

عوامل مورفومتریک گسترش فرسایش خندقی و پهنه‌بندی اقلیمی آن در استان کرمانشاه

خسرو شهبازی^{۱*}، یحیی پرویزی^۲ و مهین کله‌هوئی^۳

^۱ دانشیار مؤسسه تحقیقات جنگل و مرتع، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، ^۲ دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران و ^۳ دانشجوی دکتری، علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۹

چکیده

فرسایش خندقی سهم زیادی در تخریب سرزمین دارد. بنابراین، شناسایی عوامل تشدیدکننده و پیش‌بینی مناطق حساس به آن امری ضروری است. تحقیق حاضر، با هدف تعیین توزیع مکانی و اقلیمی عرصه‌های خندقی در استان کرمانشاه و شناخت ویژگی‌های مورفولوژیک و عوامل اصلی گسترش آن‌ها انجام شده است. ابتدا، با استفاده از عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰، مناطق عمدتاً خندقی استان مشخص و سپس، این اطلاعات با استفاده از عملیات میدانی تصحیح شد. محدوده‌های اقلیمی مناطق خندقی، با استفاده از نقشه‌های موجود و به‌روش دومارتن اصلاح‌شده مشخص شد. در هر اقلیم یک تا سه منطقه خندقی به‌عنوان هدف تعیین و در هر یک از آن‌ها یک خندق معرف و دو تکرار شناسایی و با عملیات میدانی و بازدید میدانی شناسنامه خندق‌ها تکمیل شد. این مشخصات شامل موقعیت، تیپ اراضی، ابعاد در سر بالاکنند در فواصل ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد از بالاکنند، طول، نیم‌رخ و پلان عمومی خندق بوده است. نتایج نشان داد که حدود ۱۷ درصد استان تحت تاثیر فرسایش خندقی قرار دارد. خندق‌ها در هشت اقلیم استان و عمدتاً در تیپ اراضی تپه و دشت‌های دامنه‌ای و عمدتاً با مقطع دوزنقه‌ای و پلان عمومی پنجه‌ای و نیم‌رخ پیشانی عمودی و در سازندهای تبخیری گروه فارس پراکنش دارند. پهنه‌های خندقی سرفیروزآباد، سومار و جبارآباد بیشترین میانگین عرض بالا، پایین و عمق خندق را در میان سایر پهنه‌های خندقی دارند. در بین عوامل موثر در ایجاد و گسترش خندق، می‌توان به شدت بارندگی، شیب، فرسایش‌پذیری خاک به‌عنوان عوامل طبیعی و تخریب پوشش گیاهی بالادست حوضه، تغییر کاربری و بهره‌برداری نامناسب به‌عنوان عوامل انسانی در گسترش فرسایش خندقی اشاره داشت.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌های خندقی، تغییر کاربری، توزیع مکانی، عوامل انسانی، عوامل طبیعی

مقدمه

برای تولید محصولات کشاورزی را به‌دنبال دارد و سبب افزایش فشار غیراصولی در منابع خاک و آب می‌شود (Zarei و همکاران، ۲۰۱۸). تخریب و فرسایش خاک، یکی از بزرگ‌ترین تهدید این منبع حیاتی به‌شمار می‌رود (Ahmadi، ۲۰۰۶). فرسایش آبی سهم عمده‌ای

جمعیت جهان با رشد ۱/۸ درصد در حال افزایش است و بر اساس پیش‌بینی تا سال ۲۰۲۵ این جمعیت

مناطق اقلیمی مستعد (نظیر نواحی با سامانه‌های اقلیمی مدیترانه‌ای مانند مناطق زاگرس مرکزی و شمالی) خواهد شد (Parkner و همکاران، ۲۰۰۷؛ Vente و همکاران، ۲۰۰۸؛ Wani و Sudi، ۲۰۰۶). خاک‌ها و سازندهای مقاوم در برابر فرسایش، به آستانه توپوگرافی بیشتری برای ایجاد فرسایش خندقی نیاز دارند (Valentin و همکاران، ۲۰۰۵). Svoray و همکاران (۲۰۰۹)، نشان دادند که چنانچه سطح زمین لخت و بدون پوشش بماند، سبب کاهش آستانه توپوگرافی فرسایش خندقی می‌شود. Imeson و همکاران (۱۹۸۰) خندق‌ها را بر اساس شکل مقطع عرضی و موقعیت در زمین منظر به چهار رده طبقه‌بندی کرده‌اند. آن‌ها نتیجه گرفته‌اند که خندق‌های V شکل به وسیله فرایند رواناب سطحی و انواع U شکل آن‌ها به وسیله فرایندهای زیر سطحی و یا سطحی ایجاد می‌شوند.

مطالعات Rey (۲۰۰۳)، نشان داد که پوشش گیاهی موجود در دیواره و کف خندق به میزان ۳۳ درصد باعث کاهش فعالیت و در حد ۵۰ درصد باعث توقف فعالیت خندق‌ها می‌شود. Marden و همکاران (۲۰۱۲)، در تحقیق خود در شمال نیوزلند نشان دادند که جنگل‌کاری و کشت درختان بومی، بروز و شدت فرسایش خندقی را تا ۲۷ درصد کاهش خواهد داد. Solomon Ehiz و Omougbo (۲۰۱۳)، در ارزیابی عوامل موثر در توسعه خندق، عواملی چون زهکشی نامناسب انتهایی، محتوای کم رس، توپوگرافی، فقدان پوشش گیاهی و کمبود مواد آلی خاک از عوامل موثر ایجاد و توسعه خندق است.

Zanjani و همکاران (۲۰۱۳)، در بررسی شکل اقلیم‌شناسی خندق‌ها در استان زنجان، بیان داشتند که عوامل فرسایش‌پذیری خاک تخریب پوشش گیاهی و کاربری اراضی نقش مهمی در گسترش خندق‌ها داشته است. همچنین، عوامل انسانی می‌تواند یکی از عوامل موثر بر خندقی شدن اراضی باشد (Roblesa، ۲۰۱۰). Soleimanpour و همکاران (۲۰۱۵)، در بررسی فرایند غالب در گسترش خندق‌ها در اقلیم‌های متفاوت در استان فارس، نشان دادند که در اقلیم‌های خشک بیابانی سرد، خشک بیابانی معتدل، فرایند غالب موثر در گسترش خندق‌ها رواناب سطحی و در اقلیم‌های خشک

از فرسایش خاک را تشکیل می‌دهد و در بین انواع آن، فرسایش خندقی بیش‌ترین عامل فرسایش و تولیدکننده رسوب در حوضه‌ها است (Morgan و همکاران، ۱۹۹۸؛ Posesen و همکاران، ۲۰۰۳؛ Ebrahimi، ۲۰۱۸). فرسایش خندقی نقش مهمی در گل‌آلودگی منابع آب پایین‌دست و هدررفت عناصر غذایی خاک دارد (Posesen و همکاران، ۲۰۰۳؛ Ebrahimi، ۲۰۱۸). تشدید این فرسایش بر اثر فعالیت‌های انسانی نظیر تغییر کاربری اراضی، کشاورزی غیراصولی، چرای زیاد دام، جنگل‌زدایی صورت می‌گیرد (Rahi و همکاران، ۲۰۲۱) اگرچه فرسایش خندقی کم‌تر از پنج درصد حوزه‌های آبخیز ایران را تحت تاثیر قرار می‌دهد، ولی با توجه به شرایط مختلف، می‌تواند از ۱۰ تا ۹۴ درصد کل فرسایش یک حوضه را شامل شود (Shirani، ۲۰۲۱). علاوه بر این، هزینه بسیار زیادی برای کاهش گسترش خندق‌ها صرف می‌شود و برای رفع چنین پدیده‌ای زمان طولانی نیاز است.

عوامل متعددی از جمله خاک، زمین‌شناسی (Valentin و همکاران، ۲۰۰۵)، پارامترهای اقلیمی هیدرولوژیکی، کاربری اراضی، پوشش گیاهی و شاخص‌های توپوگرافی (Conoscenti و همکاران، ۲۰۱۸) بر گسترش فرسایش خندقی نقش دارند. Nyssen (۲۰۱۱) احداث جاده و تمرکز رواناب سطحی در اراضی مرتفع اتیوپی را علت افزایش سهم فرسایش خندقی از ۳۳ به ۵۵ درصد ذکر کرده است. ویژگی‌های خاک و فرسایش‌پذیری آن، از دیگر عوامل موثر بر توسعه خندق است. هرچه مقدار سیلت بیشتر باشد، به همان نسبت خطر خندقی شدن اراضی افزایش می‌یابد. کاهش مواد آلی، پایداری ساختمان خاک را کاهش داده و با کاهش نفوذپذیری، افزایش رواناب و نهایتاً افزایش خطر فرسایش خندقی دور از انتظار نخواهد بود. مطالعات محلی در ایران نشان داد که معمولاً مناطق مارنی نسبت به فرسایش خندقی آسیب‌پذیرتر هستند (Baladeh و همکاران، ۲۰۱۳). زیرا این مناطق، معمولاً به دلیل مواد قابل انحلال از قبیل نمک‌ها، سدیم و مقدار زیاد رس با ایجاد شکاف و فرسایش تونلی همراه هستند (Diaz و همکاران، ۲۰۰۶). فعالیت‌های انسانی به‌ویژه شخم غلط و تخریب پوشش گیاهی منجر به آغاز جریان سطحی شده و این رواناب، موجب گسترش خندق در

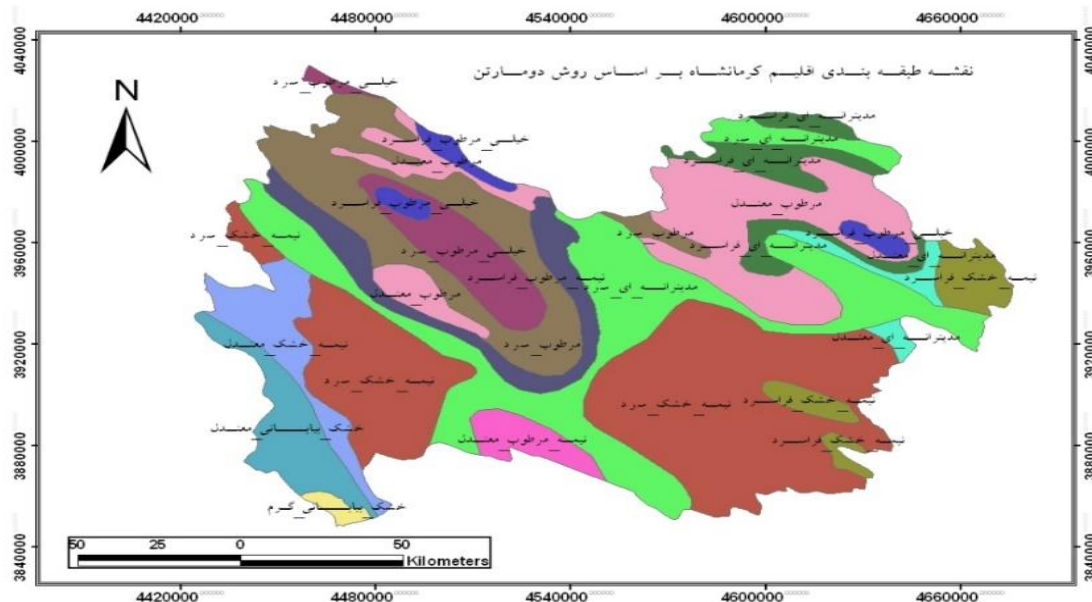
انجام پژوهش حاضر، مطالعات جامع و کاملی در زمینه جانمایی و پهنه‌بندی عرصه‌های بحرانی از نظر فرسایش، ویژگی‌ها و عوامل گسترش فرسایش خندقی در استان انجام نشده بود. لذا، پژوهش حاضر با هدف پهنه‌بندی عرصه‌های خندقی در استان و طبقه‌بندی مورفوکلیماتیک آن‌ها و همچنین اولویت‌بندی خندق‌های استان از نظر میزان خسارات و نیز تعیین عوامل موثر در ایجاد و گسترش خندق‌ها طراحی و اجرا شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه، استان کرمانشاه با وسعت ۲۴۶۲۳ کیلومتر مربع است که در میانه ضلع غربی کشور واقع شده است. میانگین میزان بارندگی در سطح استان، ۴۴۵ میلی‌متر است، که بر اساس طبقه‌بندی دومارتن اصلاح شده، در استان کرمانشاه، چهارده اقلیم از اقلیم خیلی مرطوب فراسرد تا اقلیم مدیترانه‌ای و همچنین بیابانی گرم وجود دارد. نقشه پراکنش اقلیم‌های مختلف ذکر شده در سطح استان کرمانشاه در شکل ۱، نشان داده شده است (Jalili و همکاران، ۲۰۰۹).

بیابانی گرم، نیمه‌خشک معتدل و نیمه‌خشک سرد و مدیترانه‌ای معتدل، فرایند رواناب زیر سطحی فرایند غالب در گسترش خندق‌ها است. دلیل آنرا وضعیت فقیر پوشش گیاهی، بافت خاک، کاربری نادرست اراضی و سازندهای زمین‌شناسی مارنی بیان کردند. Shirani (۲۰۲۱)، به پهنه‌بندی و ارزیابی نقشه حساسیت فرسایش خندقی با استفاده از روش‌های آماری و احتمالاتی پرداخت. نتایج نشان داد که در روش رگرسیون چندمتغیره، پارامترهای کاربری اراضی، شیب و فاصله از آبراهه بیشترین تاثیر را در رخداد خندق داشته است.

عمده مناطق استان کرمانشاه و به‌ویژه دشت‌های زراعی استان، با کاربری دیم‌زار و همچنین، تشکیلات مارنی در مناطقی نظیر قصرشیرین تحت تاثیر فرسایش خندقی قرار دارد. عواملی از جمله فرسایش‌پذیری خاک، شدت بارندگی، شیب، تبدیل اراضی مرتعی به اراضی دیم زراعی، تخریب پوشش گیاهی اعم از جنگلی و مرتعی، و تجمع رواناب به دلیل جاده‌سازی نامناسب، فعالیت‌های معدنی و اقدامات غیراصولی کشاورزی از جمله شخم می‌تواند از عوامل موثر در گسترش خندق‌های استان باشد. لازم به ذکر است که تا زمان



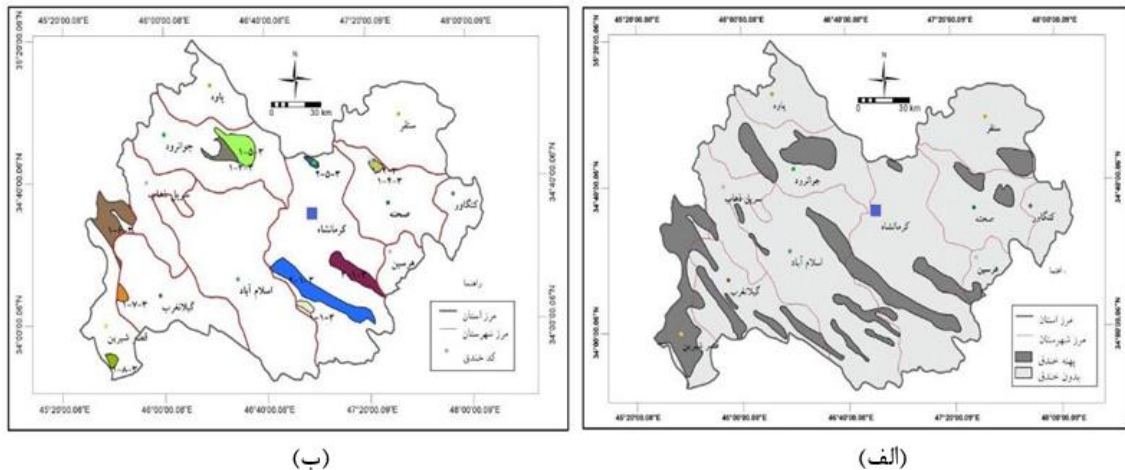
شکل ۱- طبقه‌بندی اقلیمی استان کرمانشاه بر اساس روش دومارتن اصلاح شده

هوایی، مناطق خندقی استان مشخص و محدوده‌ها روی نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ مشخص

بررسی‌های میدانی: به کمک اطلاعات، نقشه‌های پایه و گزارش‌های موجود و نیز با استفاده از عکس‌های

مربوطه ترسیم شد. در این بررسی، ۱۸ پهنه خندقی در استان شناسایی شد که مجموعاً ۴۳۲۹۴۷ هکتار از مساحت استان را شامل می‌شود (شکل ۲- الف). در نهایت، با انطباق نقشه اقلیم با نقشه یاد شده، نقشه واحدکاری به منظور مطالعه، ترسیم شد (شکل ۲- ب).

شد. اقلیم مناطق خندقی مشخص شده، با استفاده از نقشه اقلیمی استان و با روش دومارتن اصلاح شده مشخص شد (Jalili و همکاران ۲۰۰۹) و روی نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ منتقل شد. با استفاده از نقشه‌های تهیه شده و بازدیدهای میدانی، مجدد مناطق خندقی تیپیک هر اقلیم مشخص و نقشه



شکل ۲- نقشه پهنه (الف) و واحد کاری (ب) فرسایش خندقی در استان کرمانشاه

مدیریت رایج بر عرصه هر کاربری، نوع و شدت عوامل فشار بر منابع کاربری اراضی منطقه، به روش ارزیابی کارشناسی تعیین و ثبت شد. به عنوان مثال، وضعیت و شدت چرای دام، نوع دام غالب در منطقه، مدیریت رایج شخم و خاک‌ورزی، شواهد، روند، نوع و شدت تغییر کاربری و تخریب اراضی، شخم در زیر اشکوب جنگل، شخم در جهت شیب، جنگل‌تراشی و دیگر شواهد رایج در منطقه که ممکن است در روند و گسترش خندق‌ها در منطقه موثر باشند، ثبت شد.

در پایان، ضمن جمع‌بندی نتایج بررسی‌های میدانی، محدوده‌های خندقی استان به تفکیک اقلیم و پهنه خندقی اصلی شناسایی و پهنه‌بندی شد. در هر اقلیم اصلی که پراکنش خندق در آن غالب بود، مشخصات فنی و مدیریتی محدوده‌های خندقی تفکیک شد و در جداول ارائه شد. همچنین، مشخصات مناطق و پهنه‌های خندقی مختلف با یکدیگر مقایسه شد. علاوه بر این، عوامل اصلی و موثر مدیریتی (مدیریت کاربری) یا فیزیکی (اقلیمی، خاک و توپوگرافیک) بر

در هر اقلیم، در صورت وجود، بین یک تا سه پهنه خندقی انتخاب و در هر پهنه، یک خندق به عنوان معرف اصلی و دو تکرار انتخاب شد. با انجام عملیات میدانی و بررسی‌های مورفومتریکی، شناسنامه عوامل موثر در ایجاد و گسترش خندق‌ها از جمله عوامل طبیعی، فیزیوگرافی و انسانی بررسی شد. در مجموع، در هر خندق معرف (شماره یک) میله‌های مدرج^۱ در کف، نزدیک سر بالا کند و پیشانی خندق و کناره‌های راست و چپ آن نصب شد که با میله کوبی و سیمان کاری نقاط ثابت مشخص، و با استفاده از دوربین توتال استیشن، پلان عمومی و نیم‌رخ طولی و عرض آن و شاخه‌های فرعی برداشت و به وسیله نرم‌افزار Autocad ترسیم شد. اندازه‌گیری‌ها در سه خندق انجام شد و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در نمونه‌های جمع‌آوری شده اندازه‌گیری و ثبت شد.

در مرحله عملیات میدانی و به منظور بررسی عوامل موثر بر توسعه و گسترش خندق‌ها در مناطق مورد ارزیابی، یک فرم مشخصات تهیه و تکمیل شد. در این فرم، ویژگی‌های مدیریتی عرصه، اعم از نوع کاربری،

¹ Benchmark

توسعه و گسترش هر پهنه خندقی و نیز هر محدوده اقلیمی شناسایی و معرفی شد.

نتایج و بحث

جدول ۲، مشخصات تیپیک مورفومتریک شامل ابعاد هندسی در مقاطع پیشانی خندق، ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد از پیشانی خندق را در خندق اصلی برای هر یک از پهنه‌های مطالعه شده و اندازه‌گیری شده نشان

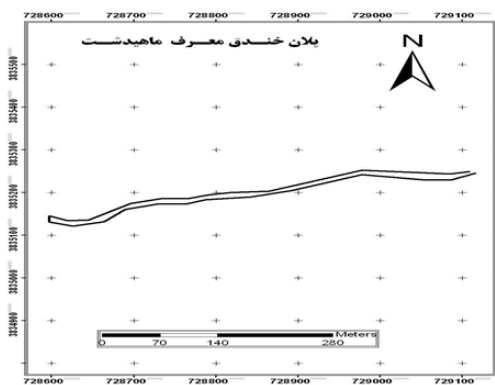
می‌دهد. در این راستا، سعی بر این شده که در اقلیم‌های با بیشترین وسعت و اهمیت، نمونه‌گیری انجام شود. با توجه به اهمیت موضوع، هشت اقلیم و زیر اقلیم انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین، جدول ۱، مشخصات عمومی خندق‌ها را نظیر موقعیت، تیپ اراضی، عرصه و برخی ویژگی‌های مورفومتریک هر سه خندق مورد مطالعه (اصلی و تکرارها) در پهنه‌های خندقی شناسایی شده استان نشان می‌دهد.

جدول ۱- ویژگی‌های مورفومتریک خندق‌های معرف

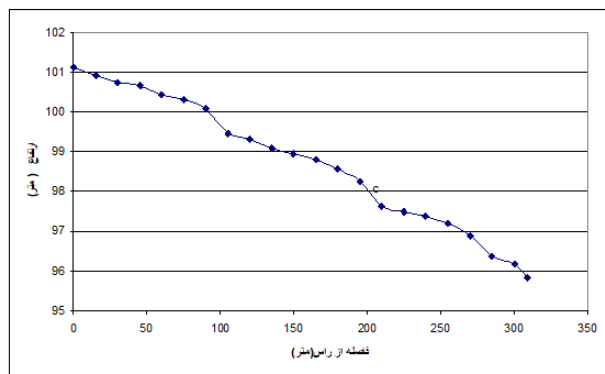
اقلیم	پهنه خندقی معرف	عرض و عمق (متر)	پیشانی خندق	۲۵ درصد از پیشانی	۵۰ درصد از پیشانی	۷۵ درصد از پیشانی	میانگین
		عرض بالای خندق	۳/۲	۲/۷	۴/۵	۵	۳/۸۵
	ماهیدشت	عرض پایین خندق	۰/۸	۱/۳	۳	۳/۵	۲/۱۵
		عمق خندق	۱/۱۵	۱	۰/۷	۰/۹	۰/۹۳
		عرض بالای خندق	۵/۳	۱۵/۵	۱۳/۳	۱۹	۱۳/۲۷
نیمه‌خشک		عرض پایین خندق	۱	۴	۰/۴	۹	۳/۶
سرد	سرفروز آباد	عمق خندق	۲/۱	۴	۵	۳	۳/۵۲
		عرض بالای خندق	۲/۸	۷/۹	۱۴	۷/۴	۸/۱۵
	کله‌هو	عرض پایین خندق	۱	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۶۲
		عمق خندق	۰/۷	۲	۳/۵	۲/۵	۲/۱۷
مرطوب		عرض بالای خندق	۱۰	۸/۵	۷/۲	۸/۶	۸/۵۷
معتدل	دهلق	عرض پایین خندق	۱/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۷۵
		عمق خندق	۳	۳	۲/۲	۳/۲	۲/۸۵
		عرض بالای خندق	۱	۵/۱	۶/۳	۷/۲	۴/۹
مرطوب	چشمه‌گذار	عرض پایین خندق	۰/۵	۰/۶	۰/۷	۰/۵	۰/۵۷
سرد		عمق خندق	۰/۴	۱/۵	۲	۲/۴	۱/۵۷
		عرض بالای خندق	۱/۳۵	۵	۶	۸/۹	۵/۳۱
نیمه‌مرطوب	جبار آباد	عرض پایین خندق	۰/۴	۰/۵	۰/۶	۰/۵	۰/۵
سرد		عمق خندق	۰/۴۵	۱/۲	۳/۶	۲/۸	۸/۰۵
		عرض بالای خندق	۲/۵	۴/۸	۶	۷/۴	۵/۱۷
	بالاخان	عرض پایین خندق	۰/۶	۰/۶	۰/۸	۰/۶	۰/۶۵
مرطوب		عمق خندق	۰/۶	۱/۲۵	۱/۵	۱/۹	۱/۳۱
سرد		عرض بالای خندق	۱/۱	۵/۵	۶	۴/۳	۵/۲۲
	تخت‌گاه	عرض پایین خندق	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۳	۰/۳۷
		عمق خندق	۰/۴	۱/۹	۲	۱/۶	۱/۴۷
		عرض بالای خندق	۲/۵	۵/۹	۶/۳	۸	۵/۶
نیمه‌خشک	سید ایاز	عرض پایین خندق	۲/۴	۲/۵	۳/۳	۱/۸	۲/۵
معتدل		عمق خندق	۱/۵	۲	۱/۶	۲/۱	۱/۸
خشک		عرض بالای خندق	۲/۵	۵/۹	۶/۳	۸	۵/۶۷
بیابانی	نفت شهر	عرض پایین خندق	۲/۴	۲/۵	۳/۳	۱/۸	۲/۵
معتدل		عمق خندق	۱/۵	۲	۱/۶	۲/۱	۱/۸
		عرض بالای خندق	۱۳	۵/۳	۳/۴	۵/۵	۶/۸
خشک	سومار	عرض پایین خندق	۶/۹	۳	۲/۳	۲/۸	۳/۷۵
بیابانی گرم		عمق خندق	۱/۶	۱/۱	۱/۱	۱/۳	۱/۲۷

جهت شیب) می‌تواند از عوامل انسانی ایجاد خندق در این محدوده باشد (شکل ۴).

شامل شیب بالا و فرسایش‌پذیری خاک است. همچنین، تخریب پوشش گیاهی کف آبراهه و شخم نامناسب (در



(ب)



(الف)

شکل ۳- نیم‌رخ طولی (الف) و پلان عمومی (ب) خندق‌های معرف منطقه ماهیدشت



شکل ۴- نقش تغییر کاربری (زراعت دیم) در گسترش خندق و تخریب اراضی در اقلیم نیمه خشک سرد

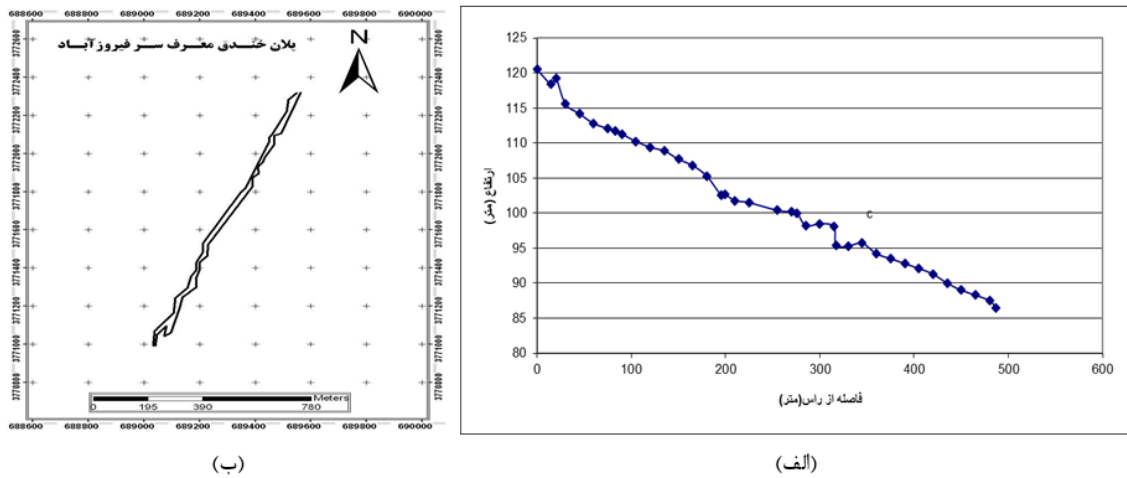
پهنه خندقی سرفیروزآباد: این پهنه، با مساحت $46075/8$ هکتار در مرکز استان و در جنوب شهر کرمانشاه و روی سازند زمین‌شناسی کشکان لایه‌های مارنی واقع شده است. تیپ اراضی در این پهنه، تپه‌ای با شیب متوسط منطقه نه درصد و عمق متوسط خاک در این منطقه 210 سانتی‌متر با بافت خاک سطح الارض سیلتی رسی، بافت خاک تحت‌الارض رسی است. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که عمدتاً از سطح به عمق از میزان شن و سیلت در این پهنه خندقی کاسته شده و بر میزان رس افزوده می‌شود.

گسترده خندق معرف، 10600 متر مربع، همچنین، طول متوسط، عرض و عمق خندق‌ها در این منطقه به ترتیب 530 ، 13 و چهار متر است (جدول ۱ و ۲). نیم‌رخ طولی و پلان خندق معرف در این پهنه در شکل ۵، ارائه شده است. پلان عمومی شبکه، پیشانی و نیم‌رخ

کاربری اراضی در این منطقه به صورت زراعت دیم بوده، و خسارت ناشی از گسترش خندق‌ها شامل تخریب اراضی زراعی و کاهش توان تولید است. خسارت وارده در پایین‌دست نیز ناشی از گسترش خندق شامل فراهم کردن رسوب برای مخازن سدها افزایش میزان گل‌آلودگی آب کاهش کیفیت آب، افزایش سیل‌خیزی در اثر رسوب‌گذاری در رودخانه‌ها است. به‌منظور، اصلاح خندق‌های کم‌عمق، از شخم عمود بر شیب استفاده شده است. اما، در خندق‌های بزرگ‌تر هیچ‌گونه کار اصلاحی صورت نگرفته است. استفاده از سازه‌های خشکه‌چین، و استفاده از سدهای سبک فلزی، انجام فعالیت‌های بیولوژیکی و استفاده از سازه‌های گابیونی از جمله روش‌های مورد استفاده و پیشنهادی به‌منظور جلوگیری از گسترش خندق‌ها است.

گیاهی، و تبدیل اراضی مرتعی به زراعی از عوامل انسانی گسترش این خندق است (شکل ۶).

عمودی خندق به ترتیب پنجه‌ای، شاخه‌ای و عمودی شکل با مقطع خندق V شکل است. تخریب پوشش



شکل ۵ - نیم‌رخ طولی (الف) و پلان عمومی (ب) خندق‌های معرف سرفیروزآباد



شکل ۶- نقش تبدیل اراضی مرتعی و تخریب پوشش گیاهی در گسترش خندق و تخریب اراضی در خندق‌های معرف سرفیروزآباد

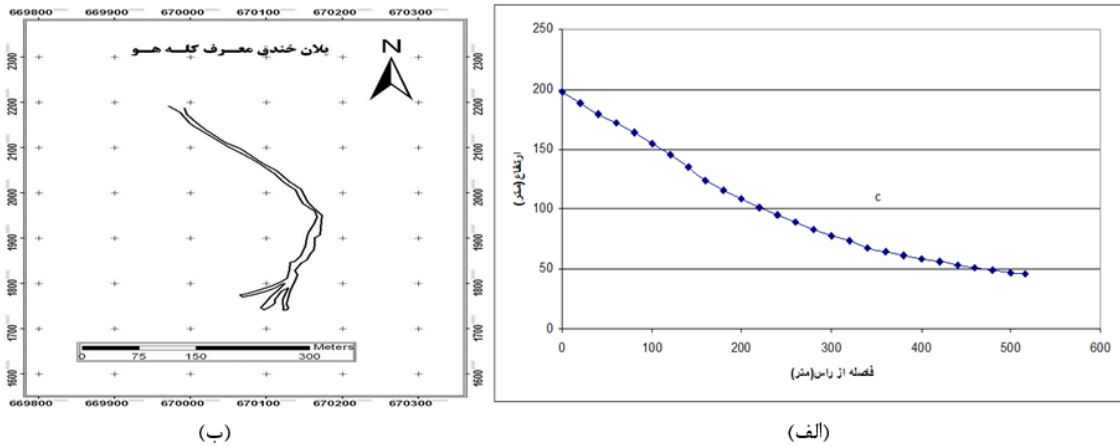
پیشنهادی به منظور جلوگیری از گسترش خندق‌ها است.

پهنه خندقی کله‌هو: این پهنه، با مساحت ۲۲۵۱۴ هکتار در مرکز استان و در جنوب شرقی کرمانشاه و در اراضی زراعی و مرتعی، همچنین، روی سازند زمین‌شناسی رادیولاریته کرمانشاه با ترکیبات مارنی واقع شده است. تیپ اراضی کوه با شیب متوسط منطقه و عمق متوسط خاک در این منطقه به ترتیب ۳۵ درصد و ۴۵ سانتی‌متر است. بافت خاک سطح‌الارض رسی لومی و شنی لومی، و بافت خاک تحت‌الارض رسی لومی است. گستره خندق معرف، چهار هکتار و طول متوسط، عرض و عمق خندق‌ها در این منطقه به ترتیب ۴۱۰، پنج و سه متر است. نیم‌رخ طولی و پلان خندق معرف در این پهنه در شکل ۷، ارائه شده است. پلان عمومی

کاربری اراضی در این پهنه خندقی، در گذشته به صورت جنگل بوده که به زراعت دیم تغییر یافته است. خسارات ناشی از گسترش خندق‌های در محدوده گسترش خندق، شامل تخریب اراضی زراعی و کاهش توان تولید است. خسارات وارده در پایین‌دست ناشی از گسترش خندق، شامل فراهم کردن رسوب برای مخازن سدها افزایش میزان گل‌آلودگی آب افزایش سیل‌خیزی در اثر رسوب‌گذاری در رودخانه‌ها کاهش ظرفیت سازه‌های آبی است. با توجه به این‌که در منطقه کار اصلاحی انجام نشده است، اما، انجام عمل بیولوژیکی در بالادست حوضه، اجرای سازه‌های گابیونی و خشکه‌چینی در داخل آبراهه، توسعه جنگل‌کاری در منطقه و اجرای شخم عمود بر شیب، بذرکاری و فرق در بالادست از جمله روش‌های مورد استفاده و

گیاهی و از عوامل انسانی موثر در گسترش این خندق، به تخریب پوشش گیاهی، تبدیل اراضی مرتعی به زراعی و بهره‌برداری نامناسب و قطع جنگل‌ها می‌توان اشاره کرد (شکل ۸).

شبکه، پیشانی و نیم‌رخ عمودی خندق به ترتیب پنجه‌ای، مدور و مایل با شکل مقطع خندق ۷ شکل است (جدول‌های ۱ و ۲). عوامل ایجاد خندق، شامل دو بخش طبیعی و انسانی است. در بخش طبیعی، به شدت بارندگی، شیب، فرسایش‌پذیری خاک و تخریب پوشش



شکل ۷- نیم‌رخ طولی (الف) و پلان عمومی (ب) خندق‌های معرف کله‌هو



شکل ۸- نقش تبدیل اراضی مرتعی و تخریب پوشش گیاهی در گسترش خندق و تخریب اراضی در خندق‌های معرف کله‌هو

مانند گابیون‌بندی و خشکه‌چینی و بیولوژیکی مانند نهال‌کاری در بستر آبراهه و بالادست آن به‌منظور مهار خندق انجام شده است. انجام عملیات بیولوژیکی در بالادست حوضه، شامل بذرکاری و بذرپاشی و اجرای عملیات قرق، اجرای سازه‌های گابیونی و خشکه‌چینی در داخل آبراهه‌ها، درخت‌کاری و توسعه باغات در اراضی شیب‌دار از جمله روش‌های مورد استفاده و پیشنهادی به‌منظور جلوگیری از گسترش خندق‌ها است.

اقلیم مرطوب معتدل: بر اساس نتایج، مساحت این اقلیم ۱/۲ درصد کل مساحت استان است. مساحت مناطق خندقی در این اقلیم، کل استان و خندق‌ها

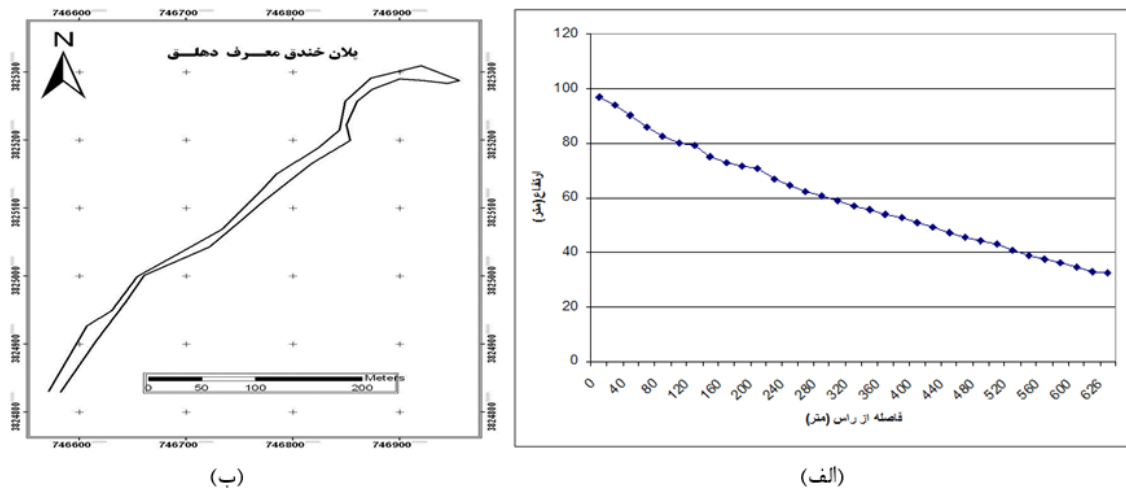
کاربری اراضی در این پهنه خندقی، در گذشته به‌صورت جنگل بوده و به مرتع و زراعت دیم تغییر یافته است. خسارات ناشی از گسترش خندق‌ها، شامل تخریب اراضی زراعی و کاهش توان تولید و تخریب راه‌های روستایی است. خسارت وارد بر مراتع و اراضی کشاورزی، به‌صورت تخریب و کاهش توان توابعه است. خسارات وارده در پایین‌دست ناشی از گسترش خندق، شامل فراهم کردن رسوب برای مخازن سدهای بزرگ مثل کرخه، افزایش میزان گل‌آلودگی آب است. در منطقه، هیچ‌گونه کار اصلاحی صورت نگرفته است. لازم به ذکر است، در سایر مناطق این اقلیم عملیات مکانیکی

به ترتیب ۷/۷۳، ۰/۹۳ و ۵/۵۶ درصد را شامل می‌شود. تنها پهنه خندقی شناسایی و مطالعه‌شده در این اقلیم، پهنه خندقی دهلق در میانه شرق استان است. پهنه خندقی دهلق: این منطقه، با مساحت ۵۰۰ هکتار در شهرستان صحنه و در شمال شهر صحنه و در نزدیکی روستای دهلق، روی سازند زمین‌شناسی کواترنر واقع شده است. سازند بیستون، در محدوده خندق و بالادست آن که از نوع سنگ‌های آهکی و دولومیتی با تیپ اراضی فلات قرار دارد. شیب متوسط منطقه، ۱۵ درصد و عمق متوسط خاک در این منطقه ۱۵۰ سانتی‌متر است. بافت خاک سطح‌الارض، سیلتی رسی و بافت خاک تحت‌الارض، رسی سیلتی است. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که در این پهنه خندقی عمدتاً از

به ترتیب ۷/۷۳، ۰/۹۳ و ۵/۵۶ درصد را شامل می‌شود. تنها پهنه خندقی شناسایی و مطالعه‌شده در این اقلیم، پهنه خندقی دهلق در میانه شرق استان است.

پهنه خندقی دهلق: این منطقه، با مساحت ۵۰۰ هکتار در شهرستان صحنه و در شمال شهر صحنه و در نزدیکی روستای دهلق، روی سازند زمین‌شناسی کواترنر واقع شده است. سازند بیستون، در محدوده خندق و بالادست آن که از نوع سنگ‌های آهکی و دولومیتی با تیپ اراضی فلات قرار دارد. شیب متوسط منطقه، ۱۵ درصد و عمق متوسط خاک در این منطقه ۱۵۰ سانتی‌متر است. بافت خاک سطح‌الارض، سیلتی رسی و بافت خاک تحت‌الارض، رسی سیلتی است. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که در این پهنه خندقی عمدتاً از

(۱۰).



شکل ۹- نیم‌رخ طولی (الف) و پلان عمومی (ب) خندق‌های معرف دهلق

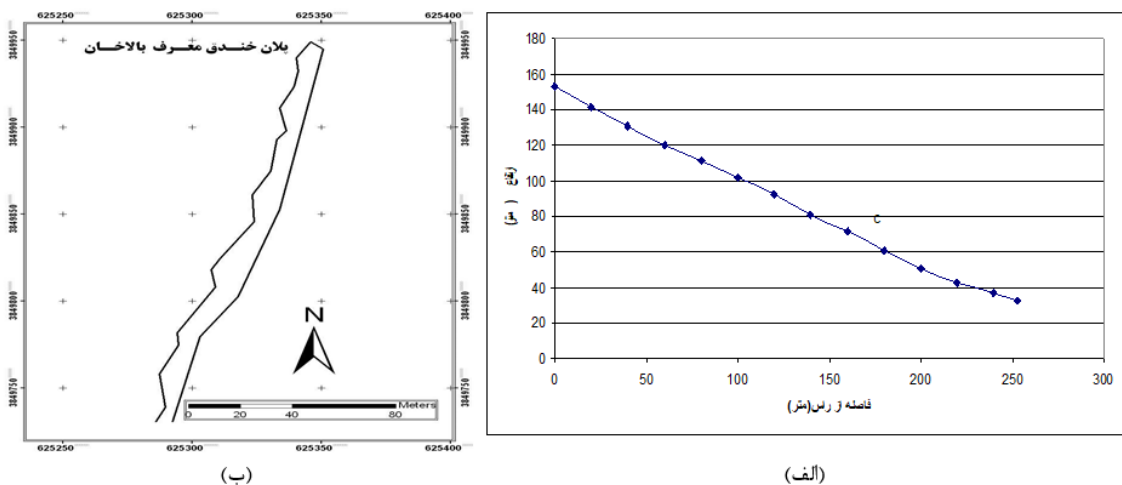


شکل ۱۰- نقش تبدیل اراضی مرتعی و تخریب پوشش گیاهی در گسترش خندق و تخریب اراضی در خندق‌های معرف دهلق

خندقی منطقه بالاخان جانورد و تخت‌گاه گهواره، به‌عنوان معرف این منطقه اقلیمی است. **پهنه خندقی بالاخان**: این پهنه، روی سازند زمین‌شناسی رادیولاریت با شیب متوسط ۲۰ درصد قرار گرفته است. عمق متوسط خاک در این منطقه، ۶۰ سانتی‌متر با بافت خاک سطح‌الارض، رسی لومی، و بافت خاک تحت‌الارض، سیلتی رسی است. گسترده و طول خندق، به‌ترتیب ۲/۵ هکتار ۵۷۰ متر است. نیم‌رخ طولی خندق معرف پهنه دهلق در شکل ۱۱، ملاحظه می‌شود. پلان عمومی شبکه، پیشانی و نیم‌رخ عمودی خندق به‌ترتیب پنجه‌ای، مدور و مایل با شکل مقطع V شکل است (جدول‌های ۱ و ۲). شدت بارندگی، شیب زیاد، فرسایش‌پذیری خاک و تخریب پوشش گیاهی به‌عنوان عوامل طبیعی و تغییر کاربری و بهره‌برداری نامناسب به‌وسیله انسان به‌عنوان عوامل انسانی گسترش این خندق هستند (شکل ۱۲).

خسارات ناشی از گسترش خندق در محدوده گسترش خندق شامل تخریب اراضی زراعی و کاهش توان تولید است. خسارت وارده در پایین‌دست ناشی از گسترش خندق شامل فراهم کردن رسوب برای مخازن سدها، افزایش میزان گل‌آلودگی آب، افزایش سیل‌خیزی در اثر رسوب‌گذاری در رودخانه‌ها، کاهش ظرفیت آبرگیری سازه‌های آبی کوچک است. اجرای بندسارها، نهال‌کاری در اطراف و حوضه خندق‌ها، همچنین، اجرای بندسارها اجرای عملیات بیولوژیکی، اجرای صحیح شخم در اراضی دیم از جمله روش‌های مورد استفاده و پیشنهادی به‌منظور جلوگیری از گسترش خندق‌ها است.

اقلیم مرطوب سرد: بر اساس نتایج، مساحت این اقلیم، ۱۲/۰۵ درصد کل مساحت استان است. مساحت مناطق خندقی در این اقلیم، استان و خندق‌ها به‌ترتیب ۲۴/۶۳، ۲/۹۶ و ۱۷/۸۳ درصد را شامل می‌شود. پهنه



شکل ۱۱- نیم‌رخ طولی (الف) و پلان عمومی (ب) خندق‌های معرف بالاخان

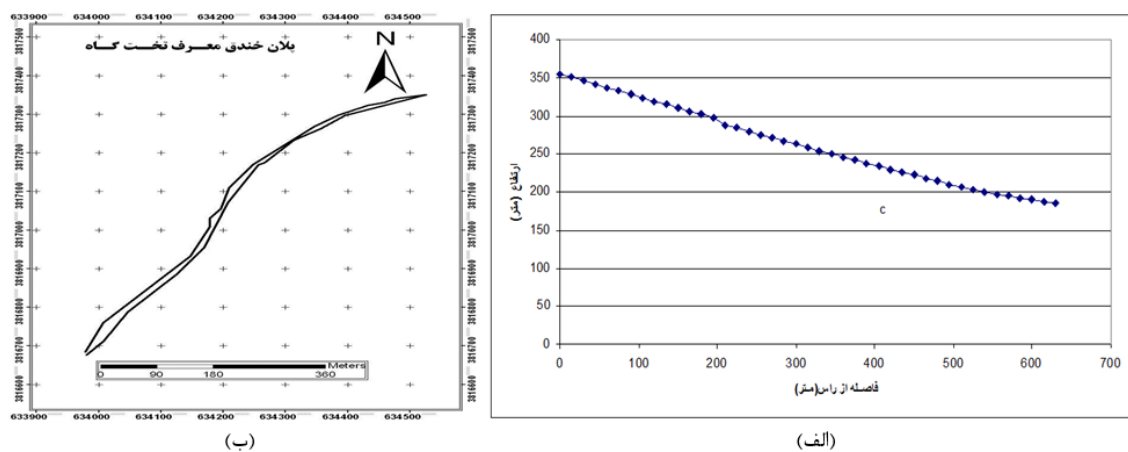


شکل ۱۲- نقش تغییر کاربری و بهره‌برداری نامناسب به‌وسیله انسان در گسترش و تخریب اراضی در خندق‌های معرف بالاخان

و خندق معرف آن روی سازند شیلی سخت قرار دارد، که سازوکار انحلال باعث گسترش خندق است. شیب و عمق متوسط منطقه، به ترتیب ۲۵ درصد و ۱۰۰ سانتی‌متر، با بافت خاک سطح‌الارض رسی و بافت خاک تحت‌الارض رسی سیلتی است. گسترده و طول متوسط خندق ۵۰ هکتار و ۶۰۰ متر است. همچنین، عرض و عمق متوسط خندق‌ها چهار و دو متر است (جدول‌های ۱ و ۲). نیم‌رخ طولی خندق معرف پهنه دهلق، در شکل ۱۳ ملاحظه می‌شود. پلان عمومی شبکه، پیشانی و نیم‌رخ عمودی خندق خطی، نقطه‌ای و مایل با شکل مقطع V شکل است. شدت بارندگی، شیب زیاد، فرسایش‌پذیری خاک و تخریب پوشش گیاهی به‌عنوان عوامل طبیعی و تغییر کاربری و بهره‌برداری نامناسب به‌وسیله انسان، به‌عنوان عوامل انسانی گسترش این خندق هستند (شکل ۱۴).

کاربری اراضی در این پهنه خندقی، در گذشته به‌صورت مرتع مشجر بوده که به مرتع مشجر و زراعت دیم تغییر یافته است. خسارات ناشی از گسترش خندق در محدوده گسترش خندق، شامل تخریب اراضی زراعی و مرتعی و کاهش توان تولید است. خسارت وارده بر مراتع و اراضی کشاورزی، شامل خسارات ناشی از تخریب اراضی و توان تولید آن‌ها است. خسارات وارده در پایین‌دست ناشی از گسترش خندق، شامل افزایش میزان آلودگی آب، افزایش سیل‌خیزی در اثر رسوب‌گذاری در رودخانه‌ها، کاهش کیفیت آب است. استفاده از سازه‌های گابیونی، خشکه‌چینی و بذرکاری و بذرپاشی، رعایت تعادل بین دام و مرتع از جمله روش‌های پیشنهادی به‌منظور جلوگیری از گسترش خندق‌ها است.

پهنه خندقی تخت‌گاه: این پهنه، با مساحت ۲۶۴۲ هکتار در شمال بخش گهواره در روستای تخت‌گاه واقع



شکل ۱۳- نیم‌رخ طولی (الف) و پلان عمومی (ب) خندق‌های معرف بالاخان



شکل ۱۴- نقش تغییر کاربری و بهره‌برداری نامناسب به‌وسیله انسان در گسترش و تخریب اراضی معرف تخت‌گاه

کاربری اراضی در این پهنه خندقی، در گذشته به‌صورت مرتع بوده که به مرتع و زراعت دیم تغییر یافته است. خسارات ناشی از گسترش خندق‌ها در محدوده گسترش خندق، شامل تخریب اراضی زراعی و مرتعی و کاهش توان تولید است. خسارات وارده در پایین دست ناشی از گسترش خندق، شامل افزایش میزان آلودگی آب، افزایش سیل‌خیزی در اثر رسوب‌گذاری در رودخانه‌ها، کاهش کیفیت آب است. انجام عملیات بیولوژیکی، بذرکاری و بذرپاشی و اجرای عملیات قرق و استفاده از سدهای سبک فلزی در بستر خندق‌ها و ایجاد خشک‌چین در منطقه، کاشت درختان مثمر و کشت گیاهان دارویی و توسعه آن در اراضی کم‌بازده از جمله روش‌های پیشنهادی به‌منظور جلوگیری از گسترش خندق‌ها است.

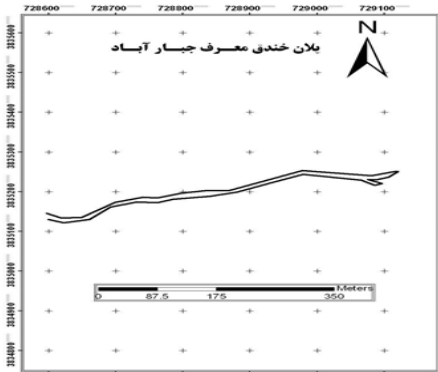
اقلیم نیمه‌مرطوب سرد: بر اساس نتایج، مساحت این اقلیم ۱۵/۳ درصد کل مساحت استان را شامل می‌شود. مساحت مناطق خندقی در این اقلیم، ۲۷۷۳۲ هکتار است که به ترتیب ۷/۳۶ و ۶/۷۷ درصد اقلیم و کل خندق‌های استان را شامل می‌شود. مناطق خندقی در

اراضی زراعی و مرتعی قرار دارند. پهنه خندقی منطقه جبارآباد، به‌عنوان معرف این منطقه اقلیمی است.

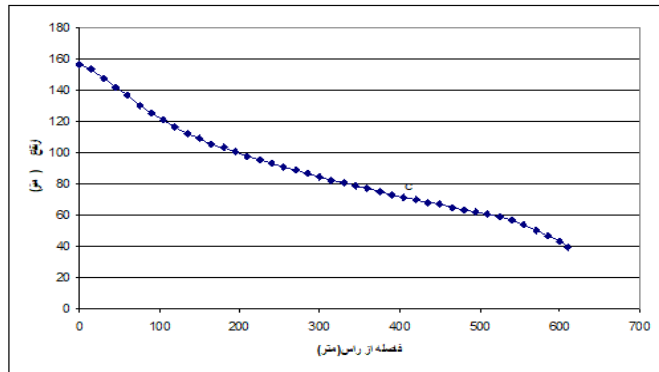
پهنه خندقی جبارآباد: این پهنه، با مساحت ۳۵۱۶/۵ هکتار در شهرستان صحنه و بخش دینور و در شمال شرقی دینور و به فاصله دو کیلومتری جنوب روستای جبارآباد واقع شده است. خندق معرف، با عمق متوسط خاک ۸۰ سانتی‌متر، دارای بافت خاک سطح‌الارض رسی لومی و بافت خاک تحت‌الارض سیلتی رسی است. گسترده و طول متوسط خندق به ترتیب ۳۰ هزار متر مربع و ۴۴۰ متر است. همچنین، عرض و عمق متوسط خندق‌ها پنج و سه متر است. نیم‌رخ طولی خندق معرف پهنه جبارآباد در شکل ۱۵، ملاحظه می‌شود. پلان عمومی شبکه، پیشانی و نیم‌رخ خندق به ترتیب پنجه‌ای، نقطه‌ای و عمودی با مقطع V شکل است (جدول‌های ۱ و ۲). شدت بارندگی، شیب زیاد، فرسایش‌پذیری خاک و تخریب پوشش گیاهی به‌عنوان عوامل طبیعی و تغییر کاربری و بهره‌برداری نامناسب به‌وسیله انسان، به‌عنوان عوامل انسانی گسترش این خندق، محسوب می‌شود (شکل ۱۶).

کاربری اراضی در این پهنه خندقی، در گذشته به‌صورت مرتع بوده که به مرتع و زراعت دیم تغییر یافته است. خسارات ناشی از گسترش خندق‌ها در محدوده گسترش خندق، شامل تخریب اراضی زراعی و مرتعی و کاهش توان تولید است. خسارات وارده در پایین دست ناشی از گسترش خندق، شامل افزایش میزان آلودگی آب، افزایش سیل‌خیزی در اثر رسوب‌گذاری در رودخانه‌ها، کاهش کیفیت آب است. انجام عملیات بیولوژیکی، بذرکاری و بذرپاشی و اجرای عملیات قرق و استفاده از سدهای سبک فلزی در بستر خندق‌ها و ایجاد خشک‌چین در منطقه، کاشت درختان مثمر و کشت گیاهان دارویی و توسعه آن در اراضی کم‌بازده از جمله روش‌های پیشنهادی به‌منظور جلوگیری از گسترش خندق‌ها است.

اقلیم نیمه‌مرطوب سرد: بر اساس نتایج، مساحت این اقلیم ۱۵/۳ درصد کل مساحت استان را شامل می‌شود. مساحت مناطق خندقی در این اقلیم، ۲۷۷۳۲ هکتار است که به ترتیب ۷/۳۶ و ۶/۷۷ درصد اقلیم و کل خندق‌های استان را شامل می‌شود. مناطق خندقی در



(ب)



(الف)

شکل ۱۵- نیم‌رخ طولی (الف) و پلان عمومی (ب) خندق‌های معرف جبارآباد

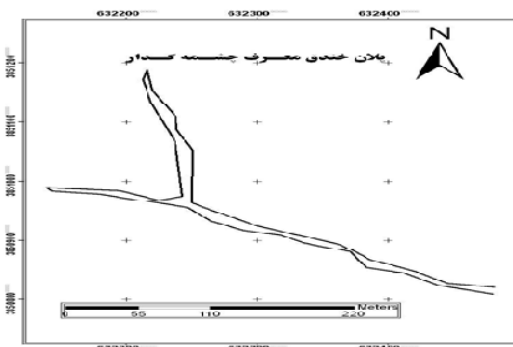


شکل ۱۶- نقش تغییر کاربری و بهره‌برداری نامناسب به‌وسیله انسان در گسترش و تخریب اراضی در خندق‌های معرف جبارآباد

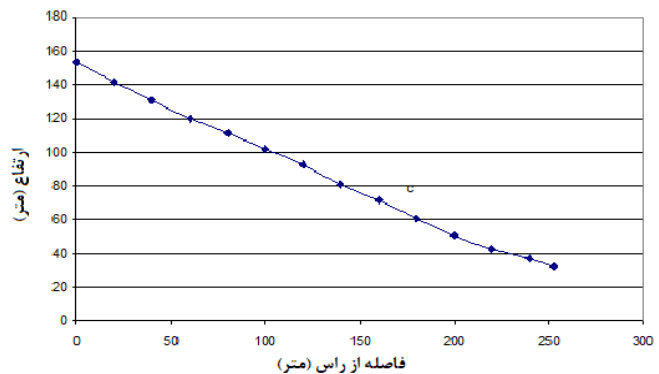
پهنه خندقی چشمه‌گذار: این پهنه، با مساحت ۱۰۶۰۶ هکتار در غرب شهر جوانرود معرف این منطقه و روی سازند ایلام واقع شده است که جنس آن از سنگ‌های آهکی و بیشتر واریزه‌ای است. شیب محدوده خندقی معرف، تند و ۶۴ درصد است. عمق متوسط خاک در این منطقه، کم و حدود ۲۰ سانتی‌متر و بافت خاک سطح‌الارض، سیلتی رسی و بافت خاک تحت‌الارض، رسی لومی است. گستره و طول و عرض متوسط خندق معرف، به ترتیب ۷۵۰۰ متر مربع، ۲۳۰ و شش متر با عمق متوسط دو متر است. نیم‌رخ طولی خندق معرف پهنه جبارآباد در شکل ۱۷، ملاحظه می‌شود. پلان عمومی شبکه، پیشانی و نیم‌رخ عمودی خندق موازی، نوکدار و مایل است (جدول‌های ۱ و ۲). شدت بارندگی، شیب زیاد، فرسایش‌پذیری خاک و تخریب پوشش گیاهی به‌عنوان عوامل طبیعی، و تخریب پوشش گیاهی، تبدیل اراضی مرتعی به زراعی و بهره‌برداری نامناسب و قطع جنگل‌ها و تخریب مراتع به‌عنوان عوامل انسانی گسترش این خندق به‌شمار می‌رود (شکل ۱۸).

کاربری اراضی در این پهنه خندقی، در گذشته به‌صورت مرتع بوده است. خسارات ناشی از گسترش خندق‌ها در محدوده گسترش خندق، شامل تخریب اراضی زراعی و مرتعی و کاهش توان تولید است. خسارات وارده در پایین‌دست ناشی از گسترش خندق، شامل افزایش میزان گل‌آلودگی آب، افزایش سیل‌خیزی در اثر رسوب‌گذاری در رودخانه‌ها، فراهم کردن رسوب برای مخازن سدها است. با توجه به این‌که در منطقه هیچ کار اصلاحی صورت نگرفته است، احداث سدهای کوتاه خاکی و استفاده از آن‌ها برای پرورش ماهی، اجرای روش صحیح شخم، گابیون‌بندی و خشکه‌چینی در خندق‌ها، از جمله روش‌های پیشنهادی به‌منظور جلوگیری از گسترش خندق‌ها است.

اقلیم خیلی مرطوب سرد: مساحت این اقلیم در استان ۱۰۷۳۵۰ هکتار است که ۴/۳۶ درصد کل مساحت استان را شامل می‌شود. همچنین، گستره مناطق خندقی در این اقلیم، استان و کل به ترتیب ۵۹، ۱/۲۶ و ۶/۹۶ درصد، که در اراضی زراعی و مرتعی قرار گرفته است. پهنه خندقی منطقه چشمه‌گذار، به‌عنوان معرف این منطقه اقلیمی است.



(ب)



(الف)

شکل ۱۷- نیم‌رخ طولی (راست) و پلان عمومی (چپ) خندق‌های معرف چشمه‌گذار

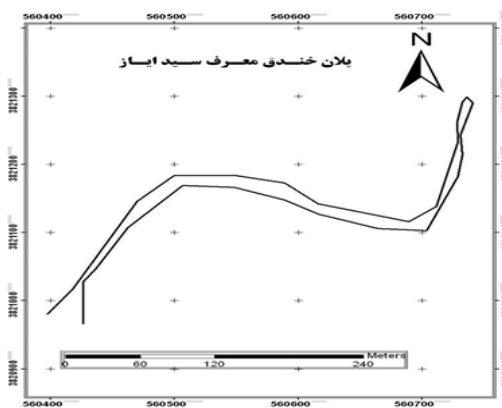


شکل ۱۸- نقش تغییر کاربری و بهره‌برداری نامناسب به‌وسیله انسان در گسترش و تخریب اراضی در خندق‌های معرف چشمه‌گذار

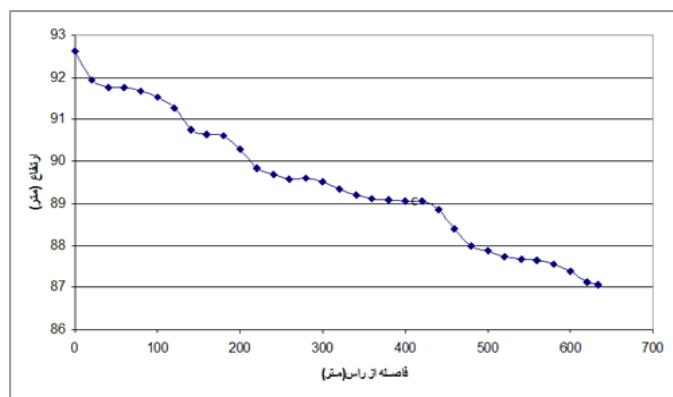
معرف این مناطق با مساحت $37188/6$ هکتار در شرق شهر قصرشیرین، روی سازند آغاچاری با ارتفاع متوسط 450 متر از سطح دریا و شیب متوسط دو درصد واقع شده است. عمق متوسط خاک، 120 سانتی‌متر با بافت سطحی لومی و بافت خاک تحتانی، رسی لومی و رسی است. گستره، طول متوسط، عرض و عمق خندق، به ترتیب 10 هکتار، 1000 ، 6 و دو متر است. نیم‌رخ طولی خندق معرف پهنه دهلق در شکل ۱۹، ملاحظه می‌شود. پلان عمومی شبکه، پیشانی و نیم‌رخ عمودی خندق به ترتیب پنجه‌ای، پلان شاخه‌ای و عمودی، با شکل مقطع خندق دوزنقه‌ای است (جدول‌های ۱ و ۲). Ahmadi و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان دادند که مقطع عرضی خندق‌ها در مناطق نیمه‌خشک گرم و مدیترانه‌ای عمدتاً دوزنقه‌ای شکل و در مناطق با اقلیم نیمه‌خشک معتدل، ۷ شکل هستند. شدت بارندگی، شیب زیاد، فرسایش‌پذیری خاک و تخریب پوشش گیاهی به‌عنوان عوامل طبیعی، و تغییر کاربری و بهره‌برداری نامناسب به‌وسیله انسان به‌عنوان عوامل انسانی گسترش این خندق است (شکل ۲۰).

کاربری اراضی در این پهنه خندقی، به‌صورت مرتع بوده است. خسارات ناشی از گسترش خندق‌ها در محدوده گسترش خندق، شامل تخریب اراضی زراعی و مرتعی و کاهش توان تولید است. خسارات وارده در پایین‌دست ناشی از گسترش خندق، شامل افزایش میزان گل‌آلودگی آب، افزایش سیل‌خیزی در اثر رسوب‌گذاری در رودخانه‌ها، فراهم کردن رسوب برای مخازن سدها است. با توجه به این‌که در منطقه هیچ کار اصلاحی صورت نگرفته است، احداث سدهای کوتاه خاکی و استفاده از آن‌ها برای پرورش ماهی، اجرای روش صحیح شخم، گابیون‌بندی و خشکه‌چینی در خندق‌ها از جمله روش‌های پیشنهادی به‌منظور جلوگیری از گسترش خندق‌ها است.

اقلیم نیمه‌خشک معتدل: بر اساس نتایج، مساحت این اقلیم $4/47$ درصد کل مساحت استان را شامل می‌شود. گستره مناطق خندقی در این اقلیم و کل خندق‌های استان به ترتیب $41/83$ و $11/23$ درصد است. پهنه خندقی منطقه سیدایاز، به‌عنوان معرف این منطقه اقلیمی است. **پهنه خندقی سیدایاز قصرشیرین:** این پهنه، به‌عنوان



(ب)



(الف)

شکل ۱۹- نیم‌رخ طولی (راست) و پلان عمومی (ب) خندق‌های معرف بالاخان

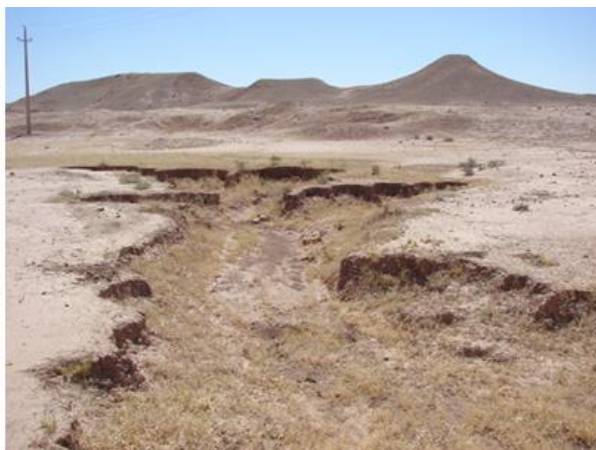


شکل ۲۰- نقش تغییر کاربری و بهره‌برداری نامناسب به‌وسیله انسان در گسترش و تخریب اراضی معرف سیدایاز

پهنه خندقی نفت‌شهر: این پهنه، با مساحت ۴۴۹۰/۶ هکتار در شهرستان قصرشیرین و مراتع گرمسیری شرق نفت شهر واقع شده است. گستره، طول، عرض و عمق متوسط خندق معرف، به ترتیب ۱۰ هکتار، ۲۵۰۰، ۷/۱ و ۱/۸ متر است. خندق معرف، روی رسوبات کواترنر حاصل از سازند آغاچاری با ترکیبات ماسه سنگ و مارن قرار دارد. ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریا ۲۵۰ متر، با شیب متوسط هفت درصد است. عمق متوسط خاک در این منطقه ۱۲۰ سانتی‌متر با بافت خاک سطحی لومی و بافت خاک تحتانی، رسی لومی است. پلان عمومی شبکه، پیشانی و نیم‌رخ عمودی خندقی پنجه‌ای، شاخه‌ای و نیم‌رخ عمودی با شکل مقطع خندق دوزنقه‌ای است (جدول‌های ۱ و ۲). نیم‌رخ طولی و پلان عمومی خندق معرف در پهنه نفت‌شهر به دلیل قرار گرفتن در محدوده اراضی مین‌گذاری شده و ممنوعه، مربوط به دوران جنگ عراق علیه ایران برداشت نشده است. عوامل ایجاد خندق شامل دو بخش طبیعی و انسانی است. شدت بارندگی، شیب زیاد، فرسایش‌پذیری خاک و تخریب پوشش گیاهی به‌عنوان عوامل طبیعی و تغییر کاربری و بهره‌برداری نامناسب به‌وسیله انسان، به‌عنوان عوامل انسانی گسترش این خندق است (شکل ۲۱).

کاربری اراضی در این پهنه، به‌صورت زراعت دیم است. خسارات ناشی از گسترش خندق‌ها در محدوده گسترش خندق، شامل تخریب راه‌های ارتباطی و ابنیه و تاسیسات، تخریب اراضی زراعی و کاهش توان تولید است. خسارات وارده در پایین‌دست ناشی از گسترش خندق، شامل افزایش میزان گل‌آلودگی آب، افزایش سیل‌خیزی در اثر رسوب‌گذاری در رودخانه‌ها و کاهش ظرفیت آبیگری سازه‌های آبی کوچک است. به‌منظور جلوگیری از گسترش خندق‌ها، می‌توان به روش‌های استفاده از سدهای گیاهی با گونه‌های شمشاد و اکالیپتوس در بعضی از خندق‌ها، استفاده از روش‌های بیولوژیکی شامل حفاظت و قرق، بذرکاری و بذرپاشی و نهال‌کاری با توجه به حساس بودن سازند زمین‌شناسی و استفاده از سدهای بیولوژیکی و توسعه کشت درخت‌های سریع‌الرشد و کاربری اراضی با توجه به پتانسیل آن‌ها اشاره کرد.

اقلیم خشک بیابانی معتدل: بر اساس نتایج، مساحت این اقلیم ۴/۰۷ درصد کل مساحت استان را تشکیل می‌دهد. مساحت مناطق خندقی در این اقلیم و کل مناطق خندقی، به ترتیب ۷۴/۳۳ و ۱۸/۱۷ درصد استان را شامل می‌شود. پهنه خندقی منطقه نفت‌شهر، به‌عنوان معرف مناطق این اقلیم است.



شکل ۲۱- نقش تغییر کاربری و بهره‌برداری نامناسب به‌وسیله انسان در گسترش و تخریب اراضی در خندق‌های معرف نفت‌شهر

بودن منطقه، هیچ عملیاتی به‌منظور مهار خندق‌ها صورت نگرفته است. اجرای عملیات بیولوژیکی در بالادست و حاشیه خندق‌ها و اجرای طرح‌های مرتع‌داری و کشت گونه‌های مقاوم به خشکی، پیشنهادی به‌منظور جلوگیری از گسترش خندق‌ها است.

کاربری اراضی این پهنه، به‌صورت مرتع است. خسارات ناشی از گسترش خندق‌ها در محدوده گسترش خندق، شامل تخریب اراضی زراعی و کاهش توان تولید است. خسارات وارده در پایین‌دست ناشی از گسترش خندق، شامل افزایش میزان گل‌آلودگی آب، افزایش سیل‌خیزی در اثر رسوب‌گذاری در رودخانه‌ها است. با توجه به ممنوعه

به منظور مهار خندق‌ها صورت نگرفته است. استفاده از روش‌های بیولوژیکی، شامل حفاظت و قرق، بذرکاری و بذرپاشی، از جمله روش‌های پیشنهادی به منظور جلوگیری از گسترش خندق‌ها در این منطقه است.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به دست آمده، مجموع سطح مناطق خندقی استان کرمانشاه ۴۰۹۸۹۵ هکتار است که حدود ۱۷ درصد از سطح استان کرمانشاه را در بر گرفته است. بر اساس نقشه اقلیمی دوارتن اصلاح شده، از ۱۴ اقلیم موجود در استان، هشت اقلیم دارای مناطق خندقی است که اقلیم نیمه‌خشک سرد دارای بیشترین سطح مناطق خندقی با ۱۳۲۸۳۵ هکتار و معادل ۳۲/۴۱ درصد را به خود اختصاص داده است. Karam و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی هفت عامل کمکی، شامل ارتفاع، شیب، بارش سالانه، متوسط کمینه دما، کمینه مطلق دما، تعداد روزهای با دمای زیر صفر و متوسط دمای سالانه پنج منطقه مورفوکلیماتیک خندقی در سطح استان کرمانشاه شناسایی کردند.

بزرگ‌ترین پهنه خندقی استان، در منطقه سرفیروزآباد با مساحت ۴۶۰۷۵ هکتار در اقلیم نیمه‌خشک سرد بوده است. پهنه خندقی نفت‌شهر با ۲۵۰ متر ارتفاع از سطح دریا کمینه ارتفاع و پهنه خندقی تخت‌گاه با ۱۸۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا، مرتفع‌ترین پهنه است. همچنین، پهنه ماهیدشت و سرفیروزآباد کرمانشاه با ۳۲۳ میلی‌متر بارندگی، کمینه باران و پهنه چشمه‌گذار و بالاخان جوانرود با ۷۶۱ میلی‌متر بیشینه بارندگی را داشته‌اند. لازم به ذکر است، پهنه خندقی نفت‌شهر و سومار که از نظر اقلیمی بیابانی هستند، دارای متوسط بارش ۳۸۱ میلی‌متر در سال بوده است. بر اساس اطلاعات حاصل از تجزیه و تحلیل نمونه‌های خاک، بافت خاک در لایه‌های سطحی در قسمت پیشانی خندق‌های منتخب، لومی، سیلتی لومی تا رسی و در خاک زیرسطحی، به صورت رسی تا رسی سیلتی و رسی لومی است. همچنین، درصد رس در بافت سطحی مناطق منتخب خندقی متغیر است، به طوری که در نفت‌شهر با ۱۲ درصد کمترین، و تخت‌گاه با ۵۶ درصد بیشترین مقدار و سایر پهنه‌ها بین ۱۷ تا ۵۳/۲ درصد، بیشترین مقدار رس را دارند. نتایج Soufi و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیقی به منظور بررسی مورفوکلیماتیک خندق‌های استان قزوین،

اقلیم خشک بیابانی گرم: بر اساس نتایج، مساحت خندق در این اقلیم ۴۴۰۹ هکتار است که وسعت آن در اقلیم، استان و کل خندق‌ها، به ترتیب ۱۸/۶۵، ۰/۱۸ و ۱/۰۷ درصد کل خندق‌های استان را شامل می‌شود. پهنه خندقی منطقه سومار، به عنوان معرف مناطق این اقلیم است.

پهنه خندقی سومار: پهنه این منطقه، با مساحت ۳۵۹۶/۸ هکتار در شهرستان گیلانغرب و در جنوب شهر سومار به فاصله پنج کیلومتر و در نزدیکی مرز کشور عراق واقع شده است. عمق متوسط خاک در این منطقه، ۱۱۰ سانتی‌متر است. بافت خاک سطح‌الارض لومی و بافت خاک تحت‌الارض، رسی لومی است. نتایج آزمایش نشان می‌دهد که عمدتاً از سطح به عمق، از میزان شن و سیلت کاسته شده و به میزان رس افزوده می‌شود. پلان عمومی شبکه، پیشانی و نیم‌رخ عمودی خندق پنجه‌ای، شاخه‌ای و پیشانی آبکند عمودی با شکل مقطع آبکند دوزنقه‌ای است (جدول‌های ۱ و ۲). نیم‌رخ طولی و پلان عمومی خندق معرف در این محدوده همانند پهنه نفت‌شهر برداشت نشده است. می‌توان به شدت بارندگی، فرسایش‌پذیری خاک و تخریب پوشش گیاهی به عنوان عوامل طبیعی و تخریب پوشش گیاهی و بهره‌برداری نامناسب به عنوان عوامل انسانی گسترش این خندق‌ها اشاره کرد (شکل ۲۲).



شکل ۲۲- نقش تغییر کاربری و بهره‌برداری نامناسب به وسیله انسان در گسترش و تخریب اراضی در خندق‌های معرف سومار

کاربری اراضی این پهنه، به صورت مرتع بوده و خسارت ناشی از گسترش خندق‌ها در محدوده گسترش خندق، شامل بهره‌برداری نامناسب به وسیله انسان و تخریب پوشش گیاهی است. خسارت وارده در پایین‌دست ناشی از گسترش خندق، شامل تخریب اراضی زراعی و کاهش توان تولید آن‌ها است. با توجه به ممنوعه بودن منطقه هیچ عملیاتی

تخریب پوشش گیاهی و اقدامات نادرست کشاورزی نظیر شخم در جهت شیب، اشاره کرد. Ghezelsolfoo و همکاران (۲۰۱۸) در استان گلستان نشان دادند که گسترش خندق‌ها رابطه مستقیمی با سازند زمین‌شناسی کاربری اراضی و سایر اقدامات انسانی، از جمله احداث غیراصولی راه‌های روستایی و درون مزرعه‌ای دارد. Nekouiemehr و همکاران (۲۰۱۱) نیز در بررسی ویژگی‌های مورفومتری فرسایش خندقی در منطقه امرند استان چهارمحال و بختیاری عوامل ایجادکننده خندق را به دو بخش عوامل طبیعی مانند شیب و سیل و عوامل انسانی مانند تغییر کاربری اراضی، تخریب پوشش گیاهی، جاده‌سازی و احداث پل تقسیم کردند.

نتایج این تحقیق، نشان می‌دهد که عامل پیش‌برنده در توسعه پهنه‌های خندقی در استان، تغییر کاربری اراضی و تخریب پوشش طبیعی گیاهی است. بنابراین، پیشنهاد می‌شود تا قرق و اجرای طرح‌های احیای پوشش گیاهی در این مناطق از اولویت ویژه‌ای برخوردار باشد و به‌منظور کنترل مناسب‌تر خندق‌ها و مدیریت این محدوده‌های خندقی توصیه می‌شود از اجرای طرح‌های بیولوژیکی و بیومکانیک استفاده شود.

گسترش دیم‌زارهای شیب‌دار و کم‌بازده، موجب گسترش فرسایش خندقی شده است. به‌علاوه، این عرصه‌ها از عملکرد تولید محصول بسیار پایین برخوردار هستند. پیشنهاد می‌شود، ضمن برگرداندن این اراضی به ظرفیت طبیعی خود، یعنی مرتع، از کشت گونه‌های علوفه‌ای و گیاهان دارویی به‌منظور تقویت خاک سطحی و کاهش رواناب سطحی و اقتصادی کردن بهره‌برداری از عرصه، استفاده شود. همچنین، در دشت‌های زراعی استان که در مناطق حساس به فرسایش و یا در محدوده پهنه‌های خندقی استان قرار دارند، استفاده از سامانه آبیاری سطحی، منجر به جاری شدن آب در پهنه دشتی شده و گاهاً موجب تخریب و فرسایش خندقی در این محدوده‌ها می‌شود. بنابراین، توصیه می‌شود بهره‌برداران از سامانه‌های مناسب آبیاری تحت فشار، مخصوصاً قطره‌ای و تیپ استفاده کنند. از آنجایی که عمده خندق‌های استان در سازندهای گروه تبخیری فارس ایجاد شده‌اند، توصیه می‌شود اجرای طرح‌های تعادل دام و مرتع در این مناطق در اولویت اول قرار داده شود. همچنین، کشت درختان مثمر، اقتصادی و مقاوم به خشکی از جمله بنه، بادام، مو و غیره، در اراضی

نشان داد که مناطق منتخب خندقی استان عمدتاً دارای بافت لومی، رسی و سیلتی لومی هستند.

موقعیت خندق‌های معرف در مناطق سید ایاز، نفت‌شهر، سومار و ماهیدشت سرفیروزآباد منطبق بر کف دشت و یا روی دامنه و در مناطق چشمه‌گذار، بالاخان، دهلق، جبارآباد، کله‌هو و تخت‌گاه منطبق بر دره واقع شده است. پلان عمومی بیشتر پهنه‌های خندقی استان از نوع پنجه‌ای است. موارد استثنا، پهنه خندقی تخت‌گاه با پلان خطی و پهنه‌های خندقی چشمه‌گذار و دهلق با پلان موازی بود. پلان پیشانی در پهنه‌های سرفیروزآباد، سید ایاز، نفت‌شهر و سومار، شاخه‌ای در مناطق دهلق، جبارآباد و تخت‌گاه، مدور نقطه‌ای و در پهنه چشمه‌گذار و در سایر پهنه‌ها مدور است. شکل پیشانی خندق‌ها در مناطق جبارآباد، ماهیدشت، سرفیروزآباد، سید ایاز، نفت‌شهر و سومار، عمودی و در مناطق چشمه‌گذار، بالاخان، دهلق، کله‌هو و تخت‌گاه مایل است.

Soufi و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی خندق‌های استان قزوین نشان دادند که پلان عمومی خندق‌ها عموماً پنجه‌ای، پلان پیشانی آن‌ها شاخه‌ای و شکل نیم‌رخ پیشانی آن‌ها مایل و عمودی هستند. شکل مقطع عرضی خندق‌ها نیز V، U و دوزنقه‌ای شکل بود. مطالعات Khazayi و همکاران (۲۰۱۲) در حوضه زهره و مارون نشان داد که شکل پلان عمومی خندق در منطقه، هم به‌صورت پنجه‌ای و هم خطی است، البته، در مناطق خندقی شدید، غالباً به‌صورت پنجه‌ای بوده و خطی دیده نشده است. همچنین، پلان عمومی پیشانی خندق در مناطق مورد مطالعه آن‌ها، غار مانند و دارای پوشش گیاهی است. نتایج این تحقیق، نشان داد که بخش مهمی از خندق‌های استان روی تشکیلات مارنی با فرسایش‌پذیری بالا به‌ویژه در مناطق غربی استان در دشت‌های سومار و نفت‌شهر قرار دارد. نتایج Heshmati و همکاران (۲۰۲۱) نیز نشان داد که از میان هشت سازند مارنی استان کرمانشاه، سه سازند امیران، کشکان و آغاچاری به‌دلیل شرایط توپوگرافی، حساسیت به انحلال و تغییر کاربری، آسیب‌پذیرترین سازندهای مارنی از نظر فرسایش خاک هستند.

حدود ۷۰ درصد مناطق خندقی در عرصه‌های مرتعی و ۳۰ درصد در مناطق کشاورزی شکل گرفته‌اند. از دلایل ایجاد خندق می‌توان به عواملی از جمله فرسایش‌پذیری خاک، شدت بارندگی، شیب، تبدیل اراضی مرتعی به دیم،

تحقیقات کاربردی و موردی با رویکرد بررسی آستانه‌های محیطی فرسایش خندقی در استان به‌ویژه آستانه‌های توپوگرافیک و آستانه‌های هندسی توسعه خندق، در هر پهنه خندقی استان تکمیل شود.

که دارای بارندگی نسبتاً بالایی هستند، توصیه می‌شود. در تحقیق حاضر، سیمایی از پهنه‌های خندقی استان مبتنی بر اقلیم‌های غالب محل گسترش این پهنه‌ها و همچنین، عوامل پیش‌برنده این پدیده در استان ارائه شده است. ضرورتاً پیشنهاد می‌شود، داده‌ها و نتایج این تحقیق با

منابع مورد استفاده

- Ahmadi, H. 2006. Applied geomorphology (water erosion). University of Tehran Press, 688 pages (in Persian).
- Ahmadi, H. 2011. Applied geomorphology (water erosion), University of Tehran Press, Fifth Edition, 688 pages (in Persian).
- Balandeh, N., A. Ahmadi, R. Sukuti and S. Darbandi. 2013. Determining the topographic threshold conditions for the expansion of trench erosion using geographic information system, case study: Reihanlu Watershed, West Azerbaijan. *Applied Soil Research*, 1(2): 1-15 (in Persian).
- Conoscenti, C.V., M. Agnesi, N. Cama, A. Caraballo-Arias and E. Rotigliano. 2018. Assessment of gully erosion susceptibility using multivariate adaptive regression splines and ac-counting for terrain connectivity. *Land Degradation Development*, 29(3): 724-736.
- Diaz, R.P., M.A. Sanleandro, F.B. Sanchez and H. Faulkner. 2006. The causes of piping in a set of abandoned agricultural terraces in southeast Spain. *Catena*, 17: 233-245.
- Ebrahimi, M. 2018. Identification of causes of the occurrence of gully erosion with emphasis on soil-related factors, case study: Agh Imam Watershed. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 7(2): 1-13 (in Persian).
- Ghezelsolflo, A., M. Maghrebi and F. Daroughe. 2018. Identification of expansion rate in active gullies using remote sensing. *Journal of Water and Sustainable Development*, 5(1): 67-72 (in Persian).
- Heshmati, M., H. Peyrovan, M. Gheitury, M. Ahmadi Molaverdi and A. Moradpour. 2021. Investigating marl formation and their dominant land use and erosion in Kermanshah Province. *Geography and Environmental Sustainability*, 10(4): 53-72 (in Persian).
- Imeson, A.C. and F.J.P.M. Kwaad. 1980. Gully types and gully predication. *Geografisch Tijdschrift*, 14(5): 430-441.
- Jalili, K., M. Hadidi and A. Jalili. 2009. Climate zonation of Kermanshah Province in 1: 50,000 scale using Embereger and Revised De Martonne methods. Research Final Report, Jihad Daneshgahi, Kermanshah, Iran (in Persian).
- Karam, A., M. Ranjbar, M. Eftekhari and N.A.N. Yaghoob. 2014. Classification of morph climatic zones of Kermanshah Province using cluster analysis method. *Geography*, 13 (39): 234-255 (in Persian).
- Khazayi, M., A. Shafeie and A. Molaei. 2012. Study of the factors affecting gully erosion development. *Iranian journal of Soil Research (Formerly Soil and Water Sciences)*, 26(2): 153-163 (in Persian).
- Kompani-Zare, M., M. Soufi, H. Hamzehzarghani and M. Dehghani. 2011. The effect of some watershed, soil characteristics and morphometric factors on the relationship between the gully volume and length in Fars Province, Iran. *Catena*. 86: 150-159.
- Marden, M., G. Arnold, A. Seymour and R. Hambling. 2012. History and distribution of steepland gullies in response to land use change, east coast region, north island, New Zealand. *Geomorphology*, 153: 81-90.
- Morgan, R.P.C., J.N. Quinton, R.E. Smith, G. Govers, J.W.A. Poesen, K. Auerswald, G. Chisci, D. Torri and M.E. Styczen. 1998. The European Soil Erosion Model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth Surface Processes Land*, 23: 527-544.
- Nekouiemehr, M., S.N. Emami, R. Raisian, M. Soufi and M. Goodarzi. 2011. Investigation of morpho-climatic characteristics of gullies in order to classify regions affected by gully erosion in Chaharmahal and Bakhtiary Province. *Watershed Engineering and Management*, 3(1): 48-56.
- Nyssen, J. 2001. Erosion processes and soil conservation in a tropical mountain catchment under threat of anthropogenic desertification, a case study from Northern Ethiopia. PhD Thesis, Katholieke University Leuven, 121 pages.
- Parkner, T., M. Page, M. Marden and T. Marutani. 2007. Gully systems under undisturbed indigenous forest, east coast region, New Zealand. *Geomorphology*, 84(3-4): 241-253.
- Posesen, J., J. Nachtorgale and G. Verstrac. 2003. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. *Catena* 50: 91-133.

20. Rahi, G.H., A. Kavian, K. Soleimani and H. Pourghasemi. 2021. Effect of topographic threshold conditions for gully head development in different use, case study: Boushehr Province. *Journal of Range and Watershed Management*, 47(1): 69-81.
21. Rey, F. 2003. Influence of vegetation distribution on sediment yield in forested marly gullies. *Catena*, 50(2-4): 549– 562.
22. Roblesa, C. M. 2010. Factors related to gully erosion in woody encroachment in south-eastern Australia. *Catena*, 83(2-3): 148-157.
23. Shirani, K. 2021. Gully erosion mapping and susceptibility assessment using statistical and probabilistic methods. *Journal of Water and Soil Science*, 25(2):151-174.
24. Soleimanpour, M., B. Hedayati, M. Sufi and H. Ahmadi. 2015. Determining the threshold of factors affecting the longitudinal expansion of gullies using data mining techniques in Mahour Milati region of Fars Province. *Iranian Watershed Engineering Sciences*, 9(29): 47-57.
25. Solomon Ehiz, O. and U.N. Omougbo. 2013. Evaluating factors responsible for gully development at the University of Benin. *Journal of Emerging Trend in Engineering and Applied Science*, 4: 707-713.
26. Soufi, M., M. Zanjani Jam, R. Bayat, A. Gomrokchi and A. Dargahi. 2011. A survey on the morpho-climatic characteristics of gullies in Ghazvin Province. Research Final Report, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, 131 pages (in Persian).
27. Svoray, S. and H. Markovitch. 2009. Catchment scale analysis of the effect of topography, tillage direction and unpaved roads on ephemeral gully incision. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34: 1970–1984.
28. Valentin, C., J. Poesen and G. Li. 2005. Gully erosion: impacts, factors and control. *Catena*, 63: 132–153.
29. Vente, J.D., J. Poesen, G. Verstraeten, A.V. Rompaey and G. Govers. 2008. Spatially distributed modeling of soil erosion and sediment yield at regional scales in Spain. *Global and Planetary Change*, 60: 393–415.
30. Wani, P.P. and R. Sudi. 2006. Gully control in SAT Watershed. *International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, SAT*, 2(1): 1-22.
31. Zanjani, J.M., M. Soufi, R. Bayat and M. Rasouli. 2013. Investigation on morpho-climatic characteristics of gullies in order to classify gully affected regions in Zanjan Province, Iran. *Watershed Management Research*, 26(2): 1-10.
32. Zarei, H., A. Najafinejad, M. Hosseinalizadeh and K. Alipour. 2018. 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.

Morphometric factors affecting gully erosion development and its climatic zoning in Kermanshah Province, Iran

Kosrow Shahbazi^{1*}, Yahya Parvizi² and Mahin Kalehhouei³

¹ Associate Professor, Forest and Rangeland Research Institute, AREEO, Tehran, Iran, ² Associate Professor Soil Conservation And Watershed Management Research Institute, AREEO, Tehran, Iran and ³ PhD Student, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University

Received: 01 October 2021

Accepted: 21 February 2022

Abstract

Gully erosion contributes severe land degradation. It is therefore, necessary to identify the aggravating factors and to provide for sensitive areas to gully development. The aim of this study was to determine the spatial and climatic distribution of gully in Kermanshah Province, Iran and to identify the morphological characteristics and the main factors of their development. First, using 1: 20,000 and 1: 50,000 aerial photographs, the predominantly gully areas of the province were identified and then this information was corrected using field survey. The climatic zones of the gully areas are identified using existing maps and modified by the Domarten Method. In each climate, one to three gully areas were identified as targets and in each of them a gully was identified and two replications were identified. The gully channel characteristics were location, landuse, dimensions at the head-cut, intervals of 25, 50 and 75%, slope, width, length and cross section. The results showed that 17% of areas in the Kermanshah Province was affected by gully erosion comprising eight sub-climate classes. Dominant topographic conditions of gullies were developed at hilly and gentle plain areas with Trapezoidal cross section. The cross section indicated deep and V-shaped gully in marl formations (Fars group). These areas included Sarfiroozabad, Somar and Jabbarabad where most of gully measures were deeper and wider than other parts. Among the effective factors in creating and expanding the gully, we can mention heavy rainfall, slope, soil erodibility and destruction of vegetation upstream of the basin as natural factors and change of land use and improper exploitation as human factors in developing gully erosion.

Keywords: Gully areas, Human factors, Land use change, Natural factors, Spatial distribution

* Corresponding author: khosrw_shahbazi@yahoo.com