

واکاوی وضعیت فرسایش خندقی در ایران و ارتباط آن با تغییر کاربری زمین در بیست و پنج سال گذشته^۱

علی اکبر نظری سامانی^۲، زهرا عبدالله‌پور و محمود عرب خدری^۳

چکیده

فرسایش خندقی یکی از شدیدترین شکل‌های تخریب سرزمین است که ارتباط آن با کاربری زمین در سطح کشور به صورت مقایسه‌ای بررسی نشده است. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر کاربری زمین بر گسترش فرسایش خندقی در مقیاس حوزه‌های آبخیز^۴ درجه دو تماب در دهه‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ انجام شد. گزینش این مقیاس به دلیل نقش محوری حوزه آبخیز در مدیریت فرسایش و نیز دسترسی به داده‌های قابل اتکا انجام شد. موقعیت خندق‌ها با بهره‌گیری از تصویرهای پایگاه Google Earth، داده‌های موجود و بازدیدهای میدانی استخراج و سپس با نقشه‌های کاربری زمین در دو دهه همپوشانی شد. برای واکاوی روابط بین فرسایش خندقی و کاربری زمین، رگرسیون گام‌به‌گام بین مساحت مطلق و نسبی فرسایش خندقی و انواع کاربری‌ها اجرا شد. نتایج نشان دادند که در مجموع زمین‌های خندقی‌شده در کشور حدود ۴۴۶۷۳۹۲ هکتار است. در دهه ۱۳۹۰، مساحت کاربری‌های زراعت دیم، زراعت آبی، جنگل و منطقه‌های مسکونی افزایش یافته است. بیشترین مساحت مطلق فرسایش خندقی در هر دو دهه مربوط به کاربری مرتع بود (به ترتیب، ۱۸۶۷۵۱۱ و ۱۷۸۹۹۱۷ هکتار)، اما بر اساس شاخص نسبت تراکمی، بیشترین مقدار فرسایش در حاشیه و بستر آبراهه‌ها و زمین‌های متفرقه (بدون پوشش) مشاهده شد. همچنین رابطه‌ای معنی‌دار بین کاربری زراعت دیم و مساحت مطلق و نسبی فرسایش خندقی به دست آمد. نتایج نشان دادند که فرسایش خندقی وابستگی معنی‌داری با نوع کاربری سرزمین دارد. از نظر خسارت و اولویت مدیریتی، دیمزارها، بستر آبراهه‌ها، مرتع تخریب‌شده و زمین‌های بایر (بدون پوشش) حساس‌ترین کاربری‌ها بودند و در میان حوزه‌آبخیز درجه دو تماب، حوزه‌آبخیز قره‌قوم بیشترین اولویت مدیریتی را دارند.

واژه‌های کلیدی: تخریب سرزمین، زراعت آبی، زراعت دیم، مرتع.

مقدمه

فرسایش خندقی یکی از شدیدترین شکل‌های تخریب خاک در مقیاس حوزه‌آبخیز است که نقش مهمی در تولید رسوب و زوال کیفیت سرزمین دارد (Zhang et al., 2023). اگرچه فرسایش سطحی و شیاری به عنوان مرحله آغازین

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۶/۱۸

۱- تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۹/۲۴

۲- پست الکترونیک نویسنده مسئول: aknazari@ut.ac.ir

۳- به ترتیب، استاد دانشگاه تهران (عضو وابسته فرهنگستان علوم ج.ا. ایران)، دانشجوی دکتری دانشگاه تهران و استاد پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران.

۴- این نامگذاری از واژه‌نامه فرهنگ نوین کشاورزی و منابع طبیعی جلد دوازدهم، مرتع و آبخیزداری برگرفته شده است.

جدایی و انتقال خاک شناخته می‌شوند، خندق‌ها در مقیاس حوزه آبخیز، بیش از ۵۰٪ از بین رفتن خاک را به خود اختصاص می‌دهند (Valentin *et al.*, 2005). به خاطر نرخ زیاد گسترش، پویایی غیرخطی و پیامدهای ژئومورفیک و خسارت‌های اقتصادی گسترده، فرسایش خندقی یکی از کلیدی‌ترین فرایندهای تخریب سرزمین در محیط‌های خشک و نیمه‌خشک مطرح است (صفاری و همکاران، ۱۳۹۸). با این وجود، شکاف چشمگیری میان شناخت علمی و اجرای اقدام‌های مدیریتی کارا برای کنترل آن همچنان وجود دارد. پیامدهای فرسایش خندقی تنها به تخریب خاک محدود نیست، بلکه با ایجاد تغییرهای گسترده در ساختار و عملکرد سامانه‌های ژئومورفیک و هیدرولوژیک، پایداری زیست‌بوم‌ها را زیر تأثیر قرار می‌دهد. این فرایند با قطعه‌قطعه کردن سیمای سرزمین، کاهش رطوبت سطحی و نفوذپذیری، به افت مقدار آب خاک و کاهش پایداری پوشش گیاهی می‌شود. پیامدی که به‌طور مستقیم بهره‌وری زمین‌های دیم را محدود می‌کند (Poesen *et al.*, 2003; Valentin *et al.*, 2005; Castillo & Gómez, 2016). همچنین، با تغییر در ظرفیت نگهداشت آب و تشدید پاسخ هیدرولوژیک حوزه^۱، شرایط را برای تضعیف پوشش گیاهی و کاهش تاب‌آوری زیست‌بوم‌های کشاورزی فراهم می‌کند (Sidle *et al.*, 2019). از دید هیدروژئومورفیک، خندق‌ها با اتصال سریع منابع تولید رواناب به شبکه زهکشی، سرعت انتقال رسوب را افزایش و موجب افزایش بار رسوبی پایین‌دست، کاهش عمر مخزن سدها و بسته شدن مجراهای انتقال آب می‌شوند (Prosser & Winchester, 1996; Poesen *et al.*, 2003) در سطح اقتصادی-بوم‌شناختی، این فرایند موجب تخریب زمین‌های کشاورزی و مرتعی، آسیب به زیرساخت‌ها و کاهش ارزش زمین شده و سرانجام بهره‌وری سامانه‌های تولیدی را کاهش می‌دهد (Dimal, 2015). شدت و الگوی توسعه خندق‌ها به شدت زیر تأثیر تغییرهای کاربری زمین‌ها قرار دارد. تبدیل پوشش‌های طبیعی به زمین‌های کشاورزی، توسعه زیرساخت‌ها و فشار چرای دام از راه تغییر در ساختار پوشش گیاهی، افزایش رواناب و کاهش پایداری خاک، از عامل‌های اصلی تسریع این فرایند هستند (Hazelton & Clements, 2014; Chen *et al.*, 2025). در این میان، دیمزارها، مرتع‌های تخریب‌شده و بستر آبراهه‌ها به عنوان حساس‌ترین واحدهای کاربری شناخته می‌شوند، در حالی که پوشش‌های جنگلی به خاطر افزایش نفوذپذیری و تقویت مقاومت خاک، نقش کاهنده در توسعه خندق‌ها دارند (Arikpo, 2024). با وجود اهمیت جهانی این پدیده، در ایران هنوز برآوردهای جامع و یکپارچه از پراکنش و شدت فرسایش خندقی محدود بوده و سطحی از نبود قطعیت در داده‌های موجود مشاهده می‌شود. برآوردهای اولیه نشان می‌دهند که حدود ۱/۴۱ میلیون هکتار از زمین‌های کشور زیر تأثیر این فرایند قرار دارند (Soufi *et al.*, 2020)، با این حال، نبود نقشه ملی به‌روزشده و داده‌های سازگار زمانی، امکان واکاوی روندهای مکانی-زمانی و تدوین راهبردهای مدیریتی کارا را محدود کرده است. در نتیجه، با وجود پیشرفت‌های چشمگیر در شناخت فرایندهای ژئومورفیک خندق‌زایی، همچنان به واکاوی مقایسه‌ای نقش کاربری‌های زمین‌ها در مقیاس ملی و ارتباط آن با پویایی زمانی این پدیده نیاز است. این موضوع ضرورت توسعه بررسی‌های مکانی و آماری یکپارچه برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری در مدیریت پایدار خاک و آب را برجسته می‌کند.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در سطح کل کشور ایران انجام شد. تهیه و ارزیابی دقیق نقشه پراکنش خندق‌ها بر پایه نتایج بررسی‌های پیشین انجام شد. در مرحله نخست برای شناسایی منطقه‌های زیر تأثیر فرسایش خندقی از راه جستجوهای کتابخانه‌ای و

1. Watershed hydrological response (برگرفته از واژه‌نامه فرهنگ نوین کشاورزی و منابع طبیعی جلد دوازدهم، مرتع و آبخیزداری)

فردی گزارش‌ها، پایان‌نامه‌ها و دیگر منابع مرتبط، آمارهای مورد نیاز فراهم و در طول اجرای این پژوهش به تکمیل آن پرداخته شد. در مجموع نزدیک به ۱۸۱ منبع علمی معتبر ارزیابی شد و با نامه‌نگاری و ارتباط مستقیم با پژوهشگران، استادان و دانشجویان در زمینه فرسایش خندقی، موقعیت مکانی همه منطقه‌های دارای فرسایش خندقی در سطح کشور جمع‌آوری شدند. برای نمونه، با مراجعه به سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور و پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و صحبت با استادان و پژوهشگران متخصص، وضعیت موجود فرسایش خندقی بررسی و به‌روزرسانی شد. منابع و اطلاعات بر اساس موردهایی همچون وجود کار میدانی در رابطه با خندق در عرصه مورد بررسی و همچنین شدت فرسایش خندقی و خسارت‌های وارده گزینش شدند. همچنین، با بهره‌گیری از اطلاعات نقشه زمین‌شناسی به‌منظور شناسایی سازندهای حساس به فرسایش^۱، نقشه پراکنش فرسایش خندقی بر اساس سازندهای حساس به فرسایش با تفسیر چشمی پایگاه گوگل‌ارث^۲ تکمیل شد. فرسایش خندقی پدیده‌ای است که از نظر بُعدها و شکل در منابع مختلف با معیارهای مختلفی تعریف شده است، اما بر پایه بیشتر پژوهش‌ها (احمدی، ۱۳۸۶؛ نظری سامانی، ۱۳۹۶) منظور از خندق، شکل‌های خطی ناشی از فرسایش آبی با وجود بالاکنند^۳ است که اغلب، نقطه شروع آن در زمین‌های کم شیب رخ می‌دهد. در اصل، برای تهیه نقشه ناهمواری‌های سطح زمین با رعایت اصول کارتوگرافی، باید بر پایه مقیاس و شاخص کمینه سطح قابل ترسیم^۴ عمل شود. در واقع برای تهیه نقشه، دو مفهوم کمینه سطح قابل نمایش روی نقشه و حداقل سطح قابل تشخیص زمین (MLA) و پیوستگی عارضه و پدیده، باید مورد نظر باشد. از آنجایی که خندق عارضه طولی است، بنابراین متصل بودن بالاکنند و بدنه خندق، ملاک عمل است. همچنین، بر پایه مقیاس مورد نظر (۵۰۰۰۰)، مساحت کمتر از ۶۲۵ هکتار روی نقشه قابل نمایش نیست و کمینه فاصله بین دو محدوده چندضلعی^۵ دارای فرسایش خندقی باید بیشتر از سه تا پنج میلی‌متر در مقیاس نقشه باشد. در شکل ۱ نقشه به‌روزرسانی شده پراکنش فرسایش خندقی در سطح کشور آورده شده است. یکی از موردهای قوت این بررسی فراگیر بودن آن در سطح ایران است و برای همسان‌سازی داده‌ها مدت زمان زیادی صرف به‌روز رسانی و اطمینان از نقشه فرسایش خندقی شد.

در مرحله بعد، از نقشه‌های کاربری زمین‌های کل کشور مربوط به دهه‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ تهیه شده توسط سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور (۱۳۸۳، ۱۳۹۹)، به‌منظور بررسی تغییرهای کاربری زمین استفاده شد و مقدار تغییر کاربری زمین از دهه ۱۳۸۰ به ۱۳۹۰ بررسی شد. به منظور همسان‌سازی نقشه در دو دهه مورد بررسی همه زمین‌های مرتعی در قالب کاربری مرتع و زمین‌های شور، بدون پوشش، دق، سطوح کویری و زمین‌های بایر در قالب زمین‌های متفرقه و بدون پوشش قرار گرفتند. سپس با روی هم‌گذاری لایه کاربری زمین با حوزه آبخیز درجه دو تماب، کاربری زمین‌ها در هر حوزه آبخیز درجه دو تماب در هر دهه مشخص شد. در پایان با روی هم‌گذاری لایه‌های پراکنش فرسایش خندقی و کاربری زمین‌ها، مساحت فرسایش خندقی در هر کاربری در قالب حوزه‌های آبخیز درجه دو و در هر دهه مشخص شد. باتوجه به این که درصد فراوانی نسبی به تنهایی نمی‌تواند برای تعیین اهمیت موضوع به‌کار برده شود، بر پایه شاخص نسبت تراکمی عمل شد (معادله ۱).

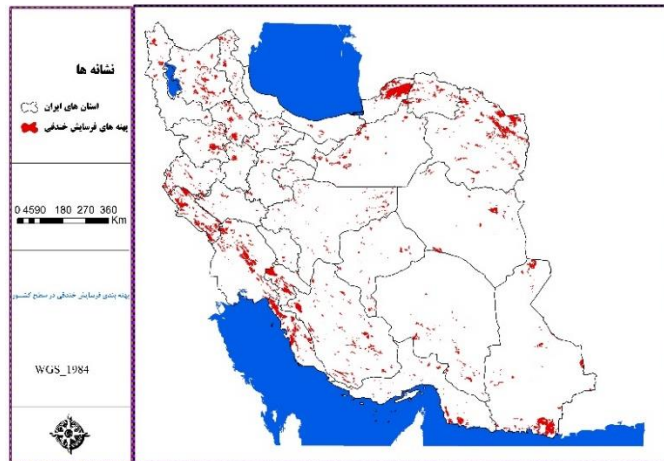
$$\text{نسبت تراکمی} = \frac{\text{درصد مساحت فرسایش خندقی در هر کاربری به مساحت همان کاربری در حوضه درجه دو}}{\text{درصد مساحت نسبی کاربری در هر حوضه درجه دو}} \quad \text{معادله ۱}$$

1. Mudstone, Claystone, Marl, Loess and Shale
4. Minimum legible delineation (MLD)

2. Google Earth
5. Polygon

3. Head cut

سپس، رابطه بین کاربری زمین و تغییرهای آن در زمین‌های خندقی شده ارزیابی شد و تغییر در زمین‌های خندقی شده شناسایی شد. در پایان، ارتباط بین کاربری‌های مختلف و درصد و سطح فرسایش خندقی در حوزه آبخیز درجه دو بررسی و مورد واکاوی قرار گرفت. به منظور بررسی رابطه بین کاربری‌های مختلف با مساحت نسبی و مطلق فرسایش خندقی در حوزه آبخیز درجه دو از رهیافت تجزیه رگرسیون به روش گام به گام بهره‌گیری شد.



شکل ۱- نقشه به‌روزرسانی شده پراکنش فرسایش خندقی (برگرفته از عبدالله‌پور، ۱۴۰۵).

نتایج و بحث

وضعیت کاربری زمین‌های کل ایران در دهه‌های ۸۰ و ۹۰

با توجه به جدول ۱، بیشترین کاربری زمین در هر دو دهه ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ مربوط به مرتع بوده است. همچنین، در پایان دهه ۹۰، کاربری‌های زراعت دیم، آبی، جنگل و منطقه‌های مسکونی نسبت به دهه ۸۰ افزایش و دیگر کاربری‌های زمین‌های کاهش یافته است. بیشتر تغییرهای کاربری زمین‌ها در ایران ناشی از عامل انسانی (رشد جمعیت و توسعه کشاورزی)، تغییرهای اقتصادی و بی‌ثباتی اقلیمی بوده است. اگرچه مرتع همواره بیشترین سطح کاربری را دارد، اما با فشار بهره‌برداری و تغییر نیازها، بخشی از آن‌ها به زراعت دیم، آبی، جنگل‌های دست‌کاشت و سکونت‌گاه‌ها تبدیل شده‌اند، درحالی‌که دیگر کاربری‌های طبیعی روند کاهشی داشته‌اند.

جدول ۱- وضعیت کاربری زمین‌ها در دهه ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ و تغییرهای آن.

مساحت کاربری‌ها (هکتار)							
دهه	زمین‌های بدون پوشش و متفرقه	زراعت دیم	زراعت آبی	جنگل	مرتع	بستر رودخانه‌ها	پهنه‌های آبی
منطقه‌های مسکونی							
دهه ۸۰	۳۲۸۴۲۹۲۲	۱۱۷۲۵۷۰۹/۳۵	۱۲۹۶۸۱۰۲	۱۴۰۰۴۵۷۱	۸۷۴۸۱۰۹۳	۷۲۸۲۴۲	۱۸۰۴۷۲۳
دهه ۹۰	۲۹۰۴۳۵۱۳	۱۲۸۳۳۷۴۸	۱۵۵۵۳۰۹۰	۱۵۰۴۰۱۰۷	۸۴۸۵۱۶۲۸	۶۸۵۰۶۴	۱۷۶۹۴۹۰
تغییر	کاهش	افزایش	افزایش	افزایش	کاهش	کاهش	کاهش
درصد تغییر	-۱۱/۵۶	۹/۴۴	۱۹/۹۳	۷/۳۹	-۳/۰۰	-۵/۹۲	-۱/۹۵
							۸۷/۹۰

بررسی وضعیت کاربری زمین‌های کل ایران در حوزه‌های آبخیز درجه دو تماب دهه‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰

در دهه ۱۳۸۰ در بیشتر حوزه‌های آبخیز درجه دو به جز حوزه‌های تالش انزلی، سفیدرود هراز، قره‌سو و گرگانرود و هراز قره‌سو که بیشترین کاربری به‌صورت جنگل است، کاربری مرتع، غالب است (جدول ۲). همچنین، وضعیت کاربری در هر حوزه آبخیز درجه دو (در دهه ۹۰) در جدول ۳ نشان داده شده است. بیشترین مساحت کاربری در بیشتر حوزه‌های درجه دو مربوط به مرتع است، به جز حوزه‌های تالش انزلی، سفیدرود هراز و هراز قره‌سو که بیشترین کاربری به صورت جنگل است. در حوزه کویر لوت زمین‌های بدون پوشش و متفرقه و در حوزه قره‌سو گرگانرود بیشترین کاربری به صورت زراعت آبی است.

جدول ۲- مساحت کاربری زمین (هکتار) در حوزه‌های آبخیز درجه دو در دهه ۱۳۸۰

کاربری‌ها								
حوزه درجه دو	زمین‌های متفرقه و بدون پوشش	زراعت دیم	زراعت آبی	جنگل	پهنه‌های آبی	مرتع	بستر آبراهه	مسکونی
ابرکو - سیرجان	۹۶۲۶۶۲	۲۵۲۸	۳۲۳۱۰۴	۱۸۷۰۹۹	۰	۴۲۲۰۴۷۰	۴۸۳۶	۱۱۸۲۸
اترک	۶۸۳	۵۹۳۲۰۷	۱۹۹۲۱۴	۲۸۰۶۴۷	۵۴۹۳	۱۵۴۵۱۴۵	۳۱۳۲	۷۲۹۹
ارس	۱۰۰۳۸۵	۷۷۷۳۴۰	۴۷۰۷۴۰	۱۴۷۹۶۵	۱۲۳۱۱	۲۴۳۰۳۵۰	۴۲۸۳	۱۵۹۴۴
بلوچستان جنوبی	۱۰۴۱۶۴۱	۲۷۰۹۷۶	۴۹۷۴۵	۷۳۳۵۰	۱۷۱۲۵	۳۳۲۱۸۵۴	۴۷۷۵۶	۳۲۳۲
بندرعباس - سدیح	۱۵۵۳۴۶۳	۱۰۰۷	۱۴۲۳۰۶	۳۸۵۷۵۵	۲۹۰۹	۲۲۸۰۹۴۴	۷۹۱۵۹	۲۲۲۹۱
تالش - انزلی	۰	۳۷۷۲۰	۲۲۹۳۱۴	۳۴۰۶۷۸	۱۱۸۱۹	۶۴۲۴۹	۲۱۵۲	۱۶۴۰۸
حله	۱۴۸۳۳۹	۲۶۵۵۲۲	۱۲۱۹۱۷	۵۹۸۳۷۹	۳۶۲۹۷	۹۳۰۲۱۳	۷۱۲۸	۱۵۵۲۵
ارومیه	۱۸۱۳۲۰	۱۰۱۱۲۲۱	۶۷۸۰۷۰	۲۴۶۸۲	۴۶۰۹۰۱	۲۷۶۵۷۷۳	۲۵۳۴	۳۲۲۴۱
دریاچه نمک	۷۶۲۰۷۸	۱۳۷۹۹۹۴	۱۵۷۷۴۸۸	۱۴۲۱۴۸	۲۵۳۵۱۶	۴۹۹۱۶۱۸	۱۴۸۹۲	۱۶۶۶۸۶
سفید رود و هراز	۱۳۹۳	۱۱۴۶۰۷	۱۴۷۵۷۷	۵۰۷۵۵۰	۵۹	۲۹۵۳۱۹	۲۶۶۲	۱۹۹۳۶
سفید رود بزرگ	۹۵۶۸۷	۲۰۹۹۰۲۶	۵۰۴۱۵۲	۱۹۹۵۷۳	۴۲۱۸	۲۹۷۹۱۳۳	۲۴۰۱۰	۱۳۴۵۶
طشک - بختگان و مهارلو	۶۸۳۷۹	۳۴۶۵۴	۷۱۱۵۵۴	۳۶۲۱۶۴	۱۸۳۳۸۲	۱۷۵۹۷۲۲	۳۶۶۰	۲۱۶۷۶
قره سو و گرگانرود	۱۸۱۵	۳۱۳۴۶۷	۲۶۶۴۰۳	۳۸۹۳۱۹	۷۵۲۴	۳۰۵۰۱۲	۵۵۳	۱۴۳۶۳
قره قوم	۳۰۷۴۵	۱۰۷۶۹۳۶	۵۶۷۴۶۵	۳۱۶۷۷۶	۱۰۵۳	۲۳۷۱۰۶۵	۹۵۳۳	۳۲۰۷۶
کارون بزرگ	۲۵۷۴۰۱	۵۷۲۱۴۸	۱۰۶۶۶۹۸	۱۸۹۰۹۵۶	۴۲۶۹۶	۲۷۱۹۱۱۰	۴۴۵۹۷	۷۳۰۳۱
کرخه	۱۳۲۲۲۰	۹۵۲۲۱۵	۷۲۵۷۷۰	۱۲۲۰۲۸۸	۵۸۳۹۶	۲۰۶۰۰۵۱	۱۳۷۰۵	۲۷۷۶۹
کل - مهران	۷۳۵۰۴۸	۱۲۰۸۶	۳۴۷۴۴۶	۹۷۳۸۳۰	۱۹۴۰۹	۴۱۰۳۲۶۱	۶۶۶۵۰	۲۷۰۸۱
کویر لوت	۹۴۵۱۷۰۹	۱۰۰۴۶۰	۲۴۱۰۵۰	۲۵۷۰۳۷	۳۲۲۷	۱۰۵۱۰۸۲۵	۵۷۷۶۴	۱۶۵۲۷
کویر مرکزی	۸۶۶۱۵۶۹	۸۲۳۲۵۲	۱۳۲۸۱۶۳	۶۲۵۳۶۰	۱۰۰۳۱۰	۱۱۰۲۲۵۰۱	۵۴۰۳۷	۳۸۱۱۹
گاوخونی	۸۶۰۴۷۳	۲۲۸۴۳	۴۹۶۷۴۲	۲۸۰۳۶	۵۳۴۹۰	۲۶۰۰۸۶۵	۷۶۷	۸۶۹۱۶
مرزی غرب	۴۷۸۰۰	۳۵۵۰۲۰	۲۱۶۴۰	۱۱۸۴۷۵۱	۵۴۱۰	۲۰۷۷۷۹۲	۲۱۴۶	۹۷۶۷
مند	۳۱۳۸۱۲	۱۲۴۵۱۷	۵۱۵۴۴۰	۸۵۶۶۷۷	۷۲۵۲	۲۹۰۷۰۰۷	۱۲۳	۱۳۰۶۶
نمکزار خواف	۹۵۳۳۹	۱۸۲۷۱۲	۱۳۲۷۲۳	۴۶۲۲۹۰	۸۲	۲۴۱۰۴۰۱	۹۶۱۸	۳۰۹۷
هامون جازموریان	۲۱۳۳۹۶۹	۶۴۱۳	۴۰۳۰۲۲	۳۵۶۲۳۵	۶۹۶۷۱	۳۸۸۸۳۴۲	۷۲۷۵۳	۷۰۷۲
هامون هیرمند	۱۲۹۷۰۶۰	۲۷۱۹۸	۲۲۷۳۰۰	۱۶۷۰۸۷	۱۹۷۲۰۳	۱۳۹۷۹۰۵	۲۳۳۰۴	۸۰۷۶
هامون مشکیل	۸۲۸۴۲۳	۱۷۰۲	۶۶۴۳۰	۲۲۶۳۲	۱۴۶	۲۶۰۲۴۹۸	۸۹۹۲۶	۳۹۶۸
هراز و قره‌سو	۳۳۹۳	۸۵۹۷۳	۴۴۰۸۵۸	۷۰۷۱۳۵	۶۷۴۹	۵۵۲۸۹۲	۸۶	۳۴۲۱۳
هندیجان - جراحی	۳۶۳۸۵۴	۴۶۴۵۱۷	۳۴۹۵۷۹	۱۰۳۱۰۴۶	۱۷۴۴۲۵	۱۶۴۴۶۸۳	۲۲۹۸۴	۲۵۴۹۸
کویر درانجیر	۱۲۳۸۰۳۱	۱۰۴۹	۳۲۶۷۰۷	۶۸۰۳۱	۰	۳۴۰۲۴۲۵	۵۲۰۴	۳۲۵۰۱
کویر سیاه کوه	۱۴۱۱۰۷۷	۰	۸۱۴۸۸	۱۸۳۰۰۷	۰	۳۱۴۸۴۴۲	۰	۳۵۸۹۲

جدول ۳- مساحت کاربری‌های زمین‌های (هکتار) در حوزه‌های آبخیز درجه دو در دهه ۱۳۹۰.

کاربری‌ها								
حوضه درجه دو	زمین‌های متفرقه و بدون پوشش	زراعت دیم	زراعت آبی	جنگل	پهنه‌های آبی	مرتع	بستر آبراهه	مسکونی
ابرکو - سیرجان	۷۸۷۱۸۰	۲۶۱۲۶	۳۸۸۷۹۸	۱۷۶۹۶۱	۸۱۵۹	۴۲۸۳۶۵۸	۱۶۶۸۵	۲۹۳۴۹
اترک	۲۳۶	۴۸۳۳۸۴	۳۸۵۴۵۵	۲۵۲۹۲۰	۱۳۵۴۱	۱۵۱۷۷۷۱	۱۷۲۱	۲۱۴۷۲
ارس	۱۶۰۱۸	۹۱۷۰۲۴	۵۷۴۱۹۷	۱۷۰۶۶۴	۸۲۴۴	۲۲۳۱۸۳۵	۶۲۰۴	۴۴۷۴۲
بلوچستان جنوبی	۱۱۴۷۱۳۶	۱۰۲۹۳	۲۰۷۸۵۹	۲۶۰۱۷۰	۵۲۷۱	۳۲۰۶۱۶۵	.	۲۶۰۰۰
بندرعباس - سدیج	۱۰۸۱۶۵۲	۳۸۳	۲۲۷۸۱۳	۳۵۹۱۴۹	۱۲۸۴۱	۲۶۹۴۲۹۵	۶۶۰۵۸	۳۵۴۰۷
حله	۷۲۹۲۵	۲۷۰۶۶۴	۳۰۲۱۸۶	۵۹۳۰۱۵	۱۸۱۲۸	۸۱۶۱۲۶	۹۲۹۰	۳۶۱۰۳
ارومیه	۲۸۵۹۰۲	۱۲۴۴۸۴۴	۷۵۷۰۱۵	۱۱۵۷۱	۲۷۹۸۵۸	۲۴۹۶۶۳۴	۱۵۲۴۴	۹۳۰۷۵
تالش - انزلی	۶۴۳	۱۰۴۵۹	۱۶۰۹۴۹	۳۷۱۹۶۷	۲۲۵۸۷	۹۲۳۰۵	۳۴۴	۲۱۷۸۸
دریاچه نمک	۴۵۴۰۱۹	۱۴۶۸۸۲۲	۱۹۱۶۶۱۴	۲۰۷۵۰۵	۱۹۴۹۷۴	۴۷۲۳۰۶۲	۱۷۵۰۴	۲۶۳۱۴۴
سفید رود و هراز	۱۰۰۴	۴۵۱۲۳	۱۵۷۰۸۴	۶۰۵۶۵۶	۳۰۲۹	۲۳۹۸۳۶	۱۲۶۷	۳۷۰۸۰
سفید رود بزرگ	۱۸۵۵۰	۲۴۸۲۵۲۹	۴۲۱۹۰۳	۲۸۱۵۸۱	.	۲۶۳۰۳۱۴	۲۰۰۹۸	۴۹۰۷۳
طشک - جنتگان و مهرلو	۳۳۳۸۷	۲۷۱۸۹۹	۶۴۹۲۳۲	۵۶۳۴۴۶	۱۵۸۴۴۲	۱۴۱۹۵۹۳	۵۸۴۹	۵۱۸۲۰
قره سو و گرگانرود	۱۰۹۵	۸۱۳۸۶	۴۹۶۵۱۸	۴۳۶۹۵۰	۶۵۸۸	۲۵۶۲۱۹	۱۶۷۲	۲۹۴۸۴
قره قوم	۲۰۰۴۵	۹۵۸۹۰۵	۶۷۲۸۱۰	۲۰۷۷۶۵	۳۳۲۴	۲۴۱۵۳۱۰	۸۹۷۱	۶۵۷۳۷
کارون بزرگ	۲۸۷۶۲	۶۷۴۳۶۷	۱۱۶۸۲۶۸	۱۷۲۸۱۸۳	۴۵۶۷۲	۲۸۲۸۵۹۲	۴۶۸۱۷	۱۰۱۲۵۹
کرخه	۷۱۲۱۹	۱۱۶۶۹۸۴	۸۸۷۴۸۱	۱۲۲۹۴۶۶	۸۷۱۳۳	۱۶۵۰۴۸۶	۱۱۹۴۵	۵۹۵۹۴
کل - مهران	۴۶۳۳۲۹	۷۶۹۶۴	۴۳۱۷۲۲	۸۷۹۸۷۰	۱۱۰۰۵	۴۲۹۹۵۹۳	۶۳۰۲۲	۵۶۳۳۶
کویر لوت	۱۰۵۰۵۰۰۴	۱۴۹۰۵۳	۲۸۸۷۶۳	۴۱۷۷۰۶	۳۲۹۹	۹۰۹۰۸۰۵	۱۱۴۸۹۲	۲۹۸۵۵
کویر مرکزی	۷۵۵۷۸۹۳	۷۰۱۴۹۳	۱۶۵۸۳۰۲	۷۸۹۳۹۹	۲۶۹۱۹۷	۱۱۵۳۸۶۴۸	۳۲۸۱۰	۷۴۱۶۱
گاوخونی	۳۵۵۰۵۶	۱۲۸۷۵۳	۶۰۴۷۴۸	.	۵۲۸۶۰	۲۸۶۰۰۴۹	۴۴۶۳	۸۸۵۰۱
مرزی غرب	۱۰۷۹۹	۵۳۴۱۸۴	۲۳۵۱۲۶	۱۱۶۲۰۸۳	۱۰۱۵۶	۱۹۳۵۲۵۵	۷۳۴۷	۳۱۷۱۶
مند	۷۳۸۴۱	۳۱۵۴۸۱	۴۹۵۶۰۰	۹۴۹۳۱۲	۴۳۲۹	۲۸۶۶۸۹۱	۳۵۰۷۷	۳۱۸۹۴
نمکزار خواف	۱۱۱۲۵۸	۲۱۲۹۳۸	۱۷۷۰۵۸	۴۴۶۹۶۸	۳۷۲	۲۲۹۴۲۶۳	۴۰۱۳	۱۱۳۱۵
هامون جازموریان	۱۳۵۶۸۱۳	۱۷۱۸۷	۴۱۵۳۰۳	۶۴۲۳۳۲	۸۶۸۷۷	۴۳۵۰۲۰۲	۹۰۴۲۰	۲۶۳۵۹
هامون هیرمند	۹۰۷۱۴۱	۱۵۳۶۳	۲۳۳۳۵۸	۸۳۷۲۱	۹۴۶۹۱	۱۹۹۴۷۰۷	۶۷۷۱	۲۰۱۵۴
هامون مشکیل	۷۰۷۴۹۴	۲۹۷۲۱	۶۲۲۴۹	۱۲۸۰۸۴	۱۱۳۴	۲۶۶۸۴۳۴	۲۴۶۱۰	۱۴۴۳۲
هراز و قره‌سو	۴۱۲۹	۹۲۳۶۶	۳۷۶۴۶۷	۷۶۵۸۷۹	۱۶۰۰۹	۵۱۰۹۲۳	۲۳۰۹	۵۵۸۳۵
هندیجان - جراحی	۱۶۷۱۴۱	۴۳۳۷۹۶	۶۶۸۱۷۴	۹۶۹۸۶۳	۱۶۳۰۲۵	۱۵۹۵۲۱۸	۱۹۴۵۳	۴۹۱۹۰
کویر درانجیر	۱۱۰۲۴۷۶	۱۰۵۸۱	۳۷۴۱۵۵	۱۱۱۷۲۵	۱۲۷۳	۳۳۸۲۳۹۴	۲۱۵۳۰	۴۸۱۴۸
کویر سیاه کوه	۱۶۴۶۰۱۵	.	۱۱۳۷۸۶	۱۷۲۱۱۸	۵۵۱۸۴	۲۸۴۳۲۹۸	۳۴۱۴	۴۶۱۴۳

بررسی پراکنش خندق‌ها در کاربری‌های مختلف زمین در حوزه‌های آبخیز درجه دو تمام در دهه ۱۳۸۰

در جدول ۴ نتایج ترکیب لایه کاربری در سال ۱۳۸۰ در حوزه آبخیز درجه دو تمام و سطح فرسایش خندقی آورده شده‌است. در بیشتر حوضه، بیشترین مساحت فرسایش خندقی مربوط به کاربری مرتع (با مساحت ۲۵۹۹۳۶۹/۷۹) است، درحالیکه در حوضه‌های بندرعباس-سدیج، هامون هیرمند، هامون جازموریان و کویر سیاه کوه بیشترین مساحت فرسایش خندقی مربوط به زمین‌ها بدون پوشش و متفرقه است. همچنین، در حوضه‌های سفیدرود و قره‌قوم زراعت دیم بیشترین مساحت فرسایش خندقی را دارد.

واکاوی وضعیت فرسایش خندقی در ایران و ارتباط آن با تغییر کاربری زمین در بیست و پنج سال گذشته

جدول ۴- مساحت فرسایش خندقی (هکتار) در هر کاربری زمین‌ها در دهه ۱۳۸۰ در حوزه‌های آبخیز درجه دو تماب.

مساحت فرسایش خندقی (هکتار) در کاربری‌های مختلف									
حوضه درجه دو	زمین های متفرقه و بدون پوشش	زراعت دیم	زراعت آبی	جنگل	پهنه‌های آبی	مرتع	بستر آبراهه	مسکونی	مساحت کل فرسایش خندقی
ابر قو - سیرجان	۵۰۳۹	۰	۲۳۴۵	۱۱۹۷	۰	۱۸۷۹۱	۳۰۸	۰	۲۷۶۸۲
اترک	۰	۷۱۸۵۰	۴۶۴۸	۷۸۲۸	۲۱	۳۱۳۲۹۴	۶۵۵	۲۳۹	۳۹۸۵۴۰
ارس	۱۴۵۴	۱۸۷۱۱	۹۰۴	۰	۱۰	۷۵۵۰۲	۰	۸	۹۶۵۹۳
بلوچستان جنوبی	۲۲۹۲۸	۸۰۵۶	۱۱۸	۱۵۴۳	۳۶۵۹	۵۸۰۰۳	۳۶۱	۰	۹۴۶۷۰
بندرعباس - سدیج	۶۹۸۱۷	۰	۱۷۹۴	۲۲۵۸۲	۰	۵۱۴۷۵	۱۵۲۱	۰	۱۴۷۱۹۰
حله	۶۹۸۱۷	۰	۱۷۹۴	۲۲۵۸۲	۰	۵۱۴۷۵	۱۵۲۱	۰	۲۷۳۸۶۶
ارومیه	۲۹۵۹۵	۳۶۹۱۵	۳۱۸۴	۷۲۰۶۹	۹۳	۱۳۱۳۲۴	۳۹۱	۲۹۲	۱۰۴۳۶۰
دریاچه نمک	۱۵۱۷۹	۹۹۱۱	۱۳۳۴۱	۹۲۰	۶۴۲	۶۸۱۳۰	۱۴۱۰	۹۷	۱۰۹۶۳۳
رودخانه‌های بین سفید رود و هراز	۰	۱۲۶۵	۱۱۲	۶۴۱	۰	۶۳۳۱	۰	۱۲	۸۳۶۴
سفید رود بزرگ	۱۳۲۴۱	۱۶۸۲۶۳	۱۱۵۵۱	۶۰۲	۸	۱۴۸۵۲۹	۶۴	۱۸۴	۳۴۲۴۶۷
طشک - بختگان و مهارلو	۵۸۴	۰	۳۷۸۰	۱۳۸	۰	۶۹۵۳	۰	۰	۱۱۴۵۶
قره سو و گرگانرود	۰	۸۷۷۳۷	۱۸۰۷	۳۰۳۶۵	۴۷	۱۸۱۰۷۳	۰	۵۹۹	۳۰۱۶۳۲
قره قوم	۱۳۱۷	۱۴۳۰۲۴	۵۱۴۶	۴۴۷۳	۴۲	۳۱۹۹۶۲	۳۳۹	۱۳	۴۷۴۳۲۰
کارون بزرگ	۰	۴۸۴۸۵	۹۹۹	۱۶۷۸۰	۲۶	۱۰۰۰۶۵	۰	۳۳۱	۱۶۶۶۸۹
کرخه	۱۷۴۷	۲۸۳۵۹	۴۴۷۴	۵۴۵۹۱	۰	۱۱۰۲۶۴	۲	۴۲	۱۹۹۴۸۲
کل - مهران	۱۹۰۰۸	۴	۳۵۸۵	۴۱۷۱	۰	۷۶۰۵۰	۱۴۴	۱	۱۰۲۹۶۶
کویر لوت	۴۱۱۹۳	۱۵۲۰	۱۸۲۹	۳۶۲	۰	۵۳۲۴۶	۰	۱۵۱	۹۸۳۰۴
کویر مرکزی	۱۳۱۴۸۱	۲۱۲۶۷	۹۰۱۱	۲۳۲۴۶	۰	۱۴۴۴۰۳	۳۲۸	۸	۳۲۹۷۴۷
گلوخونی	۱۸۲۷	۰	۱۵۹۶	۰	۰	۶۴۶۹	۰	۵۶	۹۹۵۰
مرزی غرب	۳۸۴۴	۱۶۹۳۸	۹۶۵۸	۵۴۷۰۸	۱۲	۳۳۳۷۲۹	۱۲	۳۴۲	۴۱۹۲۴۶
مند	۱۰۹۲۱	۲۲۱۲	۴۴۳۲	۲۱۰۵۴	۰	۱۱۷۴۵۲	۵۸۸	۹۲	۱۵۶۷۵۴
نمکزار خواف	۱۵۶	۲۲۵۱	۲۰۳۸	۱۲۴۸	۰	۵۰۶۱۸	۳۹	۳۴	۵۶۳۸۷
هامون جازموریان	۵۲۵۱	۰	۳۱۲۷	۸۹	۰	۴۹۱۵	۰	۰	۱۳۳۸۳
هامون هیرمند	۳۰۵۷۱	۰	۰	۰	۱۲۴۹۲	۱۳۵۷	۸۸	۰	۴۴۵۱۱
هراز و قره‌سو	۰	۷۷۰	۵۴۸	۲۸۰۸	۰	۲۰۲۱۳	۰	۲	۲۴۳۴۲
هندیجان - جراحی	۹۲۰۱	۲۸۰۴۹	۱۹۰۷	۲۴۴۳۶۱	۰	۱۲۶۸۴۶	۴۱۹	۳۷۹	۴۱۱۱۶۵
کویر درانجیر	۷۳۷۰	۰	۰	۰	۰	۸۸۰۱	۰	۸	۱۶۱۷۹
کویر سیاه کوه	۱۴۵۹۲	۰	۶۸۲	۴۵۸	۰	۱۴۰۸۶	۰	۸۹	۲۹۹۱۰

بررسی پراکنش خندق‌ها در کاربری‌های مختلف زمین در حوزه‌های آبخیز درجه دو تماب در دهه ۱۳۹۰

در دهه ۹۰ نیز در بیشتر حوزه‌های آبخیز بیشترین مساحت فرسایش خندقی مربوط به کاربری مرتع (با مساحت ۲۶۰۶۷۷۵/۷۲ هکتار) است (جدول ۵). درحوضه بلوچستان جنوبی بیشترین مساحت فرسایش خندقی مربوط به زمین‌ها بدون پوشش و متفرقه است و در حوضه سفیدرود، زراعت دیم بیشترین مساحت فرسایش خندقی را دارد. افشاری (۱۳۹۸) در ارزیابی نقش تغییرهای کاربری زمین‌ها بر توسعه فرسایش خندقی حوضه درب‌خزینه (خوزستان) به این نتیجه دست یافت که بیشترین فرسایش در زمین‌های مرتعی با پوشش ضعیف نسبت به مرتع با پوشش متوسط بوده

نظری سامانی و همکاران

است. گیگلو و قاسمیه (۱۳۹۸) در بررسی تأثیر ویژگی‌های حوضه، نوع کاربری و ژئومورفولوژی بر گسترش خندق در حوضه قوری چای بیان نمودند که بیشترین گسترش فرسایش خندقی در کاربری مرتع بوده است.

جدول ۵- مساحت فرسایش خندقی (هکتار) در هر کاربری زمین در دهه ۹۰ در حوضه‌های درجه دو تماب.

مساحت فرسایش خندقی (هکتار) در کاربری‌های مختلف									
حوضه درجه دو	زمین های متفرقه و بدون پوشش	زراعت دیم	زراعت آبی	جنگل	پهنه‌های آبی	مرتع	بستر آبراهه	مسکونی	مساحت کل فرسایش خندقی
لر قو-سیرجان	۴۲۷۷	۱۴	۴۳۶	۵۲۱	۰	۲۱۴۳۳	۹۸۴	۶	۲۷۶۷۴
اترک	۹۷	۱۰۲۵۹۳	۲۲۲۳۳	۱۸۶۴۶	۲۸۰	۲۵۲۲۴۹	۴۷۶	۷۸۵	۳۹۷۳۶۲
لرس	۲۳۰	۳۱۶۳۶	۱۱۷۳	۶۴	۰	۶۴۰۲۹	۱۸۱	۴۰	۹۷۳۵۷
بلوچستان جنوبی	۴۵۴۹۲	۱۲۹	۶۶۰۶	۷۹۲۰	۲۳۵	۳۵۵۴۷	۳۰	۵۵	۹۶۰۱۸
بندرعباس-سدیج	۴۸۳۵۱	۰	۳۸۹۰	۹۲۲۵	۱۲	۸۵۹۳۳	۱۳۳۲	۱۴۱	۱۴۸۸۸۸
حله	۱۰۰۳۸	۶۱۶۶۸	۱۴۶۷۶	۷۲۳۰۹	۱۰	۱۱۳۶۲۵	۱۰۸۷	۷۸۰	۲۷۴۱۹۵
لرومیه	۶۶	۴۳۰۴۳	۲۹۷۲	۶	۰/۷۷	۵۸۶۸۸	۴۰	۴۱	۱۰۴۸۵۹
دریاچه نمک	۶۳۱۹	۱۸۳۲۲	۱۰۶۸۳	۳۸۷۲	۵۱	۶۹۴۲۰	۸۱۲	۳۵	۱۰۹۵۱۸
سفید رود و هراز	۶۹۸	۳۶۹	۳۲۸	۲۵۳۷	۰	۴۴۱۲	۰	۲۶	۸۳۷۲
سفید رود بزرگ	۶۷۲	۱۸۸۷۹۶	۷۹۴۰	۱۳۳۲	۱۲	۱۴۲۹۰۴	۵۵۳	۶۳۴	۳۴۲۸۴۸
طشک - بختگان و مهارلو	۳۸۳	۲۰۵۲	۱۴۸۲	۲۰۶	۰	۷۰۸۲	۱۸۴	۷۴	۱۱۴۶۵
قره سو و گرگلرود	۷	۶۳۷۴۴	۴۴۰۶۳	۴۳۹۷۰	۵۸۷	۱۴۸۳۰۸	۷	۲۱۰۰	۳۰۲۷۸۹
قره قویم	۶	۱۰۵۲۲۶	۴۳۰۹۵	۴۰۵۸	۵۸	۳۱۷۸۵۰	۲۲۳	۴۶۵	۴۷۰۹۸۵
کلون بزرگ	۴	۳۵۰۱۵	۲۴۲۰۴	۲۴۱۵۳	۳۲۲	۸۱۴۶۷	۴	۱۱۵۴	۱۶۶۳۲۶
کرخه	۸۰۷	۳۸۴۸۶	۶۸۳۶	۵۸۴۸۶	۱۳۰	۹۳۸۱۶	۱۷	۴۳۸	۱۹۹۰۱۹
کل-مهران	۴۳۰	۱۸۴۱	۲۴۷۹	۱۸۴۹۴	۳	۷۹۷۱۷	۴۲۹	۸	۱۰۳۴۰۶
کویر لوت	۴۴۱۸۷	۳۱۲۸	۱۳۲۰	۹۳۸	۰	۴۶۲۱۵	۲۱۲۸	۱۷۹	۹۸۱۰۰
کویر مرکزی	۱۲۱۲۲۸	۹۶۰۱	۲۱۲۸۲	۲۵۳۸۶	۰	۱۵۱۱۰۹	۲۳۲	۱۰۰	۳۲۸۹۴۲
گلخونی	۴۰۵	۰	۱۶۱۹	۰	۰	۷۶۵۷	۲۴۲	۱	۹۹۲۷
مرزی غرب	۱۳۰	۲۵۲۶۹	۱۱۲۴۱	۶۶۸۹۸	۰	۳۱۲۵۴۷	۲۰۸	۶۶۸	۴۱۶۹۶۳
مند	۵۰۴۷	۶۵۵۳	۳۸۲۲	۲۵۱۷۴	۰	۱۱۶۱۳۴	۵۴۴	۲۱	۱۵۷۲۹۹
نمکزار خواف	۴۵۵	۳۱۷۷	۱۶۶۸	۱۲۵۱	۰	۴۹۳۳۴	۳۲	۳۲۷	۵۶۲۴۶
هلمون جازموریان	۱۳۴۰	۵۶۱	۱۵۱۹	۸۱۷	۰	۹۱۴۰	۳۲	۰/۱۸	۱۳۴۱۰
هلمون هیرمند	۱۰۲۷۴	۰	۰	۰	۳۰۲	۳۳۸۵۲	۱۴	۰	۴۴۴۴۳
هراز و قرمسو	۵۶۳۰	۰	۰	۰	۱۶۵	۱۸۵۵۱	۷	۰	۲۴۳۵۶
هندیچل-جراحی	۲۷۲	۲۹۶۱۲	۶۷۶۱	۱۰۳۹۴۷	۰	۲۶۹۲۰۴	۰	۸۶۲	۴۱۰۶۶۰
کویر درنجیر	۷۷۶۹	۰	۰	۱۱	۰	۸۲۳۳	۱۳۱	۰	۱۶۱۴۴
کویر سیاه کوه	۲۰۳۶۲	۰	۷۰۰	۴۰۶	۰	۸۳۰۵	۰	۳۳	۲۹۸۰۸

ضریب نسبت تراکمی فرسایش خندقی در کاربری‌های مختلف زمین‌ها در دهه ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰

به دلیل ایجاد خطای ناشی از مقایسه داده‌های مطلق برای تعیین تأثیرگذاری کاربری سرزمین و همچنین اولویت‌بندی حوزه‌آبخیز درجه دو نیاز است تا بر اساس شاخص ترکیبی همچون شاخص نسبت تراکمی عمل شود. با وجود این که بر پایه شاخص مساحت مطلق بیشترین خندق‌ها در زمین‌های مرتعی شناسایی شدند، در هر دو دهه ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰ بر پایه شاخص نسبت تراکمی فرسایش خندقی، کاربری‌های بسترآبراهه و بایر و زمین‌های متفرقه (شامل زمین‌های شور، زمین‌های پست بیابانی بدون پوشش گیاهی و دارای نمک‌های بسیار زیاد، شکل‌های مختلف زمین‌های ماسه‌ای، دق‌های

رسی در حاشیه کویر و زمین‌های بدون پوشش) در بیش از ۵۰٪ حوزه آبخیز به عنوان کاربری‌های تأثیرگذار شناخته شدند. کاربری‌هایی مانند بسترآبراهه و زمین‌های بایر به دلیل نبود پوشش گیاهی و مناسب بودن شرایط، بیشترین تراکم فرسایش خندقی را به خود اختصاص داده‌اند و نیاز به توجه و مدیریت سریعتری دارند. این یافته نشانگر این است که بسیاری از خندق‌های موجود در ایران در زمین‌های حاشیه و کنار رودخانه‌ها تشکیل یافته‌اند و قابلیت انتقال سریع رسوب را دارند. بر پایه بررسی‌های انجام شده، خندق‌های کناری یکی از فعالترین بخش‌های فرسایش خندقی هستند و سهم بسیار زیادی در تولید رسوب دارند، به طوری که در برخی از منطقه‌ها، مقدار رسوب تولیدی آن‌ها چندین برابر دیگر خندق‌ها گزارش شده است (Shi et al., 2022; Vanmaercke et al., 2016). برپایه پژوهش‌های انجام شده نقش خندق‌های کناری در تولید رسوب شش برابر دیگر انواع خندق‌ها است. بنابراین، تخریب خاک و رسوب آن‌ها در کمترین زمان، تحویل شبکه زهکش می‌شود و موجب افزایش بار رسوبی رودخانه‌ها و در نتیجه ته‌نشست بیشتر رسوب در مخزن‌های آبی پایین دست خواهند شد. نتایج پژوهش اسدی نلیوان و همکاران (۱۴۰۲) نیز نشان دادند که در میان انواع کاربری‌ها، مسیل‌ها، مرتع فقیر و کاربری کشاورزی، دارای بیشترین حساسیت فرسایش خندقی هستند. این درحالی است که منطقه‌های جنگلی دارای کمترین مقدار حساسیت به این فرسایش بوده‌اند.

تغییر کاربری زمین‌ها در منطقه‌های خندقی شده از دهه ۱۳۸۰ به ۱۳۹۰ و تشکیل ماتریس انتقال

تغییر کاربری زمین یکی از عامل‌های مهم و کارا در رخداد فرسایش خندقی می‌باشد. در یک بررسی، کاربری زمین‌ها را به عنوان عامل اصلی فرسایش خندقی در منطقه‌های نیمه گرمسیری مطرح کردند (Li et al., 2021). پژوهشگران دیگر نیز تغییر کاربری را بسیار مهمتر از دیگر عامل‌ها در گسترش خندق‌ها می‌دانند (Galang et al., 2007; Grace 2004). برای تعیین نقش مدیریت کاربری زمین بر مساحت خندقی شده، از ماتریس انتقال کاربری زمین‌ها بهره‌گیری شد. همان‌گونه که در جدول ۶ مشخص است در منطقه‌های خندقی شده، بیشترین مساحت تغییر کاربری در دهه ۱۳۸۰ به ۱۳۹۰ مربوط به کاربری مرتع به زراعت دیم و تغییر کاربری جنگل به زراعت دیم و مرتع و همچنین زراعت دیم به مرتع بوده است. دلیل درصد زیاد زراعت دیم به مرتع، وجود خطا و نبود تشخیص و تفسیر درست داده‌های ماهواره‌ای است که بسیاری از زمین‌های دیم رها شده، مرتع در نظر گرفته شده است. شادفر و صوفی (۱۴۰۴) در بررسی دلیل گسترش فرسایش خندقی و خسارت‌های ناشی از آن در ایران بیان کردند که در مقایسه کاربری‌های قدیم و جدید که در منطقه‌های خندقی رخ داده است، ۵۵٪ از خندق‌ها در اثر تغییر کاربری مرتع به زراعت دیم ایجاد شده‌اند. پرخطرترین تغییر کاربری از نظر شروع یا تشدید فرسایش خندقی، تبدیل بستر آبراهه‌ها و پهنه‌های آبی به زمین‌های متفرقه و بدون پوشش است. این منطقه‌ها به دلیل تمرکز طبیعی جریان آب، حتی با درصد مساحت کم، خطر خندقی بسیار زیادی دارند. دومین سطح خطر مربوط به تبدیل زراعت آبی و مرتع به زمین‌های بدون پوشش است. نرخ زیاد تبدیل پهنه‌های آبی به مرتع (۶۰/۳۷٪)، نشان از خشک شدن تدریجی منابع آبی دارد. بنابراین، انتظار می‌رود بیشتر خندق‌ها در حاشیه آبراهه‌ها، پهنه‌های آبی خشک شده و زمین‌های دارای مرتع‌های تخریب شده متمرکز باشند.

بررسی همبستگی بین فرسایش خندقی و کاربری زمین

رابطه بین کاربری‌های مختلف با مساحت نسبی و مطلق فرسایش خندقی در دهه‌های ۸۰ و ۹۰ در حوزه آبخیز درجه دو از رهیافت رگرسیون‌گیری به روش گام به گام در سطح معنی‌داری ۵٪ بررسی شد. در میان کاربری‌ها، رابطه بین

نظری سامانی و همکاران

کاربری زمین‌های دیمزار و مساحت مطلق و نسبی فرسایش خندقی معنی‌دار شده است که فاکتورهای خطای استاندارد و ضریب تبیین در جدول ۷ و ضریب‌های مدل در جدول ۸ آورده شده‌اند.

جدول ۶- درصد تغییر کاربری از دهه ۱۳۸۰ به دهه ۱۳۹۰.

کاربری ۹۰ کاربری ۸۰	زمین‌های متفرقه و بدون پوشش	زراعت دیم	جنگل	زراعت آبی	پهنه آبی	مرتج	بستر آبراهه	منطقه مسکونی	جمع
زمین‌های متفرقه و بدون پوشش	۵۱/۰۲	۲/۷۹	۳/۹۹	۱/۷۵	۰/۰۴	۳۹/۶۱	۰/۶۸	۰/۱۱	۱۰۰/۰۰
زراعت دیم	۰/۷۴	۵۶/۳۸	۳/۰۸	۱۴/۱۰	۰/۱۱	۲۵/۱۲	۰/۱۱	۰/۳۵	۱۰۰/۰۰
جنگل	۰/۷۵	۴/۱۱	۷۵/۱۴	۱/۳۲	۰/۰۰	۱۸/۴۲	۰/۱۶	۰/۰۹	۱۰۰/۰۰
زراعت آبی	۲/۴۷	۲۲/۰۶	۲/۸۹	۳۰/۸۷	۰/۰۲	۴۰/۶۶	۰/۵۱	۰/۵۱	۱۰۰/۰۰
پهنه آبی	۳۴/۷۲	۰/۶۵	۲/۲۸	۰/۵۶	۱/۳۹	۶۰/۳۷	۰/۰۰	۰/۰۳	۱۰۰/۰۰
مرتج	۳/۲۹	۱۱/۶۰	۵/۷۵	۲/۹۸	۰/۰۲	۷۶/۰۴	۰/۲۰	۰/۱۱	۱۰۰/۰۰
بستر آبراهه	۹/۵۳	۶/۴۶	۴/۱۳	۱۱/۴۲	۰/۴۴	۵۱/۰۰	۱۶/۹۱	۰/۱۱	۱۰۰/۰۰
منطقه مسکونی	۲/۸۹	۱۷/۹۷	۶/۵۱	۱۲/۱۵	۰/۰۲	۲۳/۴۹	۰/۰۵	۳۶/۹۱	۱۰۰/۰۰
جمع	۷/۳۹	۱۷/۰۲	۱۴/۲۰	۵/۰۲	۰/۰۴	۵۵/۸۸	۰/۲۷	۰/۱۸	۱۰۰/۰۰

جدول ۷- شاخص‌های آماری حاصل از رابطه بین مساحت مطلق و نسبی خندق‌ها و درصد زمین‌های دیمزار در دهه ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰.

مدل (رگرسیون گام به گام)	خطای استاندارد	ضریب تبیین	معنی‌داری
مساحت مطلق خندق‌ها ۱۳۸۰	۸۹۸۷۰/۹۶	۰/۳۰	۰/۰۰۲
مساحت نسبی خندق‌ها ۱۳۸۰	۲/۸۰	۰/۳۰	۰/۰۰۲
مساحت مطلق خندق‌ها ۱۳۹۰	۹۱۷۷۰/۳۵	۰/۲۷	۰/۰۰۴
مساحت نسبی خندق‌ها ۱۳۹۰	۲/۸۶	۰/۲۷	۰/۰۰۴

جدول ۸- ضریب‌های رگرسیون مساحت مطلق و نسبی خندق‌ها و درصد زمین‌های دیمزار در دهه‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰.

مدل	پارامترهای مدل	ضریب مدل	ضریب خطای استاندارد
۱	مساحت مطلق خندق‌ها ۱۳۸۰	۵۴۳۸۹/۷۱	۲۴۴۸۹/۴۶
۲	مساحت نسبی خندق‌ها ۱۳۸۰	۱۹/۱۵	۵/۶۲
۳	مساحت مطلق خندق‌ها ۱۳۹۰	۵۴۱۸/۹۷	۱۷۳۲/۲۲
۴	مساحت نسبی خندق‌ها ۱۳۹۰	۰/۱۶	۰/۰۵

با توجه به ضریب خطای استاندارد رگرسیون، مقدار آن در دهه ۱۳۸۰ حدود ۱۰۰ برابر دهه ۱۳۹۰ است. از اینرو، با توجه به زیاد بودن خطا، تفسیرها بر اساس الگوی حاصل از داده‌های دهه ۱۳۹۰ انجام شد. نتایج نشان دادند که برای هر دو متغیر مساحت مطلق و مساحت نسبی خندق‌ها، متغیر زمین‌های دیمزار، معنی‌دار است و نتیجه ضریب‌های مدل‌سازی رگرسیونی در جدول ۸ نشان داده شده است. بر پایه نتایج با افزایش ۱٪ مساحت کاربری دیمزار در مقیاس حوزه آبخیز درجه دو، مقدار مساحت مطلق و نسبت مساحت فرسایش خندقی به ترتیب ۶۹۳۲۹/۶۹ هکتار و ۲٪ افزایش خواهد داشت.

نتیجه گیری

واکاوی مکانی-زمانی تغییر کاربری زمین و ارزیابی کمی خطر فرسایش خندقی در سطح کشور، از محورهای اساسی در تدوین راهبردهای مدیریت پایدار منابع طبیعی و حفاظت از سرمایه‌های خاک و آب در حوزه آبخیز به شمار می‌رود. یافته‌های پژوهش حاضر به روشنی نشان می‌دهند که الگوهای ناپایدار بهره‌برداری از عرصه‌های طبیعی، به ویژه گسترش فزاینده زمین‌های دیمزار و کاهش پوشش مرتعی نه تنها تعادل هیدرولوژیک و پایداری مکانیکی خاک را مختل می‌کند، بلکه با افزایش ضریب رواناب و کاهش نفوذپذیری، بستر فیزیکی لازم برای شکل‌گیری و توسعه خندق‌ها را تشدید کرده است. مقایسه کاربری زمین‌ها دو دهه ۸۰ و ۹۰ نشانگر این است که افزایش مساحت کاربری‌های دیمزار، زراعت آبی، جنگل و منطقه‌های مسکونی، بیشتر از راه تبدیل زمین‌های مرتعی و جنگلی صورت پذیرفته که این موضوع بیانگر روند نگران‌کننده تخریب سرزمین است. اگرچه کاربری مرتع در دهه‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۹۰، به ترتیب با مساحت‌های ۱۸۶۷۵۱۱/۱۱ و ۱۷۸۹۹۱۷/۹۵ هکتار، بیشترین سطح مطلق زیر تأثیر فرسایش خندقی را به خود اختصاص داده است، واکاوی شاخص نسبت تراکم فرسایش خندقی، نشان داد که کاربری‌های حساستری مانند بستر آبراهه و زمین‌های متفرقه، از آسیب‌پذیری نسبی بسیار بیشتری برخوردارند، به گونه‌ای که حتی با وجود وسعت محدود، استعداد زیادی برای وقوع و گسترش شدید فرسایش خندقی دارند. بنابراین، اولویت‌بندی اقدام‌های تنها بر اساس وسعت کاربری، گمراه‌کننده بوده و باید شاخص تراکم نیز در برنامه‌های حفاظت خاک در نظر گرفته شود. وجود رابطه معنی‌دار و مستقیم بین زراعت دیم و افزایش مساحت (مطلق و نسبی) فرسایش خندقی است که لزوم بازنگری در سیاست‌های توسعه این نوع کشاورزی در سرزمین‌های حساس را آشکار می‌کند. پژوهش حاضر نشان می‌دهد که فرسایش خندقی پدیده‌ای است که به‌طور کامل وابسته به نوع کاربری زمین است و تغییرهای در پوشش زمین می‌تواند به‌عنوان عامل تشدیدکننده عمل کند. گسترش خندق‌ها از یک‌سو موجب تخریب و زوال خاک می‌شود و از سوی دیگر، به دلیل تغییر سیمای سرزمین و تکه تکه شدن آن موجب از دسترس خارج شدن بخش وسیعی از زمین و همچنین تسریع تخلیه مقدار آب خاک آن می‌شود، به طوری که بر پایه بررسی‌های انجام شده، خندق‌ها مقدار آب خاک را تا محدوده ۲۰ متری پیرامون خود زیر تأثیر قرار می‌دهند. در حقیقت، از یک‌سو زمین‌ها کشت‌پذیر کاهش می‌یابند و از سوی دیگر در زمین‌ها باقی‌مانده نیز به دلیل تخلیه مقدار آب خاک، مقدار تولید کاهش می‌یابد. همچنین، فرسایش خندقی با کاهش معنی‌دار مقدار آب خاک در زمین‌های دیم و مرتعی، موجب تشدید خشکی خاک، تضعیف پوشش گیاهی و کاهش ظرفیت تولید این زیست‌بوم‌ها می‌شود، به طوری که اثر این پدیده در دیمزارها، به دلیل وابستگی مستقیم تولید به آب ذخیره‌شده در خاک، محسوس‌تر و مخرب‌تر است. همچنین در زمین‌های آبیزار نیز با تخلیه سریع‌تر رطوبت خاک نیاز به آبیاری بیشتر خواهد شد. بنابراین، برای ارزیابی درجه آسیب‌پذیری به فرسایش خندقی، سطح گسترش خندق‌ها در کاربری‌های کشاورزی و دیمزار از مهمترین شاخص‌های ارزیابی پایداری حوزه آبخیز است. بنابراین، برای کاهش روند تخریب، تدوین و اجرای سیاست‌های آمایشی جامع در سطح ملی و حوضه‌ای، تغییر الگوی کشت در منطقه‌های آسیب‌پذیر، احیا و حفاظت فعال مرتع‌ها و جنگل‌ها و اعمال مدیریت یکپارچه حوزه آبخیز با تأکید بر کنترل رواناب و تثبیت خندق‌های موجود، ضروری است. یافته‌های بررسی حاضر، با ارائه چارچوبی بر پایه شاهدهای مکانی و آماری، می‌تواند پایه‌ای برای برنامه‌ریزی‌های کلان منابع طبیعی و تصمیم‌سازی در راستای افزایش تاب‌آوری سرزمین و نیل به هدف‌های توسعه پایدار قرار گیرد. پیشنهاد می‌شود با توجه به اثر کاربری زمین بر فرسایش خندقی، الگوسازی پیش‌بینی فرسایش خندقی در سناریوهای مختلف تغییر کاربری انجام

شود و همچنین بررسی تأثیر ترکیب عامل‌های طبیعی و انسانی بر فرسایش خندقی بررسی شود. از آنجائی که بررسی جاری بر پایه به‌روز رسانی و یکپارچه کردن پژوهش‌ها و بررسی‌های گذشته است بنابراین در عمل، نیاز است تا برای به‌دست آوردن سطح و نقشه دقیق فرسایش خندقی در آینده برنامه پایش این شکل حاد فرسایش خاک مورد توجه قرار گیرد.

منابع

- احمدی، حسن. (۱۳۸۶). ژئومورفولوژی کاربردی، جلد اول، فرسایش آبی. انتشارات دانشگاه تهران.
- اسدی نلیوان، امید؛ رابط، علیرضا؛ وکیلی تجربه، فرزانه؛ رضانی، مرضیه؛ مومنی، محمد؛ حیدری، کهزاد. (۱۴۰۲). پهنه‌بندی حساسیت فرسایش خندقی با استفاده از مدل‌های ANN، CART و RF. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۵ (۲)، ۱۵۵-۱۷۱.
- افشاری، مریم. (۱۳۹۸). ارزیابی نقش تغییرات کاربری زمین‌ها بر توسعه فرسایش آب‌کنندگی حوضه در خزینه مریم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد.
- سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور. (۱۳۸۳). نقشه پوشش گیاهی ایران.
- سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور. (۱۳۹۹). نقشه پوشش گیاهی ایران.
- شادفر، صمد و صوفی، مجید. (۱۴۰۴). علت‌های گسترش فرسایش خندقی و خسارت‌های ناشی از آن در ایران. پژوهش‌های آبخیزداری، ۸۳-۹۷.
- صفاری، امیر؛ کرم، امیر؛ شادفر، صمد؛ احمدی، مهدی. (۱۳۹۸). تأثیر ویژگی‌های خاک بر مورفولوژی و گسترش فرسایش خندقی: مطالعه موردی حوضه رودخانه مهران، لامرد، فارس. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱۸ (۱)، ۱۳۰-۱۴۶.
- عبداله‌پور، زهرا. (۱۴۰۵). ارزیابی ریسک فرسایش خندقی بر پایه یادگیری ماشین. رساله دکتری، دانشگاه تهران.
- فریدگیلو، بهنام؛ قاسمیه، هدی. (۱۳۹۸). تأثیر خصوصیات حوضه، نوع کاربری و ژئومورفولوژی بر گسترش خندقی. مجموعه مقالات چهاردهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ارومیه.
- نظری سامانی، علی اکبر. (۱۳۹۶). بررسی مکانیسم‌های مؤثر در فرسایش خندقی به‌منظور تعیین آستانه‌های توپوگرافی، رواناب و سهم رسوب ناشی از آن. رساله دکتری، دانشگاه تهران.
- Arikpo, J.J. (2024). The influence of human activity and environmental factors on gully erosion. *INOSR Experimental Sciences*, 13(1), 80–85.
- Chen, Y., De Geeter, S., Poesen, J., Matthews, F., Campforts, B. et al. (2025). Global patterns of gully occurrence and their sensitivity to environmental changes. *International Soil and Water Conservation Research*, 14(1), Article, 100572.
- Castillo, C. & Gómez, J.A. (2016). A century of gully erosion research: Urgency, complexity and study approaches. *Earth-Science Reviews*, 160, 300–319.
- Dimal, Mary O.L. (2015). Integrating participation in estimating soil's economic value. *International Journal of Multidisciplinary Sciences and Engineering*, 1–9.
- Galang, M.A., Markewitz, D., Morris, L.A. & Busselli, P. (2007). Land use change and gully erosion in the Piedmont region of South Carolina. *Journal of Soil and Water Conservation*, 62, 122–129.
- Grace, J.M. (2004). Soil erosion following forest operations in the Southern Piedmont of central Alabama. *Journal of Soil and Water Conservation*, 59, 180–185.
- Hazelton, P. & Clements, A. (2014). *Urban soil and the challenges of restoring natural ecosystems*. In: Urban soils and their management (pp. 203–210). Springer.

- Li, M., Li, T., Zhu, L., Meadows, M.E., Zhu, W. & Zhang, S. (2021). Effect of land-use change on gully erosion density in the black soil region of Northeast China from 1965 to 2015: A case study of Kedong County. *Frontiers in Environmental Science*, 9, Article 684625.
- Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G., & Valentin, C. (2003). Gully erosion and environmental change: Importance and research needs. *Catena*, 50(2–4), 91–133.
- Prosser, Ian P. & Winchester, Sally J. (1996). History and processes of gully initiation and development in Australia. *Zeitschrift für Geomorphologie Supplementband*, 105, 91–109.
- Sidle, R.C., Jarihani, B.K., Salim L.I., Koci, J. & Al-Shaibani, A. (2019). Hydrogeomorphic processes affecting dryland gully erosion: Implications for modelling. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 43(1), 46–64.
- Shi, Q., Wang, W. & Guo, M. (2022). Headcut erosion characteristics revealed through simulated rainfall and scouring experiments in the gully region of the Loess Plateau. *Journal of Soil and Water Conservation*, 77(2), 172–183.
- Soufi, M., Bayat, R. & Charkhabi, A. (2020). Gully erosion in Iran: Characteristics, processes, causes, and land use. In: *Gully erosion studies from India and surrounding regions* (pp. 357–368). Springer.
- Valentin, C., Poesen, J. & Li, Y. (2005). Gully erosion: Impacts, factors and control. *Catena*, 63(2–3), 132–153.
- Vanmaercke, M., Poesen, J., Van Mele, B., Demuzere, M., Bruynseels, A. *et al.* (2016). How fast do gully headcuts retreat? *Earth-Science Reviews*, 154, 336–355.
- Zhang, S., Guo, M., Liu, X., Chen, Z., Zhang, X., Xu, J.Z. & Han, X. (2023). Historical evolution of gully erosion and its response to land-use change during 1968–2018 in the Mollisol region of Northeast China. *International Soil and Water Conservation Research*, 11(4), 703–715.

Analysis of the Gully Erosion Status in Iran and its Relationship with Land Use Changes Over the Past Twenty Five Years

Nazari Samani, A.A.,¹ Abdollahpour, Z. and Arab Khedri, M.²

Gully erosion is among the most severe forms of land degradation. Yet at large spatial scales, its relationship with land-use patterns has rarely been assessed, using a comparative approach. This study evaluated the effects of different land-use types on gully erosion expansion across second-order basins of the Iranian Water Resources Research Organization during the 2000s and 2010s. This scale was selected because of the critical role of watersheds in erosion management and the availability of reliable spatial datasets. Gully locations were identified using Google Earth imagery, existing databases, and field surveys, and were overlaid with land-use maps for both decades. Stepwise regression analysis was applied to examine the relationships between absolute and relative gully erosion areas and land-use categories. The results showed that the total updated gully-eroded area in Iran reached approximately 4.47 million hectares. During the 2010s, the extent of dryland farming, irrigated agriculture, forests, and residential areas increased. In both decades, rangelands contained the largest absolute gully erosion area, covering 1867511 ha in the 2000s and 1789917 ha in the 2010s. However, based on the concentration ratio index, the highest erosion intensity occurred in river margins, stream channels, and miscellaneous lands. A significant positive relationship was identified between dryland farming and both absolute and relative gully erosion areas. Overall, the findings confirm a strong dependence of gully erosion on land-use type. Dryland farming areas, stream channels, degraded rangelands, and barren lands were recognized as the most vulnerable land uses, while the Qareh-Qom watershed was identified as the highest management priority among Iran's second order basins.

Key words: Dryland farming, Irrigated agriculture, Land degradation, Rangeland.

1. Corresponding author's Email: aknazari@ut.ac.ir

2. Professor of University of Tehran (Associate member of Academy of Sciences of I.R. Iran), Ph.D. Student of University of Tehran and Professor of Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, respectively.