

تحلیل عوامل مؤثر بر شکل‌گیری و توسعه فرسایش خندقی (مطالعه موردی: حوضه

دشت کهور در استان فارس)

مجتبی یمانی¹، دانشیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران

سید محمد زمان‌زاده، استادیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران

مهدی احمدی، کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران، ایران

چکیده

شناسایی عوامل مؤثر در گسترش فرسایش خندقی و پهنه‌بندی آن یکی از ابزارهای اساسی و مهم جهت مدیریت و کنترل این پدیده و انتخاب مناسب‌ترین و کاربردی‌ترین گزینه مؤثر در مقابله با این پدیده است. از این رو این تحقیق با هدف شناسایی عوامل مؤثر بر رشد و گسترش فرسایش خندقی و پهنه‌بندی حساسیت اراضی به فرسایش خندقی در حوضه دشت کهور با روش تحلیل سلسله مراتبی انجام شده است. بدین منظور ابتدا تعدادی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر توسعه فرسایش خندقی در منطقه شامل: درصد شیب، جهت شیب، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، منابع و قابلیت اراضی، شناسایی و در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه و رقومی شدند. سپس نقشه محدوده خندق‌ها با استفاده از عکس‌های هوایی مربوط به سال 1372 تهیه گردید. در مرحله بعد، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) عوامل مؤثر به صورت زوجی و وزن هر یک از عوامل که نشان دهنده میزان تأثیر آن‌ها است محاسبه شده است. آنگاه با توجه به مقادیر کمی، نقشه وزنی هر عامل، تهیه و در نهایت اقدام به پهنه‌بندی فرسایش خندقی با استفاده از لایه‌های وزنی و ضریب وزنی مربوط به هر یک از عوامل گردیده است. نتایج حاصل از این بررسی نشان می‌دهد که از بین عوامل بررسی شده، فاکتور سنگ‌شناسی، با ضریب 0/4667، در درجه اول و عامل کاربری اراضی، با ضریب 0/2483، در درجه دوم اهمیت در ایجاد خندق‌های منطقه است. بررسی میزان صحت نقشه پهنه‌بندی با نقشه محدوده خندق‌های منطقه، مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان می‌دهد که 100 درصد از محدوده مورد بررسی شرایط خندقی شدن در پهنه‌های با ریسک‌پذیری زیاد و خیلی زیاد قرار دارد.

کلمات کلیدی: فرسایش خندقی، دشت کهور، لامرد، استان فارس.

1- مقدمه

فرسایش آبی با اشکال مختلفی بر روی زمین ظاهر می‌شود که یکی از اشکال پیشرفته آن خندق‌ها هستند. فرسایش خندقی در حوضه دشت کهور به دلیل قدرت تخریب بالایی که دارد، موجب خسارت به اراضی زراعی، سازه‌های انسانی، راه‌های ارتباطی و... شده است (شکل 1)، دوئیت² و همکاران (2008: 10) قابلیت استفاده از عوامل کنترل‌کننده مستخرج از داده‌های مکانی معمول (نقشه‌های توپوگرافی و سنگ‌شناسی، عکس‌های هوایی) را برای تهیه نقشه‌ی حساسیت فرسایش خندقی مورد آزمون قرار دادند. اغلب خندق‌ها پس‌رونده هستند. مدل بالاترین 50 درصد هر سامانه را به عنوان کاربری اراضی، سنگ‌شناسی و هیدرولوژی (فرساینده‌ی رواناب) را به عنوان متغیرهای غیرمستقل در نظر گرفتند. در این مدل از روش همسایگی به ترتیب بر اساس مقایسه استفاده شد که برای هر متغیر مستقل، بین دو تابع توزیع تجربی، استفاده شد. ارزش دو EDF تفاوت بین دو سال را نشان داد مدل پیش‌بینی حساسیت‌پذیری با ضرب کردن توابع همسایگی به دست آمد. این مسئله هم نتایج مربوط به نرخ پیش‌بینی و نقشه‌ی حساسیت‌پذیری را

تهیه می‌کند. دسکروئیکس^۳ و همکاران (2008: 325) با انجام مطالعات صحرائی و اندازه‌گیری رواناب‌ها و مقادیر فرسایش خاک در منطقه‌ی سیرامادر^۴، در شمال مکزیک، به تعیین نقش فرسایش ورقه‌ای و خندقی پرداختند. در پایان مشخص شد که چرای بیش از اندازه و جنگل تراشی عمده‌ای در ایجاد فرسایش‌ها دارند. اسمولسکا^۵ (2007: 129) در تحقیق مشابهی در شمال شرق لهستان به این نتیجه رسید که مواد منشأ رسوبات و تغییر در رسوب‌گذاری با تغییر در استفاده از جنگل و اراضی زراعی در قرن‌های گذشته در ارتباط هستند. وی بیان کرد که موقعیت توپوگرافیکی خندق‌ها به منشأ و سن آن‌ها بستگی دارد. بنابراین تحقیق بر اساس سن و سنگ‌شناسی رسوبات و سرعت گسترش مخروط‌ها، چهار مرحله در فرسایش خندقی قابل تشخیص است. مرحله اول تحت تأثیر اقلیم است و مراحل بعدی ناشی از تأثیر متقابل اقلیم و انسان شکل می‌گیرد. مندز^۶ و همکاران (2007: 267) 133 خندق دائمی را در محدوده‌ای به وسعت 71/8 کیلومتر مربع در شیب‌های شمالی ارتفاعات ایبریا پنیسولا^۷ مورد بررسی قرار دادند. نتایج بیان‌گر این بود که همبستگی زیادی بین مورفولوژی، ناهمواری و شدت فرسایش وجود دارد و ایجاد خندق در منطقه تحت تأثیر وجود رگولیت قرار می‌گیرد. علاوه بر این فرآیند ایجاد و توسعه خندق در ارتباط با فرآیندهای لغزش زمین است. تخریب جنگل و تغییرات منطقه‌ای از جمله عوامل تشدید خندق‌ها در منطقه هستند. لشن^۸ و همکاران (2007: 110) در مطالعاتی که با هدف شناخت مناطق آسیب‌پذیر برای فرسایش خندقی در منطقه‌ای نیمه‌خشک واقع در جنوب شرقی اسپانیا انجام داده‌اند، پس از این که بیان داشتند که علت جریان‌ات خطی در مسیر رواناب در لایه سطحی زمین و کاهش ظرفیت نگهداری سطحی، میزان افزایش خندقی در زمین رها شده نسبت به زمین‌های تحت کشت بیشتر است، با اعمال مدل‌سازی در این عرصه‌ها نهایتاً بدین نتیجه رسیدند که بیشتر زمین‌های آسیب‌پذیر اطراف رئوس کانال‌ها قرار دارند. ریجسدیک^۹ و همکاران (2006: 38) با مطالعه رواناب و رسوبات حاصل از خندق‌ها در دو ناحیه در جاوه شرقی، اندونزی، به نقش این نوع فرسایش در اراضی آتشفشانی پرداختند. نتایج نشان می‌دهد رخ دادن این فرسایش‌ها بیشتر ناشی از کاربری اراضی و شخم ناصحیح بود. اشمیت^{۱۰} و همکاران در سال (2006: 192) مقاله‌ای منتشر کردند که در آن به مطالعه‌ی مقیاس زمان در فرسایش خندقی در جنوب شرقی لهستان پرداختند. با انجام مطالعات چینه‌شناسی و رادیوکربن مشخص شد که بیشترین تأثیر بر اندازه خندق‌ها ناشی از تغییر کاربری اراضی است. دسیر و مارین^{۱۱} (2006: 31) در مطالعه‌ای برای بررسی عوامل کنترل‌کننده سرعت فرسایش در مناطق نیمه‌خشک در اسپانیا، نشان دادند که سرعت فرسایش در خندق‌ها بستگی به روش و زمان اندازه‌گیری دارد و دقیق‌ترین مقادیر از متوسط مقادیر اندازه‌گیری

3- Descroix

4- Sierra Madr

5- Smolska

6- Menendez - Duarte

7- Iberian Peninsula

8- Lesschen

9- Rijdsdijk

10- Schmitt

11- Desir & Marin

شده بدست آمدند. همچنین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سازندها نیز در این امر تأثیرگذار بودند. پوزن^{۱۲} و همکاران (2003: 91) یکی از دلایل مهم در رابطه با سرعت شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی، را تغییر وضعیت و رفتار فرسایش خندقی در طول زمان دانسته‌اند. مورگان^{۱۳} (2003)، بیان نمود فرسایش خندقی پدیده‌ای با اندر کنش‌های بین عوامل مؤثر در آن شامل حجم، سرعت و نوع رواناب، نوع و حساسیت خاک به فرسایش، تغییرات ایجاد شده در حفاظ روی خاک (اعم از پوشش گیاهی و یا پوشش‌های غیر بیولوژیکی)، کاربری اراضی و اقدامات و عملیات انسانی در مناطق مختلف است. عیسایی و صوفی (1384: 5) با مطالعه مناطق خندقی استان گلستان بیان می‌دارند که پلان عمومی بخش اعظم خندق‌ها به صورت خطی است. تخریب پوشش گیاهی، حساسیت زیاد نهشته‌های لسی به فرسایش، کاربری اراضی نامناسب از علل اصلی ایجاد خندق‌ها در استان گلستان هستند. خندق‌های استان عمدتاً دارای عمق متوسط بین 8/5 تا 1 متر هستند. نیمرخ عمودی در پیشانی خندق‌ها معرف نقش عمده روان آب سطحی در گسترش آن است. در صورتی که نیمرخ حالت غار داشته باشد تأثیر روان آب زیر سطحی یا جریان لوله‌ای در ایجاد آن مؤثر است. سلیمان پور (1386) با بررسی خندق‌های استان فارس چنین نتیجه‌گیری کرده که خندق‌های مورد بحث وی بر روی سازندهای آبرفتی و مارنی ایجاد و گسترش یافته‌اند. عابدینی (1384: 113) در تحقیقی در زمینه فرسایش خندقی ارتفاعات جنوب غرب دشت هادی شهر (شمال غرب آذربایجان شرقی) از طریق روش‌ها و تکنیک‌های جدید بدین نتیجه رسید که بیشتر خندق‌ها در سطح دشت‌ها، جایی که شیب بسیار ملایم است شکل گرفته‌اند، به عبارتی با افزایش شیب، ضخامت سازندهای سطحی سست کاهش یافته و به دنبال آن طول و تعداد خندق‌ها کاهش یافته است. نتایج حاصل از مطالعات انجام شده درباره عوامل مؤثر در رخداد فرسایش و رسوب نشانگر این است که در اکثر حوضه‌های آبخیز نوع استفاده از اراضی، نقش مهمی در رخداد و تشدید فرسایش و تولید رسوب دارد (قدوسی و همکاران، 1382). حیدری (1383: 105) در تحقیقی با عنوان بررسی مکانیزم فرسایش خندقی در استان کرمان به بررسی عوامل مؤثر در گسترش خندق‌ها با استفاده از حجم آن‌ها پرداخته است. ایشان نتیجه گرفتند که عوامل مؤثر در گسترش خندق‌ها در استان کرمان مساحت آبخیز و شیب بالای پیشانی خندق‌ها بوده و دلالت بر تأثیر مهم رواناب سطحی که اغلب در اثر تغییر کاربری اراضی به وجود آمده است، دارد. صمدنژاد (1381: 69) در مطالعه بر روی خندق‌های استان فارس رابطه بین مورفولوژی خندق و برخی علل تشکیل آن‌ها را مورد بررسی قرار داد. او با طبقه‌بندی خندق‌ها به سه گروه جبهه‌ای، پنجه‌ای و طولی و همچنین اندازه‌گیری و ثبت فاکتورهای شیب، کاربری اراضی و برداشت نمونه‌های خاک در دو افق سطحی و عمقی دیواره خندق تشخیص داد که مهم‌ترین عامل، شیب می‌باشد، عوامل درصد املاح در افق عمقی و کاربری اراضی به ترتیب سایر عوامل مؤثر در مورفولوژی خندق می‌باشد.

با در نظر گرفتن مجموع مطالب فوق که منعکس کننده نتایج تحقیقات انجام شده درباره فرسایش خندقی به ویژه عوامل مؤثر در ایجاد و گسترش این نوع فرسایش است، می‌توان نتیجه گرفت که هر چند تا حدود زیادی عوامل مؤثر در ایجاد و تشدید فرسایش خندقی مشخص شده است، اما تنوع و تغییر تعداد و میزان تأثیر عوامل مختلف از نقطه‌ای به

12- Poesen

13- Morgan

نقطه دیگر و متفاوت بودن سهم مشارکت آن‌ها در شکل‌گیری و گسترش خندق‌ها در تبعیت از شرایط زمین محیطی ایجاب می‌کند که تحقیقات بیشتری جهت شناسایی هرچه بیشتر عوامل مؤثر در رخداد فرسایش خندقی و میزان مشارکت آن‌ها در شکل‌گیری و گسترش این پدیده در نقاط مختلف و با شرایط زمین محیطی متفاوت به مرحله اجرا در آید. با توجه به این که تاکنون هیچ گونه تحقیقی بر روی این پدیده در منطقه مورد مطالعه انجام نشده سعی شده است تا با استفاده از داده‌های سنجش از دور و به‌کارگیری تکنیک‌های سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی همراه با داده‌های حاصل از مطالعات میدانی اقدام به بررسی و تجزیه و تحلیل عوامل تأثیرگذار بر ایجاد، رشد و گسترش فرسایش خندقی جهت دستیابی به راه حل‌های راهبردی جهت کنترل و کاهش میزان توسعه این پدیده در منطقه مورد مطالعه شود.



شکل 1- اراضی که تحت تأثیر فرسایش خندقی قرار گرفته‌اند

2- منطقه مورد مطالعه

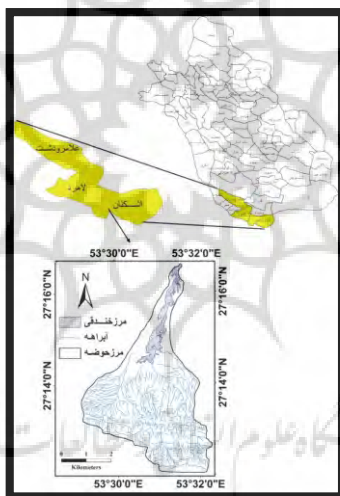
حوضه مورد مطالعه، در جنوب استان فارس، در مسیر جاده لامرد - اشکنان در 30 کیلومتری شمال خط ساحلی خلیج فارس واقع شده است. دشت کهور به صورت یک دشت دامنه‌ای حاصل از رسوبات آبرفتی دوران چهارم زمین‌شناسی است که در بین دو رشته طاق‌دیس با جهت شمال غربی - جنوب شرق واقع شده است. مساحت حوضه دشت کهور با 1972/62 هکتار و میزان مساحت مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی در حدود 116/16 هکتار برآورد گردیده. ارتفاع متوسط حوضه 485 متر از سطح دریا، حداقل ارتفاع در منطقه برابر 380 متر از سطح دریا و حداکثر ارتفاع معادل 1080 متر از سطح دریا می‌باشد. میزان بارندگی متوسط سالانه معادل 211/5 میلیمتر (اطلاعات ایستگاه باران سنجی لامرد)، حداکثر شدت بارندگی 24 ساعته با دوره بازگشت 1000 ساله در حوضه آبخیز لامرد معادل 169/8 میلیمتر است. در بارندگی 48 ساعته با دوره بازگشت 1000 ساله، حوضه آبخیز لامرد دارای حداکثر شدت 221/8 میلیمتر است. (صوفی و همکاران 1383، 46).

میزان تبخیر سالیانه بین 2867 تا 3704 میلیمتر متغیر است و دمای متوسط سالانه برابر 24/2 درجه سانتی‌گراد برآورد گردیده است (طرح توسعه و عمران ناحیه جنوب فارس، 1386). اقلیم این منطقه با استفاده از روش دومارتن به صورت خشک بیابانی معرفی شده است از لحاظ پوشش گیاهی، این منطقه در وضعیت ضعیفی قرار دارد. تیپ غالب پوشش منطقه کهور بومی بوده، گونه‌های همراه اغلب شامل کنار، تاغ و علف شور است. (شکل 2) موقعیت حوضه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

3- مواد و روش‌ها

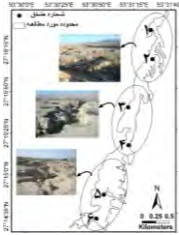
3-1- گردآوری اطلاعات

داده‌ها مبتنی بر مطالعات و بررسی‌های کتابخانه‌ای، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های زمین‌شناسی و عملیات میدانی گردآوری شده است. ابزارهای اصلی پژوهش را نقشه‌های توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی و نقشه زمین‌شناسی شرکت ملی نفت تشکیل داده‌اند. داده‌های تفصیلی و مقیاس بزرگ از طریق کارهای میدانی تهیه شده‌اند.



شکل 2- موقعیت حوضه دشت کهور در استان فارس

از جمله پیمایش محیط اراضی خندقی برای اندازه‌گیری مساحت و ثبت موقعیت آن‌ها با دستگاه GPS انجام شده است. همچنین برای تشخیص نوع و ویژگی‌های عمق و عرض خندق‌ها ضمن انتخاب نمونه‌های منتخب این ویژگی‌ها دقیقاً اندازه‌گیری و برداشت شده و در تحلیل تعمیم داده شده‌اند. بدین منظور بر اساس خصوصیات کلی و ظاهری خندق‌های منطقه مورد مطالعه، شش خندق در سه محدوده شاخص، به عنوان خندق‌های معرف انتخاب گردیده است (شکل 3).



شکل 3- موقعیت خندق‌های معرف

خندق‌های مذکور از نظر خصوصیات کلی شاخص و در برگیرنده نمونه خندق‌های منطقه بوده‌اند. جهت مورفومتری بر روی خندق‌های معرف، از ابزارهای متر، مترلیزری و GPS استفاده شده است. مقاطع اشاره شده، مربوط به 25٪ درصد، 50٪ درصد و 75٪ درصد طول شاخه اصلی از پیشانی خندق است که در هر مقطع، عرض‌های بالا و پایین و عمق اندازه‌گیری، و به همراه دیگر خصوصیات هر خندق ثبت شده است (جدول 1).

پس از تهیه داده‌ها، نقشه‌های توپوگرافی با ساختن مدل رقومی ارتفاعی (DEM¹⁴) به منظور تهیه لایه‌های اطلاعاتی شیب و جهت شیب رقومی شده‌اند. همچنین لایه‌های سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، منابع و قابلیت اراضی و تفکیک مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی به ترتیب با استفاده از نقشه زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و نقشه رقومی موسسه تحقیقات خاک و آب استان تهران که در سال 1370 و با مقیاس 1:250000 تهیه گردیده، استفاده شده است.

جدول 1- خصوصیات طبیعی و مورفومتریکی خندق‌های شاخص

نوع کاربری	نام کشاورزی	پلان سرخندق			طول خندق (متر)	مقطع عرضی	ارتفاع از سطح دریا	طول و عرض	شماره خندق	
		عمق	عرض پایین	عرض بالا						
✓	عمودی	مادور	مقطع 75٪ درصد از طول خندق (متر)		136	U	386	27°16'25.04"N 53°31'24.00"E	1	
			1/80	0/41						3/21
			1/34	0/92						
✓	غارمانند	مادور	مقطع 50٪ درصد از طول خندق (متر)		175	U	389	27°16'05.64"N 53°31'26.00"E	2	
			2/50	0/23						5/84
			1/71	0/56						

14 - Digital Elevation Model

✓	✓	✓	✓
مایل	عمودی	غارمانند	غارمانند
مدور	مدور	مدور	مدور
3	4/37	4/76	4/89
3	3/26	1/15	1/25
5	4/26	4/70	7/48
2/69	3/70	3/28	3/53
0/87	0/80	1/67	1/45
4/50	3/75	4/30	4/58
1/60	1/95	1/76	1/81
2/24	3	3	3/45
3/90	6/50	6/51	4/47
179	147	142	158
U	U	U	U
394	398	400	403
27°15'37.8 9"N	27°15'15.7 2"N	27°14'46.73" N	27°14'31.44" N
53°31'07.3	53°31'11.3	53°30'54.61"	53°30'44.91"E
3	4	5	6

3-2- روش تجزیه و تحلیل اطلاعات

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها پس از ایجاد بانک اطلاعاتی مربوط به مشخصات و ویژگی‌های خندق‌های منطقه از نرم‌افزارهای رایانه‌ای استفاده شده و داده‌ها پردازش شده‌اند. سرانجام پس از تجزیه و تحلیل نقشه‌سازی شده و بین عوامل زمین محیطی با عوامل شکل‌دهنده در فرسایش خندقی طی مراحل زیر ارتباط داده شده است.

- تلفیق متغیرهای مستقل با متغیر وابسته به منظور بدست آوردن مساحت خندقی شده در طبقات عوامل.
- مقایسه زوجی عوامل مؤثر در رخداد فرسایش خندقی.
- محاسبه ضریب وزنی عوامل با روش میانگین حسابی.
- طبقه‌بندی متغیرهای مستقل.
- وزن‌دهی به طبقات عوامل مختلف به صورت نیمه کمی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و تهیه نقشه‌های وزنی متغیرها.
- پهنه‌بندی فرسایش خندقی منطقه به روش (AHP¹⁵).
- بررسی مورفومتری خندق‌های معرف و روند تغییرات خندق‌ها طی چهار دوره زمانی، سال‌های 35، 47، 72 و 1389.

4- یافته‌ها و بحث

4-1- متغیرهای تأثیر گذار

¹⁵- Analytical Hierarchy Process

همان گونه که ذکر شد عموماً در شیب‌های تند، فرسایش بیشتر است؛ زیرا به نسبت افزایش شیب، سرعت رواناب نیز بیشتر می‌شود. جدول 2 طبقات شیب حوضه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با تلفیق لایه شیب با لایه مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی مشاهده گردیده که 98/39 درصد خندق‌ها در شیب 0 تا 3 درصد رخ داده است و اساساً منطقه خندقی، دارای شیب کمتر از 3 درصد است. نتایج با یافته‌های سایر محققین نیز توافق دارد (راهی، 1377، احمدی، 1378 و عابدینی، 1384). به عبارتی با افزایش شیب ضخامت سازندهای سطحی سست کاهش یافته و به دنبال آن طول و تعداد خندق‌ها کاهش می‌یابد که نتایج مذکور با نتایج حاصل از جدول 2 در تحقیق حاضر مطابقت دارد.

جدول 2- توزیع طبقات شیب و میزان مساحت خندقی شده در منطقه

طبقات شیب (درصد)	مساحت طبقه (هکتار)	درصد طبقه	مساحت خندقی (هکتار)	درصد خندقی
0-3	862/23	43/73	114/30	98/39
3-5	174/84	8/86	1/86	1/61
5-10	131/33	6/65	-	-
10-20	133/87	6/78	-	-
< 20	670/35	33/98		

همچنین مقایسه لایه جهت شیب با لایه محدوده خندقی، مشخص می‌کند که 54/22 درصد از منطقه خندقی در طبقه شمال قرار گرفت است. جدول 3 توزیع طبقات جهت شیب و میزان مساحت خندقی شده را نشان می‌دهد. جهت شیب در فرسایش و آبدوی اثر غیرمستقیم دارد. شیب‌های هم درجه ولی با جهات متفاوت یک منطقه معمولاً به طور یکسان با خطر فرسایش روبرو نیستند. اثر عمده جهت شیب در میزان آبدوی و فرسایش به سبب اختلاف ریز اقلیم موجود در شیب‌های مختلف است (قهرودی 1382).

جدول 3- توزیع طبقات جهت شیب و میزان مساحت خندقی شده در منطقه

جهت شیب	مساحت طبقه (هکتار)	درصد طبقه	مساحت خندقی (هکتار)	درصد خندقی
مسطح	314/45	15/94	20/96	18/04
شمال	1005/13	50/97	62/96	54/22
شرق	211/74	10/73	12/91	11/11
جنوب	129/68	6/57	-	-
غرب	311/60	15/79	19/32	16/63

رخنمون سازندهای حوضه از تشکیلات آسماری و جهرم و در کوهپایه‌ها از سازندهای آغاچاری، میشان و گچساران و در دامنه‌ها و دهانه خروجی حوضه آبخیز از سنگ‌های رسوبی کنگلومرای بختیاری است. منطقه فروافتاده حوضه را رسوبات آبرفتی تشکیل می‌دهند. جدول 4 خصوصیات سازندهای زمین‌شناسی منطقه را به ترتیب سن نشان می‌دهد.

جدول 4- خصوصیات سازندهای زمین‌شناسی حوضه دشت کهور

سن	علامت	خصوصیات سنگ‌شناسی	نام سازند
----	-------	-------------------	-----------

دوران	دوره	دور		
سوزونیک	کواترن		QT	آبرفت امروزه (دشت آبرفتی)
	نئوزن	پلیوسن بالایی	BK	کنگلو مرا
		پلیوسن	AJ	سیلتستون، مارن ژپس دار، سنگ آهک
		میوسن	MN	مارن خاکستری و آهک های رسی
	پالئوزن	الیگومیوسن	GS	مارن های قرمز و سبز رنگ ژپس دار، آهک، انیدریت
		ائوسن - الیگو	AS-JA	دولومیت و آهک های دولومیتی
				رسوبات کواترنری بختیاری آغاجاری میشان گچساران آسماری و جهرم

مطالعه ارتباط بین متغیر سنگ شناسی با خندق ها نشان داد که با وجود این که کل منطقه شامل 6 نوع واحد سنگ شناسی است؛ اما کلیه مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی تنها در 1 واحد سنگ شناسی قرار دارد. جدول (5) که شامل رسوبات کواترنری می باشد. رسوبات کواترنری دربرگیرنده آبرفت های تشکیل شده از سازندهای گروه فارس (آغاجاری، میشان، گچساران) با نسبت املاح بالا است (به خصوص میشان و گچساران) که می تواند یکی از عوامل مهم در تشکیل و گسترش خندق ها در منطقه مورد مطالعه باشد. کاربری اراضی نیز به عنوان متغیر تأثیرگذار عمده مورد بررسی قرار گرفته و با این هدف، زمین های بایر، کشاورزی و مرتع فقیر در کل حوضه تفکیک شد. با ترکیب نقشه کاربری اراضی منطقه دشت کهور، با نقشه مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی مشخص گردید که بیشترین میزان خندق ها معادل 75/73 درصد در کاربری زمین های کشاورزی قرار گرفته است. همچنین معادل 24/27 درصد محدوده خندقی نیز در زمین های بایر واقع شده اند و در کاربری مرتعی فقیر هیچ گونه خندقی مشاهده نشده است. با توجه به مشاهدات صحرایی و شکل های (4 و 5)، به نظر می رسد که شخم در جهت شیب منطقه، نحوه آبیاری این اراضی، جاده سازی خاکی برای تردد وسائط نقلیه کشاورزی که این امر باعث بهم خوردگی سطح خاکی توسط ماشین آلات می شود و همچنین تبدیل اراضی مرتعی به اراضی کشاورزی و در نهایت رها کردن این اراضی از عواملی هستند که در شکل گیری و پیشروی خندق ها تأثیر بیشتری داشته اند.

جدول 5- توزیع طبقات سنگ شناسی و میزان مساحت خندقی شده در منطقه

نوع سازند	مساحت طبقه (هکتار)	درصد طبقه	مساحت خندقی (هکتار)	درصد خندقی
رسوبات کواترنری	898/82	45/56	116/16	100
بختیاری	402/87	20/42	-	-
آغاجاری	162/98	8/26	-	-
میشان	365/65	18/53	-	-
گچساران	108/80	5/51	-	-
آسماری و جهرم	34/00	1/72	-	-

وندکرچف¹⁶ و همکاران (2003) در نتایج مطالعات خود بر روی خندق‌های منطقه‌ای در جنوب شرق اسپانیا بیان داشتند که حجم فرسایش خندقی در مقیاس‌های زمانی متوسط (30-10 سال)، بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده در زمان‌های کوتاه (10-5 سال) است و علت آن نیز تأثیر تغییرات کاربری اراضی و اقدامات ناموفق مدیریت اراضی در مقیاس زمانی متوسط است. عیسایی و صوفی (1384)، کاربری نامناسب را نیز از علل اصلی ایجاد خندق‌ها در استان گلستان می‌دانند. جدول 6 توزیع طبقات کاربری و میزان مساحت خندقی شده در حوضه دشت کهور را نشان می‌دهد. همچنین جدول 7 ارتباط منابع و قابلیت اراضی را با توسعه‌یافتگی فرسایش خندقی نشان می‌دهد.



شکل 4 و 5- رها کردن زمین‌های زراعی و شخم اراضی کشاورزی در جهت شیب

جدول 6- توزیع طبقات کاربری اراضی و میزان مساحت خندقی شده در حوضه

نوع کاربری	مساحت طبقه (هکتار)	درصد طبقه	مساحت خندقی (هکتار)	درصد خندقی
زمین‌های بایر	70/82	3/59	28/20	24/27
کشاورزی	383/88	19/46	87/95	75/73
مرتع فقیر	1517/91	76/95	0	0

جدول 7- توزیع طبقات منابع و قابلیت اراضی با میزان مساحت خندقی شده در منطقه

واحد اراضی	تیپ اراضی	مساحت طبقه (هکتار)	درصد طبقه	مساحت خندقی (هکتار)	درصد خندقی
1-4	کوهستان	1388/05	70/37	-	-
4-3	دشت‌های دامنه‌ای	389/40	19/74	116/16	100
8-2	واریزه‌های بادبزنی شکل سنگریزه‌دار	195/16	9/89	-	-

¹⁶- Vandekrckhove

4-2- مقایسه زوجی عوامل، وزن‌دهی و تهیه نقشه پهنه‌بندی

با مقایسه زوجی عوامل، بر اساس مجموعه مشاهدات و بررسی‌ها و نهایتاً نظریه کارشناسی جدول (8) حاصل گردیده که به صورت زیر ارائه می‌گردد. با تقسیم هر عضو از ماتریس فوق بر مجموع ستون خودش جدول ماتریسی (9) حاصل گردید که میانگین هر سطر از آن، ضریب وزنی آن عامل بوده و اولویت هر کدام از عوامل مؤثر در بروز فرسایش خندقی بر اساس متوسط وزنی در منطقه را نسبت به سایر عوامل در نظر گرفته شده، نشان می‌دهد. همان‌گونه که در جدول زیر مشاهده می‌شود، عامل سنگ‌شناسی با ضریب $a_1 = 0/4667$ در میان پنج عامل در نظر گرفته شده، بیشترین درجه اهمیت را در ایجاد خندق‌های منطقه داشته و بعد از آن، عامل کاربری اراضی با ضریب $a_2 = 0/2483$ شیب با ضریب $a_3 = 0/1472$ ، منابع و قابلیت اراضی با ضریب $a_4 = 0/0932$ و در نهایت جهت شیب با ضریب وزنی $a_5 = 0/0456$ ، به ترتیب در ایجاد خندق‌های منطقه تأثیرگذار بوده‌اند.

جدول 8- مقایسه زوجی عوامل مؤثر در وقوع فرسایش خندقی

عامل مؤثر بر وقوع خندق	سنگ‌شناسی	کاربری اراضی	شیب	منابع و قابلیت اراضی	جهت شیب
سنگ‌شناسی	1	2	4	6	7
کاربری اراضی	$\frac{1}{2}$	1	2	3	5
شیب	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	1	2	4
منابع و قابلیت اراضی	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1	3
جهت شیب	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	1
مجموع	2/0594	4/0333	7/75	12/3333	20

جدول 9- محاسبه ضریب وزنی عوامل به روش میانگین حسابی

عوامل مؤثر	سنگ شناسی	کاربری اراضی	شیب	منابع و قابلیت اراضی	جهت شیب	جمع	میانگین (ضریب وزنی)
سنگ- شناسی	0/4855	0/4958	0/5161	0/4864	0/35	2/3338	0/4667
کاربری اراضی	0/2427	0/2479	0/2580	0/2432	0/25	1/2418	0/2483
شیب	0/1213	0/1239	0/1290	0/1621	0/2	0/7363	0/1472
منابع و قابلیت اراضی	0/0881	0/0826	0/0645	0/0810	0/15	0/4662	0/0932
جهت شیب	0/0693	0/0495	0/0322	0/0270	0/05	0/228	0/0456

با در نظر گرفتن کلیه طبقات عوامل مختلف، در جدول 10، و تخصیص امتیاز 100 به طبقه‌ای که مطابق جداول 2، 3، 5، 6 و 7 بیشترین درصد مساحت خندقی را به خود اختصاص داده است، و محاسبه امتیاز سایر کلاس‌های هر عامل با تناسب بین وزن حداکثر و درصد مساحت خندقی در هر کلاس عامل، این جدول تکمیل شد.

جدول 10- وزن‌های مربوط به طبقات عوامل مختلف در روش AHP

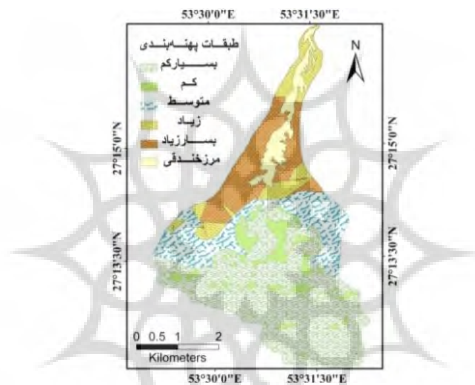
سنگ‌شناسی		شیب		کاربری اراضی		منابع و قابلیت اراضی		جهت شیب	
وزن	کلاس	وزن	کلاس	وزن	کلاس	وزن	کلاس	وزن	کلاس
100	کوآرتزری	100	0-3	3,04 2	زمین‌های بایر	0	1-4	3/27 3	مسطح
0	بختیاری	1,63	3-5	100	کشاورزی	100	4-3	100	شمال
0	آغاچارای	0	5-10	0	مرتع فقیر	0	8-2	2/49 0	شرق
0	میشان	0	10-20	-	-	-	-	0	جنوب
0	گچساران	-	> 20	-	-	-	-	3/67 0	غرب
0	آسماری و جهرم	-	-	-	-	-	-	-	-

پس از این‌که وزن‌دهی طبقات عوامل با امتیازات نسبی 1 تا 100 براساس توضیحات مدل تحلیل سلسله‌مراتبی انجام پذیرفت، با اعمال وزن هر طبقه در نقشه مربوطه در محیط نرم افزاری (Arc GIS)، نقشه وزنی هر عامل را تهیه نموده و بر اساس رابطه زیر این لایه‌های اطلاعاتی را در ضریب وزنی‌های به دست آمده (a_1 تا a_5) ضرب کرده و با هم جمع می‌کنیم که نهایتاً مطابق فرمول زیر، نقشه نهایی پهنه بندی به دست می‌آید. با استفاده از ضرایب وزنی هر عامل و

نقشه‌های وزنی ساخته شده، و قرار دادن آن‌ها در فرمول زیر نقشه نهایی پهنه بندی شکل 6 حاصل گردید. فاکتورهای M_1 تا M_5 به ترتیب مربوط به نقشه‌های وزنی عوامل سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، شیب، منابع و قابلیت اراضی و جهت شیب است.

$$\text{Zonation} = 0/4667 * (M_1) + 0/2483 * (M_2) + 0/1472 * (M_3) + 0/0932 * (M_4) + 0/0456 * (M_5)$$

با تلفیق نقشه پهنه‌بندی منطقه با نقشه محدوده خندقی مشاهده می‌شود که در حوضه مورد مطالعه 74/69 درصد از خندق‌ها با مساحت 86/76 هکتار در مناطق با حساسیت بسیار زیاد و 25/31 درصد با مساحت 29/40 هکتار با حساسیت زیاد رخ داده است (جدول 11). بررسی موارد بالا بیانگر این است که 100 درصد خندق‌های حوضه مورد مطالعه در مناطق با حساسیت بسیار زیاد و زیاد رخ داده است. به خصوص بر روی اراضی کشاورزی و اراضی بایر به وقوع پیوسته است. سیدروچاک¹⁷ و همکاران (2003) در سوئیس با مطالعه خندق‌های این منطقه به این نتیجه رسیدند که مدل‌های استاتیکی قادر خواهند بود مناطق متأثر از فرسایش خندقی را شناسایی کنند.



شکل 6- نقشه پهنه بندی خطر فرسایش خندقی در حوضه دشت کهور

جدول 11- توزیع طبقات پهنه بندی خطر فرسایش خندقی و میزان مساحت خندقی شده

طبقات پهنه بندی	مساحت طبقه (هکتار)	درصد طبقات	مساحت خندقی (هکتار)	درصد خندقی
بسیار کم	882/24	44/75	-	-
کم	201/94	10/23	-	-
متوسط	427/44	21/66	-	-
زیاد	83/34	4/22	29/40	25/31
بسیار زیاد	377/66	19/14	86/76	74/69
جمع	1972/62	100	116/16	100

¹⁷- Sidorchuk

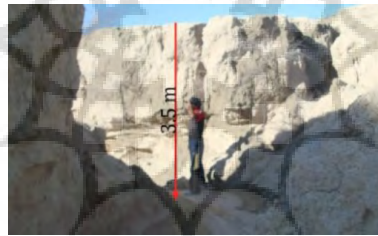
3-4- مورفومتری و خصوصیات خندق‌های نمونه

منطقه خندقی دشت کهور، دشت سیلابی نسبتاً مسطح است با پستی و بلندی کم و شیب ملایم که از مواد رسوبی ریز سیلاب‌ها در طی ادوار گذشته به وجود آمده است. در این منطقه خندق‌ها بر روی دشت واقع شده و از نظر دوره تکامل پیوسته یا مسن‌ترند (شکل 7).



شکل 7- شکل‌گیری خندق‌های جدید در بستر خندق‌های قدیمی

پلان عمومی شبکه خندق‌های مورد مطالعه پنجه‌ای است که حاکی از تأثیر رواناب سطحی بر گسترش آن‌ها دارد و از نظر عمق (شکل 8) در گروه خندق‌های متوسط قرار می‌گیرند (احمدی 1378).



شکل 8- نمایی از عمق یکی از خندق‌های محدوده مورد مطالعه

پلان پیشانی (سر) تمام خندق‌ها مدور، ایرلند و همکاران (1939) معتقدند که اشکال مدور توسط نشست¹⁸ ایجاد می‌شوند. در برخی خندق‌ها وجود پیشانی غارمانند نشان دهنده تأثیر پدیده تونلی شدن در آن‌هاست که معمولاً گویای رس یا مواد آلی بیشتر در لایه‌های سطحی خاک می‌باشد. ایرلند و همکاران (1939) معتقدند که نوع غارمانند توسط فرآیند رواناب سطحی و یا نشست ایجاد می‌گردد، همچنین نیمرخ عمودی در پیشانی خندق نشان دهنده تأثیر رواناب سطحی و ریزش آن‌ها در درون خندق است.

مقطع عرضی تمام خندق‌های مورد مطالعه از نوع U شکل می‌باشد. بر اساس نظر (احمدی 1378، عزیزاده 1368) این فرم از خندق‌ها در مناطقی دیده می‌شوند که خاک در لایه زیرین بسیار مقاوم‌تر، نسبت به خاک سطحی است و خاک سطحی نیز ضخامت زیادی ندارد. در این شرایط خندق توسعه عرضی زیاد و توسعه عمقی کمی داشته و در

¹⁸- Seepage

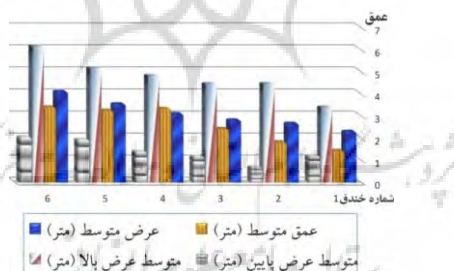
²- Imeson & Kwaad

نهایت خندق به شکل U در سطح زمین دیده می‌شود. ایمسون و کواد^{۱۹} (1980) نیز در مطالعات خود نتیجه گرفتند که خندق‌های U شکل به وسیله فرآیندهای زیر سطحی و یا سطحی ایجاد می‌گردند. پیشروی خندق‌ها از رأس آن‌ها و بیشتر تحت عمل تونلی شدن^{۲۰} است به طوری که حجم عظیمی از خاک در رأس خندق و کناره‌های آن نشست و ریزش می‌کنند (شکل 9).



شکل 9- خندق U شکل که تحت فرایند زیر سطحی خاک از رأس و کناره‌های آن ریزش کرده

با توجه به شکل 10 عمق متوسط و عرض متوسط از خندق شماره یک به خندق شماره شش، یا به نوعی از پایین دست محدوده مطالعاتی (اراضی بایر) به سمت بالادست (اراضی کشاورزی)، روند افزایشی دارد. این تفاوت‌ها می‌تواند ناشی از، تغییر در کاربری اراضی در بالادست محدوده مطالعاتی، همچنین به دلیل کمتر بودن تولید رواناب در اراضی بایر، از سوی دیگر با کاهش عمق رواناب تنش برشی جریان کمتر و به تبع آن نیروی کنش آب کمتر خواهد بود که خود سبب کاهش عمق و عرض خندق‌ها در این اراضی شده است.



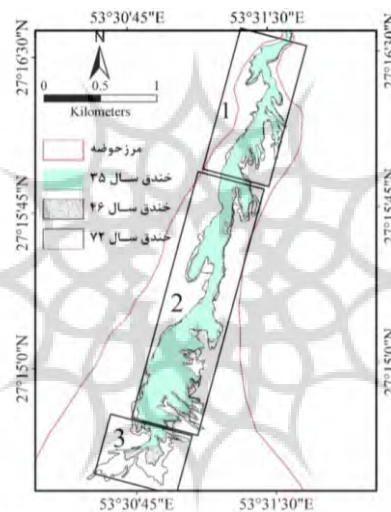
شکل 10- تفسیر عمق و عرض خندق‌های مورد مطالعه

4-4- بررسی روند تغییرات فرسایش خندقی

با توجه به تنوع و میزان تأثیر عوامل مختلف در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی که از نقطه‌ای به نقطه‌ای و در هر دوره زمانی با توجه به تغییرات محیطی نوع و میزان تأثیر آن تغییر می‌کند، بدین منظور جهت بررسی تغییرات

³ -Piping

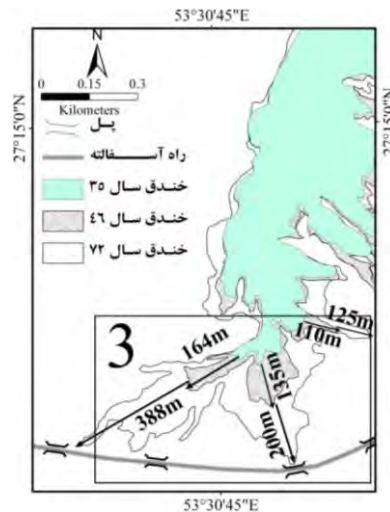
مکانی و زمانی فرسایش خندقی همراه با وسعت اراضی خندقی شده در حوضه دشت کهور با استفاده از عکس‌های هوایی منطقه تحقیق در سه دوره زمانی 1335، 1346، 1372 و پیمایش صحرائی 1389 با استفاده از GPS تجزیه و تحلیل گردید. با توجه به شکل 11 مشاهده می‌شود که منطقه 1 با کمترین میزان تغییرات طی این سه دوره زمانی مواجه شده که دلیل آن می‌تواند تولید رواناب کمتر و همچنین بکر و دست نخورده بودن این منطقه باشد. در منطقه 2 میزان تغییرات نسبت به منطقه 1 بیشتر و نسبت به منطقه 3 کمتر نشان می‌دهد. با توجه به شکل 12 مشاهده می‌شود که این منطقه در قسمت کاربری از نوع کشاورزی قرار دارد، به نظر می‌رسد استفاده غیر اصولی از زمین در این منطقه، موجب شده خندق‌ها طی این سه دوره در این منطقه نسبت به منطقه 1 از رشد بیشتری برخوردار باشند؛ اما منطقه 3 بیشترین تغییرات را هم از لحاظ پیشروی و هم از لحاظ جهت‌گیری خندق‌ها را در پی داشته که علاوه بر استفاده غیراصولی از زمین در این منطقه، راه‌سازی نیز بر آن افزوده شده که موجب این تغییرات شده است.



شکل 11- مقایسه روند تغییرات خندق‌های سال‌های 1346، 1335 و 1372



شکل 12- نقشه کاربری اراضی



شکل 13- مقایسه روند جهت گیری و میزان رشد خندق‌ها در سه مقطع زمانی در محدوده 3

همان‌طور که در شکل 13 مشاهده می‌شود، جهت‌گیری خندق‌ها در سال‌های 35 و 46 به سمت جنوب شرق است، که متأثر از جهت ورود آبراهه‌ها می‌باشد، اما روند جهت‌گیری خندق‌های سال 72 به سمت جنوب و جنوب غرب و حالت پنجه‌ای شکل پیدا کرده که دلیل آن، راه‌سازی و در پی آن پلهایی که برای عبور آبراهه‌ها از جاده در فاصله زمانی 1346 تا 1372 ساخته شده است می‌باشد. با توجه به شکل 13 مشاهده می‌شود که پیشروی و جهت‌گیری خندق‌ها در سه جهت اصلی، به سمت پلهای احداث شده است.

با توجه به مطالب فوق، دلایل زیر در اثبات تأثیر راه‌سازی بر روی خندق‌های منطقه 3 است:

1- تغییر جهت خندق‌ها از حالت جبهه‌ای به حالت پنجه‌ای.

2- جهت‌گیری و پیشروی خندق‌ها به سمت پلهای احداث شده.

3- اختلاف در میزان رشد خندق‌ها در سه مقطع زمانی.

اغلب عملیات جاده‌سازی موجب تمرکز هرز آب‌های بالادست در آبراهه‌های زیر جاده‌ها و ایجاد خندق در پایین دست جاده می‌شود. مثلاً وقتی که جاده‌های بزرگ ساخته می‌شود غالباً نظم زهکش‌های و آبخیزهای طبیعی به هم می‌خورد. قبل از ساخته شدن جاده چندین آبخیز کوچک با آبراهه‌های مخصوص به خود که جریان سیلابی آن‌ها را از خود عبور می‌دهند وجود دارد؛ ولی وقتی که جاده ساخته می‌شود عبور دادن جریان کوچک از زیر جاده‌ها از طریق پل یا لوله گران تمام خواهد شد. کاری که اغلب انجام می‌دهند این است که بعضی مسیل‌ها را در محل تقاطع آن‌ها با جاده مسدود کرده و آب آن را در امتداد جاده به مسیل بعدی متصل می‌کنند و این دومی به وسیله لوله یا پل از زیر جاده عبور داده می‌شود؛ ولی این مسیل طبیعی پس از عبور آب از جاده فقط قادر به تحمل آب حاصله از آبخیز دومی بوده و نمی‌تواند آب اضافی حاصله از آبخیز اولی را نیز در خود جای دهد و در همین مکان است که فرسایش خندقی آغاز می‌گردد (هادسون، 1985).

با توجه به نظریه هادسون در منطقه دشت کهور نیز چنین شرایطی رخ داده که این امر باعث تمرکز آب در پایین دست جاده شده و در پی آن خندق‌های با عمق و عرض زیاد شکل گرفته‌اند. در بررسی و پیمایش صحرایی جهت محاسبه اراضی خندقی مشاهده گردید که کشاورزان به منظور گسترش زمین‌های کشاورزی خود، حدود 30 هکتار از اراضی خندقی را به وسیله بولدوزر پُر و تسطیح کرده‌اند که این امر موجب شده از مساحت اراضی خندقی شده در سال 89 بکاهد.

نتیجه حاصل از مقایسه تطبیقی گستره‌های تحت پوشش فرسایش خندقی، با در نظر گرفتن نقشه‌های ادواری فرسایش خندقی در سال‌های 1335، 1346 و 1372 و موقعیت مکانی و پراکنش آن‌ها، نشانگر این است که گستره تحت تأثیر فرسایش خندقی دارای رشد محسوسی بوده به طوری که میزان تغییرات آن‌ها از 0 درصد مساحت آبخیز در سال 1355 به 52/78 درصد در سال 1372 رسیده است و این میزان با تسطیح بخشی از اراضی خندقی در سال 1389 به 30/42- رسیده است (جدول 12).

جدول 12- وضعیت تغییر وسعت اراضی خندقی شده طی دوره زمانی سال‌های

1335 تا 1389

سال	1335	1346	1372	1389
وسعت اراضی خندقی شده (هکتار)	76/03	88/18	116/16	80/82
میزان تغییرات (هکتار)	76,03 (سال مینا)	12/15	27/98	-35/34
میزان تغییرات (درصد)	-	15/98	31/73	-30/42

5- نتیجه‌گیری

مقایسه زوجی عوامل و بررسی ضرایب وزنی عوامل در روش AHP و مطالعه نقشه‌ها و لایه‌های تهیه شده در GIS، خصوصیات منطقه، جمع‌بندی عوامل، مشاهدات و بررسی‌ها نشان داد که عوامل سنگ‌شناسی با ضریب وزنی 0/4667 درصد و کاربری اراضی با ضریب وزنی 0/2483 درصد بیشترین تأثیر را در ایجاد خندق در حوضه دشت کهور (لامرد) از بین عوامل در نظر گرفته یعنی سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، شیب، منابع و قابلیت اراضی، و جهت شیب را کسب نموده‌اند. بنابراین در تعیین اولویت بین عوامل مذکور که در ایجاد خندق‌های منطقه دشت کهور جزء مهم‌ترین عوامل محسوب شده‌اند. فاکتور سنگ‌شناسی به عنوان مهم‌ترین و کاربری اراضی به عنوان دومین فاکتور از لحاظ اهمیت شناخته شده است. 98/39 درصد خندق‌های منطقه در شیب کمتر از 3٪ درصد ایجاد گردیده‌اند.

نتایج حاصله از پهنه بندی نشان می‌دهد که در حوضه مورد مطالعه 74/69 درصد از خندق‌ها با مساحت 86/76 هکتار در مناطق با حساسیت بسیار زیاد و 25/31 درصد با مساحت 29/40 هکتار با حساسیت زیاد داده است.

بررسی موارد بالا بیانگر این است که 100 درصد خندق‌های حوضه مورد مطالعه در مناطق با حساسیت بسیار زیاد و زیاد رخ داده است. به خصوص بر روی اراضی کشاورزی و اراضی بایر به وقوع پیوسته است.

منطقه خندقی دشت کهور، دشت سیلابی نسبتاً مسطح است با پستی و بلندی کم و شیب ملایم که از مواد رسوبی ریز سیلاب‌ها در طی ادوار گذشته به وجود آمده است. پلان عمومی شبکه خندق‌ها پنجه‌ای است، که حاکی از تأثیر رواناب سطحی بر گسترش آن‌ها دارد و از نظر عمق دارای عمق متوسط (2 تا 4 متر) هستند. پلان رأس خندق‌ها مدور، نیمرخ پیشانی خندق‌ها غارمانند تا عمودی و شکل مقطع آن‌ها U شکل است. پیشروی خندق‌ها از رأس‌ها و بیشتر تحت عمل تونلی شدن است.

نتایج مورفومتری نشان دهنده روند افزایشی عمق و عرض خندق‌های مورد مطالعه از پایین دست محدوده مطالعاتی (اراضی بایر) به سمت بالادست (اراضی کشاورزی) می‌باشد. این تفاوت‌ها می‌تواند ناشی از بکر بودن اراضی بایر، همچنین به دلیل تولید رواناب کمتر در اراضی بایر که موجب کاهش عمق رواناب، تنش برشی جریان کمتر و به تبع آن نیروی حفرکنندگی آب کمتر خواهد بود که خود سبب کاهش عمق خندق‌ها در این اراضی شده است. این روند به سمت اراضی کشاورزی با توجه به استفاده غیراصولی از اراضی کشاورزی، تغییر در کاربری اراضی در بالادست محدوده مطالعاتی به خصوص جاده سازی که باعث تمرکز رواناب شده، روند افزایشی دارد.

نتیجه حاصل از مقایسه تطبیقی گستره‌های تحت پوشش فرسایش خندقی، با در نظر گرفتن نقشه‌های ادواری فرسایش خندقی در سال‌های 1335، 1346 و 1372 و موقعیت مکانی و پراکنش آن‌ها، نشانگر این است که گستره تحت تأثیر فرسایش خندقی دارای رشد محسوسی بوده، میزان تغییرات آن‌ها از 0 درصد مساحت آبخیز در سال 1355 به 52/78 درصد در سال 1372 رسیده است به طوری که این میزان با تسطیح بخشی از اراضی خندقی در سال 1389 به 30/42- درصد رسیده است.

از مهم‌ترین عواملی که در شکل‌گیری و گسترش خندق‌های منطقه دشت کهور دخیل بوده‌اند را می‌توان به دو بخش طبیعی و انسانی تقسیم نمود. در بخش عوامل طبیعی می‌توان به عامل سنگ‌شناسی و شیب اشاره نمود و در بخش عوامل انسانی تغییر کاربری، استفاده غیراصولی از زمین و جاده سازی و احداث پل که سبب تمرکز جریان آب در پایین دست می‌شود نام برد.

بر این اساس جلوگیری از تمرکز رواناب‌های سطحی به وسیله انحراف سیلاب‌های بلند مدت و یا احداث بندهای تاخیری در بالادست منطقه، اصلاح کاربری اراضی مطابق با پتانسیل‌های منطقه، اجرای برنامه‌های مدیریتی، شامل تعادل دام در مرتع به همراه مدیریت پوشش گیاهی، مدیریت کنترل آبراهه‌ها و سرشاخه‌های اصلی به منظور کاهش شیب و سرعت رواناب را می‌توان به‌عنوان مناسب‌ترین راهبردهای کلان پیشگیری از شکل‌گیری فرسایش خندقی و مهار خندق‌ها معرفی کرد.

منابع

- احمدی، حسن، (1378)، ژئومورفولوژی کاربردی، جلد 1 (فرسایش آبی)، انتشارات دانشگاه تهران. 688 ص.
- حیدری، فرخنده، (1383)، بررسی مکانیزم توسعه فرسایش آبکندی (استان کرمان). گزارش نهایی طرح تحقیقاتی وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، 105 ص.
- راهی، غلامرضا، (1377)، بررسی مکانیسم و علل فرسایش خندقی در بندر گناوه. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس. 106 ص.
- سلیمان پور، سید مسعود، (1386)، مقایسه رسوبزایی خندق‌ها و رابطه آن با ویژگی‌های حوضه آبخیز و سازند زمین‌شناسی در اقلیم‌های مختلف استان فارس. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران. 170 ص.
- صمد نژاد، عبدالحسین، (1381)، بررسی علل اصلی ایجاد انواع فرسایش خندق (مطالعه موردی استان فارس). پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس. 69 ص.
- صوفی، مجید، (1383)، فرایند ایجاد خندق و نرخ رشد آن در لامرد و علامرودشت، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، 1383.
- عابدینی، موسی، (1384)، پژوهشی در فرسایش خندقی ارتفاعات جنوب غربی دشت هادی شهر (شمال غربی آذربایجان شرقی) از طریق روش‌ها و تکنیک‌های جدید. جغرافیا و توسعه، شماره 3. پیاپی 6. ص 113-134.
- علیزاده، امین، (1368)، فرسایش و حفاظت خاک (تالیف آر. پی. سی مورگان). انتشارات آستان قدس رضوی. 258 ص.
- عیسای، حسین، صوفی، مجید، (1384)، پراکنش آبکندها در اقلیم مختلف استان گلستان، مجموعه مقالات دومین همایش فرسایش و رسوب، 9 و 10 شهریور، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، 5 ص.
- قدوسی، جمال، (1382)، مدل سازی مورفولوژی فرسایش خندقی و پهنه بندی امکان وقوع آن (مطالعه موردی در آبخیز زنجان رود)، رساله دکتری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران 368 ص.
- قهرودی، منیژه، (1382)، مدل پهنه بندی خطر ناشی از گسترش فرسایش آبکندی در حوضه آبکند کلوچه بیجار با استفاده از RS, GIS طرح تحقیقات وزارت نیرو، 95 ص.
- مهندسین مشاور، (1386)، طرح توسعه و عمران ناحیه جنوب فارس.
- Descroix, L, (2008), Gully and sheet erosion on subtropical mountain slopes: their respective roles and the scale effect, catena, vol. 72, (3), 325-339.
- Desir, G., & marin, C. (2006). Factors controlling the erosion rates in a semi-arid zone. (bardenas reales, ne spain), earth science department. Faculty of science. University of Zaragoza. c/ pedro cerbuna 12. 50009. Zaragoza, spain, catena, vol. 71, 31-40.
- Dewitte, O., Daoudi, m., & Ozer, A. (2008). Mapping gully erosion susceptibility at thr regional scale using a likelihood-ratio-based approach: the lsser river area (nalgeria) geophysical research abstracts, vol. 10,
- Hudson, N. W. (1985), Soil conservation, 152 pp.

- Imeson, A. C., & Kwaad, F. J. P. M. (1980). Gully types and gully prediction, KNAG geografisch tijdschrift XIV5, 430-441.
- Ireland, H. A., Sharpe, C. F. S., & Eargle, D. H. (1939). Principles of gully erosion in the piedmont of south carolina. USDA technological bulletin 633. 142pp.
- Lesschen, J. P., Kok, K., Verburg, P. H., & Cammreana, L. H. (2007). Identification of vulnerable areas for gully erosion under different scenarios of land abandonment in southeast Spain, *catena*, no: 71, 110-121.
- Menendez-durante, R., Marquinez, J., & Fernandez-menendez, S. (2007). Incised channels and gully erosion in northern Iberian Peninsula. Controls and geomorphic setting., *catena*, vol. 71, Issue. 2, 267-278.
- Morgan, R. P. C., & Mngomezulu, D. (2003). Threshold condition of valley-side gullies in the middleveld of Swaziland, *catena*, no: 50, 401-414.
- Poesen, J., Nachtergaele, J., & Verstraet, G. (2003). Gully erosion and environmental change: importance and research needs, *catena*, no: 50, 91-133.
- Rijsdijk, A., Bruijnzeel, L. A. S., & Prins, T. M. (2006). Sediment yield from gullies, riparian mass wasting and bank erosion in the upper Konto catchment, East Java, Indonesia, *geomorphology*, no: 87, 38-52.
- Schmitt, A. (2006). Time and scale of gully erosion in the Jedliczny Dol gully system, south-east Poland, *geomorphology*, no: 101, 192-208.
- Sidorchuk, A. (2005). Stochastic components in the gully erosion modeling, *catena*, no: 63, 299-317.
- Smolska, E. (2007). Development of gullies and sediment fans in last-glacial areas on the example of the Suwalki Lakeland (NE Poland), *catena*, no: 71, 129-131.
- Vandekerckhove, L., Poesen, J., Govers, G. (2003). Medium term gully headcut rates in southeast Spain determined from aerial photographs and ground measurements, *catena*, 50, 329-357.

