9.9          | 5.9            | 1.4       | B9  | U shape          | 6.4          | 4.8            | 1.1       | B11 |
| V shape         | 13.6         | 4.6            | 2.1       | B10 | U shape          | 6.8          | 3.8            | 1.1       | B12 |

#### محاسبه‌ی متغیرهای وابسته

حجم هدررفت خاک به اندازه‌ی ۵۲۸۲ مترمکعب (هر متر طولی حدود ۹/۵ مترمکعب) است، در حالی که خندق شماره‌ی B4 کم‌ترین حجم هدررفت خاک اندازه‌ی ۳۶۹ مترمکعب (هر متر طولی حدود ۲ مترمکعب) داشت (جدول ۶).

در آبخیز هدام، خندق شماره‌ی A18 دارای بیش‌ترین حجم هدررفت خاک به اندازه‌ی ۱۱۵۹۹ مترمکعب است، در حالی که خندق شماره‌ی B1 کم‌ترین حجم هدررفت خاک به اندازه‌ی ۱۶۱۲ مترمکعب داشت (جدول ۶). در آبخیز شریف نیز، خندق شماره‌ی A2 دارای بیش‌ترین

جدول ۶- حجم خندق‌ها (در سال ۱۳۹۱).

Table 6. Volume of Gullies (In 2013).

| Hadam watershed                   |     | Sharif watershed                  |     |
|-----------------------------------|-----|-----------------------------------|-----|
| Volume of gully (m <sup>3</sup> ) | No  | Volume of gully (m <sup>3</sup> ) | No  |
| 3496                              | A8  | 3230                              | A1  |
| 1703                              | A10 | 5282                              | A2  |
| 2584                              | A11 | 1563                              | A3  |
| 2237                              | A12 | 492                               | A4  |
| 2862                              | A15 | 1190                              | A5  |
| 2217                              | A16 | 1244                              | A6  |
| 3226                              | A17 | 1245                              | A7  |
| 11599                             | A18 | 519                               | B1  |
| 1612                              | B1  | 959                               | B2  |
| 1849                              | B2  | 1737                              | B3  |
| 1930                              | B4  | 369                               | B4  |
| 2063                              | B5  | 2305                              | B9  |
| 4095                              | B8  | 1057                              | B10 |
| 2927                              | B9  | 833                               | B11 |
| 7179                              | B10 | 975                               | B12 |

نتایج تحلیل آماری داده‌های پژوهش نشان می‌دهد که مهم‌ترین عامل در حجم هدررفت خاک و گسترش خندق‌ها، ویژگی‌های آبخیز مانند گستره و شیب آبخیز واقع در سراب پیشانی خندق و ریزدانه بودن تشکیلات سازند زمین‌شناسی (مانند لای) و بالا بودن شوری خاک است. این عامل‌ها همراه با فقر پوشش گیاهی و وجود زمین‌های کشاورزی بستر بسیار مناسبی برای افزایش حجم هدررفت خاک و پیش روی ابعاد خندق‌ها ایجاد کرده‌است. این نتایج با پژوهش‌های سلیمان‌پور و همکاران (۲۰۱۹) و صوفی و عیسیایی (۲۰۱۰) هم‌خوانی و مطابقت دارد. بیش از ۸۰٪ از آبخیز هدام دارای کاربری زراعی است، که با توجه به وجود زمین‌های زراعی آبی در مناطق خندقی، قابلیت تبدیل باران به جریان سطحی وجود دارد. علاوه بر این نتایج بر غالب بودن رواناب سطحی به عنوان فرآیند آب‌شناسی عمده در گسترش خندق‌ها در این منطقه دلالت دارد. بنابراین در آبخیز هدام عامل استفاده از زمین به وسیله انسان نقش مهمی در برهم زدن تعادل محیط داشته و عوامل انسانی تسریع کننده ایجاد فرآیندها و شکل‌های محیطی شده و این موضوع با چشم اندازهای کشاورزی در منطقه به خوبی نمایان است. از میان دیگر کاربری‌ها، کاربری کشاورزی سهم ویژه‌ای (بیش از ۸۰٪ آبخیز) داشته و بستری مناسب برای افزایش سرعت مهار خندق بوده‌است و این در پژوهش‌های اعتراف (۲۰۰۸)، هویسی (۲۰۰۰) و فیض‌نیا و همکاران (۲۰۰۷) به خوبی نشان داده شده‌است و بیانگر این موضوع هستند که انسان به عنوان یک عامل در محیط نقش آفرین است. علاوه بر موردهای ذکر شده دانه‌بندی ذرات خاک در خندق‌های آبخیز هدام نشان می‌دهد که درصد متوسط رس، لای و شن در قسمت پیشانی به ترتیب ۱۸/۲، ۳۴/۸، ۴۶/۸ و در طول خندق به ترتیب ۱۴/۸، ۲۸/۸، ۵۶/۸ بوده‌است. اندازه‌ی متوسط رس در پیشانی و در طول خندق به ترتیب ۱۸/۲ و ۱۴/۸٪ است که این اندازه در محدوده‌ی اعلام شده به وسیله‌ی ایوانز (۱۹۸۰)، بین ۹ تا ۳۰٪ برای خاک‌های فرسایش‌پذیر قرار دارد. با توجه به این که متوسط اندازه‌ی EC در طول خندق و پیشانی، به ترتیب ۲۱/۳ و ۳۵ دسی‌زیمنس در متر متغیر است، به نظر می‌رسد EC اصلی‌ترین عامل ناپایداری خاک و ایجاد فرسایش در آبخیز هدام باشد. به طوری که در هر کدام از آبخیزهای هدام و شریف بین حجم و شوری رابطه‌ی معنی‌داری وجود دارد.

در آبخیز شریف برعکس آبخیز هدام بیش از ۸۰٪ مناطق را مرتع تشکیل می‌دهد و خندق‌ها در این اراضی قرار دارند، به علاوه اندازه‌گیری سطح آبخیز بالای خندق‌ها

نشان‌دهنده‌ی وضعیت خیلی فقیر پوشش در منطقه است. دانه‌بندی ذرات خاک در خندق‌های آبخیز شریف نشان می‌دهد که درصد متوسط رس، لای و شن در قسمت پیشانی به ترتیب ۱۸/۷، ۳۹/۸، ۴۱/۴۶ و در طول خندق ۱۶/۲، ۳۸/۷، ۴۵/۲ بوده‌است. طبق نظر ریشتر و نگندانک (۱۹۷۷)، که فرسایش‌پذیرترین خاک‌ها را با ۴۰ تا ۶۰٪ لای می‌دانند، متوسط لای در سطح پیشانی و خندق‌های این منطقه نزدیک به ۴۰٪ است که دارای فرسایش شدید خندقی است. اندازه‌ی متوسط رس منطقه‌ی خندقی در پیشانی و در طول خندق به ترتیب ۱۸/۷ و ۱۶/۲٪ است که این اندازه در محدوده‌ی اعلام شده به وسیله‌ی ایوانز (۱۹۸۰)، بین ۹ تا ۳۰٪ برای خاک‌های فرسایش‌پذیر قرار دارد.

در بالای پیشانی خندق‌های آبخیزهای هدام و شریف به دلیل ناپدید شدن شیب رواناب سطحی ایجاد شده دارای سرعت زیادی نیست بلکه به دلیل فقدان پوشش گیاهی آبخیز خندق‌ها، نفوذناپذیری ناپدید شدن خاک به دلیل فراوانی لای و شوری بالا در نیم‌رخ خاک خطر گسترش خندق‌ها افزایش می‌یابد. یافته‌های این پژوهش هم‌راستا با یافته‌های برخی پژوهش‌ها از جمله احمدی (۲۰۰۶) مبنی ایجاد خندق در شیب‌های کم است. در این پژوهش در تمامی خندق‌ها شیب نقطه‌ی اولیه و بالای پیشانی با حجم خندق در سطح کم‌تر از ۵٪ هم‌بستگی معنی‌دار دارد، که با نتایج اوچلی و همکاران (۲۰۲۱)؛ جوکارسرهنگی و خلخالی (۲۰۱۹)، مبنی بر تمرکز عمده‌ی فرسایش خندقی در شیب‌های بالا هم‌خوانی دارد. قدوسی (۲۰۰۳) گزارش کرد که فراوانی رخداد فرسایش خندقی با کاهش شیب افزایش می‌یابد. زاخار در سال ۱۹۸۲ با بررسی نتایج سایر پژوهشگران گزارش می‌کند که در کشور چک و اسلواکی بیش‌تر خندق‌ها در شیب ۱۰ درجه تشکیل می‌شوند و در حدود ۹۰٪ آن‌ها در شیب ۱۵-۲ درجه تشکیل می‌شوند. پژوهش‌های زینک و همکاران (۲۰۰۱) نیز مؤید این نکته است که بیش از ۵۰٪ نواحی خندقی در محدوده‌ی شیب ۷۴-۴٪ قرار دارند. در پژوهش حاضر شیب با حجم خندق هم‌بستگی معنی‌دار دارد و از طرف دیگر به دلیل نبود فقر پوشش گیاهی شرایط برای رشد طولی و حجمی خندق‌ها فراهم شده‌است. بافت خاک خندق‌ها در بیش‌تر مناطق از نوع لومی و لومی لای است. در پژوهش‌های ثروتی (۲۰۰۶، ۲۰۰۸، ۲۰۱۰) و سلیمانی و همکاران (۲۰۱۷) بر نقش بافت خاک خندق‌ها در تولید رسوب‌های سست و ریزدانه تأکید شده‌است. در تولید رسوب و گسترش خندق‌ها ریزدانه بودن بافت رسوب‌ها و بالا بودن شوری خاک از مهم‌ترین عامل‌ها به شمار می‌رود.

این نتایج با پژوهش های یمانی و همکاران (۲۰۲۰) و انصاری و همکاران (۲۰۲۰)، هم خوانی و مطابقت دارد. براساس ویژگی های خاک در آبخیزهای هدام و شریف عامل اصلی ناپایداری خاک و ایجاد فرسایش، EC می باشد، که این نتایج با پژوهش های چه او تامان و همکاران (۲۰۲۰)، هم خوانی و مطابقت دارد ولی با یافته های مددی و همکاران (۲۰۲۲)، که نقش سایر ویژگی های خاک را در ناپایداری و فرسایش خاک مؤثر می دانند منطبق نیست.

### نتیجه گیری و پیشنهادها

پژوهش حاضر نشان می دهد که گسترش ابعاد خندق ها و تولید رسوب به عنوان مهم ترین عامل ها در حجم هدررفت خاک و ویژگی های آبخیز در گستره و شیب آبخیز واقع در سراب پیشانی خندق نقش دارند. هم چنین ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مانند ریزدانه بودن تشکیلات سازند زمین شناسی (اندازه لای) و بالابودن شوری خاک و اندازه ی سدیم باعث فرسایش و گسترش ابعاد خندق و در نتیجه افزایش اندازه ی هدررفت خاک شده است. براساس نتایج به دست آمده مشخص شد که در منطقه مورد مطالعه شوری و اندازه ی زیاد سدیم به دلیل وجود نمک هایی با کاتیون غالب سدیم است و افزایش کاتیون سدیم در خاک باعث پراکنده شدن ذرات رس و افزایش ناپایداری خاکدانه ها می شود. خاک این مناطق از رسوب های ریزدانه که دارای بافت لای، ساختمان سست و املاح زیاد می باشند تشکیل شده است. این موضوع سبب شده که منطقه حساسیت زیادی در برابر فرسایش و آب شویی داشته باشد. عامل مؤثر دیگر در گسترش ابعاد و حجم خندق های این منطقه ایجاد رواناب های فصلی است که می تواند سبب افزایش حجم هدررفت خاک باشد. در آبخیز هدام، خندق شماره ی A18 دارای بیش ترین حجم رسوب تولید شده به اندازه ی ۱۱۵۹۹ مترمکعب است در حالی که خندق شماره ی B1 کم ترین حجم هدررفت خاک به اندازه ی ۱۶۱۲ مترمکعب داشت. در آبخیز شریف نیز، خندق شماره ی A2 دارای بیش ترین حجم هدررفت خاک به اندازه ی

۵۲۸۲ مترمکعب است، در حالی که خندق شماره ی B4 کم ترین حجم هدررفت خاک به اندازه ی ۳۶۹ مترمکعب داشت. مجموع حجم هدررفت خاک در آبخیز شریف و هدام به ترتیب ۲۳۰۰۰ و ۵۱۵۷۹ مترمکعب است. مطابق ویژگی ریخت شناسی خندق ها تمامی خندق ها در آبخیز هدام دارای مقطع V شکل هستند. در آبخیز شریف تنها خندق B12، دارای مقطع V شکل و مابقی U شکل است. آبخیز هدام دارای بیش ترین ژرفا، بیش ترین عرض پایین و بیش ترین عرض بالای خندق نسبت به آبخیز شریف است. طبق پیمایش صحرایی در مناطق مورد مطالعه و براساس پژوهش های انجام شده دست کاری انسان در طبیعت، مانند کشاورزی در آبخیز هدام و فقر پوشش گیاهی به دلیل چرای مراتع در آبخیز شریف از عامل های اصلی فرسایش محسوب می شود. به منظور کاهش گسترش خندق ها می توان با استقرار پوشش گیاهی سبب افزایش ضریب زبری و مقاومت سطح شد و در نبود شرایط انجام این راه کار باید رواناب سطحی ایجاد شده در بالای پیشانی خندق را منحرف و در بخشی از بدنه ی خندق وارد کرد. هم چنین اقدام های پیشگیرانه برای جلوگیری از ایجاد خندق های جدید در محل ورود رواناب به بدنه ی خندق، ضروری می باشد. با اجرای برنامه های مدیریتی، مانند تعادل دام در مرتع به همراه مدیریت پوشش گیاهی، کاشت گیاهان مقاوم به خشکی، شوری و سازگار با شرایط محیطی (مانند آتریپلکس، سمر یا کهور پاکستانی)، می توان از گسترش فرسایش خندقی در منطقه جلوگیری کرد. در صورت وجود شرایط اضطراری می توان با اقدام های ساختمانی نیز حجم رواناب ورودی به پیشانی خندق را کاهش داد. به عنوان مثال مساحت بالادست پیشانی را به قطعه های کوچک تبدیل کرده و در آن کشت کرد تا از رطوبت موجود در جهت افزایش تولید، کاهش فرسایش و ایجاد اشتغال سود برد یا با احداث بندهای خاکی می توان رواناب سطحی ورودی به پیشانی را کاهش داده و از رواناب جمع آوری شده جهت استقرار پوشش گیاهی در پیرامون خندق استفاده کرد.

فهرست منابع

- Ahmadi H. 2006. Applied geomorphology, University of Tehran press, Volume 1, 688 p. (In Persian).
- Ansari M, Soleimani F, Ahmadi A. 2020. Evaluation and zonation of sensitive areas to gully erosion using fuzzy logic (Case study: Ghaleh Gorg watershed- Shushtar). *Water and Soil*, 34(5): 1033–1045. (In Persian).
- Bai Y, Guo M, Kang H, Wang W, Su H, Guo W, Ma Ch. 2021. Morphodynamics of gully development on the platform–slope system of spoil dumps under platform concentrated flow. *Land*, 10(11): 1270–1279.
- Bernatek-Jakiel A, Wrońska-Walach D. 2018. Impact of piping on gully development in mid-altitude mountains under a temperate climate: A dendrogeomorphological approach. *Catena*, 165: 320–332.
- Damizadeh M, Shadfar S. 2021. Assessment of long-term changes of Gully eroiosn growth in Kondouran Catchment, Hormozgan Province. *Environmental Erosion Research Journal*, 11(3): 140–159. (In Persian).
- Blanco H, Lal R. 2008. Principles of soil conservation and management. Edition number: 1, Springer Dordrecht, 617 p.
- Che Othaman NN, Md Isa MN, Ismail RC, Ahmad M I, Hui CK. 2020. Factors that affect soil electrical conductivity (EC) system for smart farming application. *AIP Conference Proceedings*, 2203(1): 020055.
- De Vente J, Poesen J, Verstraeten G. 2005. The application of semi-quantitative methods and reservoir sedimentation rates for the prediction of basin sediment yield in Spain. *Journal of Hydrology*, 305(1–4): 63–86.
- Evans R. 1980. Mechanics of water erosion and their spatial and temporal controls: An empirical viewpoint. *Soil Erosion*. Chichester, Wiley, 109–128.
- Egbueri JC, Igwe O. 2022. Assessing the role of soil engineering properties in gully development and enlargement in southeast Nigeria using geostatistical and novel indexical techniques. *Environmental Earth Sciences*, 81(7): 1–24.
- Eteraph H. 2008. Effects of loose land utilization on fertility and soil erosion in maraveh tappeh region, M.Sc. Thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 103 p. (In Persian).
- Feiznia S, Heshmati M, Ahmadi H, Ghodosi J. 2007. Investigation of gully erosion in marly Agha-Jari formation in Zagross (case study: Ghasre-shirin, Kermanshah). *Pajouhesh-vasazandegi*, 20(1): 32–40. (In Persian).
- Frankl A, Nyssen J, Vanmaercke M, Poesen J. 2021. Gully prevention and control: Techniques, failures and effectiveness. *Earth Surface Processes and Landforms*, 46(1): 220–238.
- Jokar Sarhangi E, Khalkhali N. 2019. Evaluation and zonation the gully erosion hazard using bivariate statistical methods (Case Study: Nemarestagh Watershed). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 8(19): 195–208. (In Persian).
- Hadley RF, Rolfe BN. 1955. Development and significance of seepage steps in slope erosion. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 36(5): 792–804.
- Hoveisi A. 2000. Investigating the factors of the gully erosion expansion in Darkhazine watershed. Master's Thesis of Imam Khomeini Higher Education Center, 98 p. (In Persian).
- Kalehouie M, Kavian A, Gholami L, Jafarian Z. 2020. Influence of start time and coefficient of runoff to application of organic mulch under small laboratory plots. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 13(47): 9–17. (In Persian).
- Kavian A, Hayavi F, Boroghani M. 2014. Polyacrylamide effects on splash erosion rate in different soils using rainfall simulator. *Journal of Range and Watershed*

- Managment, 67(2): 203–216. (In Persian).
- Kheir RB, Chorowicz J, Abdallah C, Dhont D. 2008. Soil and bedrock distribution estimated from gully form and frequency: A GIS-based decision-tree model for Lebanon. *Geomorphology*, 93(3–4): 482–492.
- Kirkby, M.J., & L.J., Bracken. (2009). Gully process and gully dynamics. *Earth Surface processes and Landforms*. 34(14):1841–1851.
- Lafen JM, Roose EJ. 1988. Methodologies for assessment of soil degradation due to water erosion. In Law R. Balum, W. E. and Valentine, c. (Eds.), *Soil degrading*, CRC press, Bo Ca Raton. 320 p.
- Leopold L. B. 1951. Rainfall frequency: an aspect of climatic variation. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 32(3): 347–357.
- Li C, Li F, Dai Z, Yang X, Cui X, Luo L. 2020. Spatial variation of gully development in the loess plateau of China based on the morphological perspective. *Earth Science Informatics*, 13(4), 1103–1117.
- Madadi A, Asghari S, marhamat M. (2022). The role of soil characteristics and topographic threshold on gully erosion in Shoor River Watershed (Mohr Township). *Quantitative Geomorphological Research*, 10(4): 75–95. (In Persian).
- Martinez-Casasnovas J. A. 2003. A spatial information technology approach for the mapping and quantification of gully erosion. *Catena*, 50(2–4): 293–308.
- Martins B, Nunes A, Meira-Castro A, Lourenço L, Hermenegildo C. 2022. Local factors controlling gully development in a mediterranean environment. *Land*, 11(2): 204–305.
- Mohammed S, Alsafadi K, Talukdar S, Kiwan S, Hennawi S, Alshihabi O, Sharaf M, Harsanyie E. 2020. Estimation of soil erosion risk in southern part of Syria by using RUSLE integrating geo informatics approach. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 20(14): 100375–100803.
- Mosaffaie J, Talebi A. 2014. A statistical view to the water erosion in Iran. *Extension and Development of Watershed Management*, 2(5): 9–17. (In Persian).
- Nachtergaele JJ, Poeson A, Steegen I, Takken L, Beuselinck L, Vandekereckove G, Grovers G. 2001. The value of a physically based model versus an empirical approach in the prediction of Ephemeral gully erosion for loss-dierived soils. *Geomorphology*, 40(3–4): 237–252.
- Olabode OP, San HL. 2022. Hydrogeological assessment of hydraulic conductivity on gully formation in erosion degraded residual soil of an unstable slope. *Indian Geotechnical Journal*, 52(3): 519–536.
- Phinzi K, Abriha D, Bertalan L, Holb I, Szabó S. 2020. Machine learning for gully feature extraction based on a pan-sharpened multispectral image: multiclass vs. Binary Approach. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(4): 252–271.
- Poesen J, Nachtergaele J, Verstraeten G, Valentin C. 2003. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena*, 50(2–4): 91–133.
- Ocheli A, Ogbe, OB, Aigbadon GO. 2021. Geology and geotechnical investigations of part of the Anambra Basin, Southeastern Nigeria: implication for gully erosion hazards. *Environmental Systems Research*, 10(1): 1–16.
- Qudusi J. 2003. Modeling the morphology of moat erosion and its zoning, PhD thesis in watershed management, Faculty of Natural Resources, University of Tehran. 366 p.
- Refahi H. 2009. *Water erosion and its control*. University of Tehran Press. 551 p. (In Persian).
- Richter G, Negendank J. F. 1977. Soil erosion processes and their measurement in the German area of the Moselle River. *Earth Surface Processes*, 2(2-3): 261–278.
- Rode M., op de Hipt F., Collins A. L., Zhang

- Y., Theuring P., Schkade U. K., Diekkrüger B. 2018. Subsurface sources contribute substantially to fine-grained suspended sediment transported in a tropical West African watershed in Burkina Faso. *Land Degradation & Development*, 29(11): 4092–4105.
- Rostamizad G, Salageghe A, Nazari Samani A. A, Ghodoosi J. 2019. Modeling of geometrical characteristics of gully erosion (Case study: Ilam province). *Journal of Range and Watershed Management*, 71(4): 915–928. (In Persian).
- Roy P, Chakraborty R, Chowdhuri I, Malik S, Das B, Pal S. C. 2020. Development of different machine learning ensemble classifier for gully erosion susceptibility in Gandheswari Watershed of West Bengal, India. *Machine learning for intelligent decision science*, pp. 1–26.
- Servati M, Makhtumi A. 2006. Erosion assessment of loess deposits in Jigh watershed (Golestan Province). *Geographical Research*, 58: 115–128. (In Persian).
- Servati M, Qudusi J, Dadkhah M. 2008. Factors effecting initiation and advancement of gully erosion in loesses. *Pajouhesh & Sazandegi (In Natural Resources)*, 21(78): 20–33. (In Persian).
- Servati M, Qudusi J, Teymouri Yansari Z. 2010. Geomorphology of Yali Badraq loesses in northeastern Golestan province, north of Kalaleh county, *Physical Geography*, 1(3): 97–114. (In Persian).
- Soleimani F., Soufi M., & Arsham A. 2017. Determination of effective factors in gullies development in Modares watershed of Shushtar. *Journal of Water and Soil*, 31(5): 1433–1446. (In Persian).
- Soleimani F. 2016. Investigation of effective factors on gullies development in Khuzeestan province. Report of research projet. Soil conversation and watershed management research institute. Register number 50815. 58 p. (In Persian).
- Soleimanpour SM, Soufi M, Rousta MJ, Shadfar S. 2019. Determination of soil volume loss due to gully erosion and estimation of its economic cost (Case study: Ghazeian watershed, Fars province). *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 13(46): 112–120. (In Persian).
- Soleimanpour SM, Soufi M, Rousta MJ, Shadfar S, Jowkar L, Keshavarzi H. 2019. Determination of the Influencing Factors on the Length Extension of Gullies in Ghazeian Watershed, Fars Province. *Journal of Watershed Management Research*, 10(20): 72–82. (In Persian).
- Soleimanpour SM, Rahmati O, Shadfar S, Enayati M. 2022. Calculation of annual soil loss due to gully erosion in Mahourmilati watershed of Fars province. *Fifth National Conference on Soil Conservation and Watershed Management*, Tehran, May, Iran. (In Persian).
- Solomon Ehiz O, Omougbo UN. 2013. Evaluating factors responsible for gully Development at the University of Benin. *Journal of Emerging Trend in Engineering and Applied Science*, 4(5):707–713.
- Soufi M, Esaei H. 2010. Estimation of the volume of gully erosion using morphometric and soil characteristics in the gullies of Golestan province. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 2(2): 73–82. (In Persian).
- Tang J, Xie Y, Liu C, Dong H, Liu G. 2022. Effects of rainfall characteristics and contour tillage on ephemeral gully development in a field in Northeastern China. *Soil and Tillage Research*, 218, 105312.
- Tebebu TY, Abiy AZ, Zegeye AD, Dahlke HE, Easton ZM, Tilahun SA, Collick AS, Kidnau S, Moges S, Dadgari F, Steenhuis TS. 2010. Surface and subsurface flow effect on permanent gully formation and upland erosion near Lake Tana in the northern highlands of Ethiopia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(11): 2207–2217.

- Torri D, Poesen J. 2014. A review of topographic threshold conditions for gully head development in different environments. *Earth-Science Reviews*, 130: 73–85.
- Wang C, Zhang G, Zhu P, Wang Z, Xing S. 2022. Sediment connectivity of small watershed affected by gully development and vegetation restoration on the loess plateau. *Geoderma*, 410, 115663.
- Wu H, Xu X, Zheng F, Qin C, He X. 2018. Gully morphological characteristics in the loess hilly-gully region based on 3D laser scanning technique. *Earth Surface Processes and Landforms*, 43(8): 1701–1710.
- Yamani M, Goorabi A, Maghsoudi M, Mahboobi S. 2020. Investigating the relation between sediments texture and gullies development in plains in the southern part of eastern Alborz using statistical analysis method (Case study: Garmsar-Seyyed Abad). *Quantitative Geomorphological Research*, 9(3): 203–226.
- Zachar D. 1982. Soil erosion. Elsevier Scientific Publishing Company. 584 p.
- Zarei H, Najafinejad A, Hossein Alizadeh M, Alipour K. 2017. Efficiency assessment of the EGEM to estimate gully erosion in Iky-Aghzly watershed of Golestan province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(5): 147–162. (In Persian).
- Zinck A, Lopez J, Metternich GI, Shrestha DP, Vazquez-Selem L. 2001. Mapping and modelling mass movement and gullies in mountainous areas using remote sensing and GIS techniques. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 3(1): 43–53.



Fars Agricultural and Natural Resources  
Research and Education Center



Agricultural Research, Education  
and Extension Organization

## Estimation of Soil Loss Volume Due to Gully Erosion and its Relationship with Soil and Watershed Characteristics in Sharif and Haddam Watersheds of Khuzestan Province

Freidoon Soleimani\*1, Mahin Kalehhouei2, Shamsolah Asgari3

1- Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department,  
Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research,  
Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran

2- Ph.D., Student in Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University

3- Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department,  
Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research,  
Education and Extension Organization (AREEO), Ilam, Iran

### Extended Abstract

#### Introduction and Objective

Gully erosion affected by many factors causes the destruction and loss of large volumes of soil along with great economic and social damage. The variability of diversity, the number and size of the influence of different factors from one point to another and the difference of their participation in the formation and expansion of gullies is based on the conditions of the land. Such conditions have caused more researches to be carried out to identify as many factors as possible in the phenomenon of gully erosion and the extent of their participation in the formation and expansion of this phenomenon. In this regard, the present study has been planned with the aim of monitoring and evaluating the effective factors in the development of gullies in the Haddam and Sharif watersheds of Khuzestan province. Modares Shushtar watershed, having Sharif and Hadam subwatersheds, as one of the important and typical basins of the province, every year a large area of its agricultural land is threatened by gully erosion.

#### Materials and Methods

In order to carry out this research, first, the parts with gullies in the study area were identified on the topography map with a scale of 1:250,000 during the 20-year period (1993-2012). Then, 15 gullies

#### Article Type: Research Article

\*Corresponding Author E-mail: frsolaimani@gmail.com

**Citation:** Soleimani, F., Kalehhouei, M., Asgari, Sh. Estimation of Soil Loss Volume Due to Gully Erosion and its Relationship with Soil and Watershed Characteristics in Sharif and Haddam Watersheds of Khuzestan Province. Watershed Management Research. 36(1): 80-95.

**DOI:** 10.22092/wmrj.2022.358628.1472

**Received:** 10 May 2022, **Received in revised form:** 08 July 2022, **Accepted:** 21 September 2022,

**Published online:** 21 March 2023

Watershed Management Research, VOL. 36, No.1, Ser. No: 138, Spring 2023, pp.80-95

**Publisher:** Regional Information Center for Science and Technology

©Author(s)



have been identified and investigated from each climate class of hot-dry desert and hot-semi-arid. Features such as the slope of the initial point of creating a gully and the slope of the front of the gully were calculated by the field method and using a tape measure, level and inclinometer measuring device and the mirage area of the gully front in the Google Earth software. Also, the physical and chemical characteristics of the soil of each gully were tested.

### **Results and Discussion**

The results showed that the average percentage of bare soil above the head cut of selected gullies in Haddam and Sharif watersheds is 99.8% and 97.26%, respectively. Based on soil characteristics, the main cause of soil instability and erosion in gullies in both watersheds is EC. The morphometric characteristics of the gullies showed that in the Haddam watershed, all gullies are V-shaped in terms of cross section, and in the Sharif watershed, only gullies are B12, V-shaped and the rest are U-shaped. The Haddam watershed has the highest depth, width, and top of the gully compared to the Sharif watershed. The total volume of soil loss in Sharif and Haddam watersheds is 23000 and 51579 m<sup>3</sup>, respectively. Gullies A18 and B1 in Haddam watershed have the highest and lowest soil loss volume, at 11599 and 1612 m<sup>3</sup>, respectively. In the Sharif watershed, the maximum and minimum soil loss volume of gullies related to gullies A2 and B4 are 5282 and 369 m<sup>2</sup>, respectively.

### **Conclusion and Suggestions**

The most important factors in the volume of soil loss and expansion of gullies are the characteristics of the watershed located upstream of the gully front (such as the extent and slope of the watershed) as well as the fineness of the geological formation (silt) and high soil salinity. Due to the excessive bareness of the soil, increasing the roughness of the soil surface with the establishment of vegetation is one of the compatible and low-cost methods in protecting soil resources. In order to control the spread of gully erosion, it is necessary to increase soil organic matter, modify saline and sodium soils with the use of modifiers, and also divert the runoff from the gully front.

**Keywords:** Gully cross section, Haddam watershed, land use, morphometric, soil erosion, sediment yield