

## بررسی خصوصیات مورفوکلیماتیک خندق‌ها به منظور طبقه‌بندی مناطق خندقی در استان چهارمحال و بختیاری

محمد نکویی‌مهر<sup>۱</sup>، کارشناس ارشد مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری  
سید نعیم‌امامی، مربی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری  
روانبخش رئیس‌یان، مربی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری  
مجید صوفی، استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس  
مسعود گودرزی، مربی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

پذیرش مقاله: ۱۳۸۹/۱۰/۲۱

دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۰۶/۲۹

### چکیده

انجام تحقیقات کاربردی در راستای جلوگیری از وقوع فرسایش خندقی و نحوه گسترش و کنترل آن، نیازمند اطلاعات پایه درباره انواع خندق‌ها و ویژگی‌های شکل‌شناسی است. هدف از انجام این تحقیق، طبقه‌بندی مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی در استان چهارمحال و بختیاری بر اساس خصوصیات مورفوکلیماتیک بوده است. برای این منظور، در هر یک از اقلیم‌های تحت تأثیر فرسایش خندقی دو منطقه، با مساحت کمینه ۵۰۰ هکتار و در هر منطقه، سه خندق معرف انتخاب و ویژگی‌های مورفومتریکی آن‌ها اندازه‌گیری شد. طبقه‌بندی مناطق خندقی با استفاده از تحلیل خوشه‌ای و بر مبنای تشابه بین خصوصیات کمی اندازه‌گیری شده انجام گرفت. نتایج حاصل نشان‌داد که مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی در استان چهارمحال و بختیاری بر اساس خصوصیات مورفوکلیماتیک، با سطح تشابه ۷۰/۰۴ درصد به سه گروه قابل تقسیم است که بیش‌ترین میزان تشابه در آن‌ها به ۹۴/۱۲ درصد می‌رسد. بررسی تجزیه واریانس متغیرهای اندازه‌گیری شده در گروه‌ها و مقایسه میانگین گروه‌ها نشان‌داد که متغیرهای بارش سالانه، ارتفاع منطقه از سطح دریا، طول خندق، مساحت منطقه خندقی و عرض بالای خندق در مقطع ۵۰ درصد، مهم‌ترین عوامل اصلی در تفکیک گروه‌ها بوده‌اند. بنابراین در یک جمع‌بندی کلی می‌توان گفت که از بین کلیه ویژگی‌های مورفومتریکی خندق‌ها، دو متغیر طول خندق و عرض بالای آن، در طبقه‌بندی مورفوکلیماتیک خندق‌ها نقش اساسی‌تری داشته است.

واژه‌های کلیدی: تحلیل خوشه‌ای، شکل‌شناسی، فرسایش خندقی، طول خندق، عرض بالا

### مقدمه

فرسایش خندقی یکی از انواع فرسایش سطحی است (رفاهی، ۱۳۷۵). طبق تعریف Poesen (۱۹۸۹)، خندق یک آبرو با کناره‌های دارای شیب تند و پیشانی فرسایشی پر شیب و فعال است که به وسیله فرسایش ناشی از جریان سطحی متناوب (معمولاً در زمان و یا پس از وقوع باران‌های شدید) ایجاد می‌شود. Bradford و Piest (۱۹۸۰) و انجمن علوم خاک آمریکا (۱۹۸۴)، خندق‌ها را آبروهای عمیقی می‌دانند که توسط شخم عادی از بین نمی‌روند. Hauge (۱۹۷۷)، آبروهای با سطح مقطع بزرگ‌تر از یک فوت مربع را خندق می‌داند. Heede (۱۹۷۰) معتقد است از آن‌جا که شکل خندق حاصل عمل‌کرد فرآیندهای ایجادکننده آن است، از این‌رو اولین مرحله در ارزیابی فرآیندهای ایجاد خندق، درک شکل‌شناسی خندق است. De ploye (۱۹۸۹)، خندق‌ها را با توجه به مرفولوژی و شکل ظاهری آن‌ها به سه دسته تقسیم نموده است. دسته اول، خندق‌های محوری و یا خطی است که دارای یک پیشانی منفرد

<sup>۱</sup> m.nekouiemehr@yahoo.com

می‌باشند. دسته دوم خندق‌های پنجه‌ای است که دارای چند پیشانی مجزا هستند و دسته سوم خندق‌های جبهه‌ای، این خندق‌ها به‌طور معمول در حاشیه رودخانه‌ها و یا به‌صورت شاخه‌های عمودی فرعی از آبراهه‌ها و یا خندق‌های اصلی دیده می‌شوند.

صوفی (۱۳۸۳) به‌نقل از Ireland و همکاران در سال ۱۹۳۹، شکل پلان پیشانی خندق‌ها را به چهار دسته نقطه‌ای، مدور، نوک‌دار و پنجه‌ای تقسیم نموده است. او همچنین نیم‌رخ طولی پیشانی خندق‌ها را به چهار صورت شیب‌دار، عمودی، غارمانند و غارمانند با پوشش گیاهی طبقه‌بندی نموده است. Kawaad و Imeson (۱۹۸۰) خندق‌ها را بر اساس شکل مقطع عرضی و موقعیت مکانی به چهار رده V شکل با موقعیتی به‌جز بستر دره‌ها، U شکل با موقعیتی به‌جز بستر دره‌ها، U شکل بر روی شیب‌های ملایم و U شکل در بستر دره‌ها طبقه‌بندی نموده و نتیجه گرفته‌اند که خندق‌های V شکل به‌وسیله فرآیند رواناب سطحی ایجاد شده در حالی که انواع U شکل آن‌ها به‌وسیله فرآیندهای زیرسطحی و یا سطحی تشکیل می‌شوند. صوفی (۱۳۸۳) به نقل از Blong و Crouch در سال ۱۹۸۹، خندق‌ها را بر اساس شکل کناره به چهار گروه تقسیم نموده است که شامل با کناره عمودی، با کناره بریده بریده، با کناره مایل و با کناره لوله‌ای است.

بر مبنای اظهارات Poesen و Govers (۱۹۹۰) و Poesen (۱۹۸۹ و ۱۹۹۵) با توجه به معیارهایی نظیر موقعیت مکانی، شکل‌شناسی و فرآیند ایجادکننده، خندق‌ها به دو نوع عمده شامل خندق‌های موقت<sup>۱</sup> و خندق‌های جانبی<sup>۲</sup> تقسیم می‌شوند. خندق‌های موقت در اثر تمرکز جریان سطحی در مسیرهای زهکشی طبیعی و یا خط‌القعر دره‌ها به‌وجود می‌آیند. این خندق‌ها بر اساس موقعیت مکانی به سه دسته در بالای شیب، در پایین شیب، بر روی بستر دره‌ها تقسیم می‌شوند. خندق‌های جانبی: معمولاً ناپیوسته و دائمی هستند به‌طوری که با عملیات شخم زدن، محو نمی‌شوند و در جایی ایجاد می‌شوند که یک جریان خطی، شیار و یا جوی‌چه متروک به یک توده خاک برخورد کند. این خندق‌ها بیش‌تر تحت تأثیر فرآیندهای Tunneling و Piping قرار دارند.

در ایران نیز تحقیقات چندی بر روی خصوصیات مورفومتریکی خندق‌ها صورت گرفته است. از جمله صوفی (۱۳۸۳)، خندق‌های استان فارس را از لحاظ مورفوکلیماتیک مورد بررسی قرار داده است. وی خندق‌ها را از لحاظ شکل پلان عمومی به پنج گروه خطی، موازی، حبابی، مرکب و پنجه‌ای و از لحاظ عمق به سه گروه خندق‌های کم عمق (کم‌تر از ۱ متر)، با عمق متوسط (۱ تا ۱۰ متر) و عمیق (بیش‌تر از ۱۰ متر) طبقه‌بندی نموده است. علاوه بر آن خندق‌ها را از نظر موقعیت مکانی در آبخیز به سه دسته بر روی دامنه، بر روی دشت، منطبق با دره در امتداد زهکش طبیعی تقسیم نموده است. نتایج تحقیق او نشان می‌دهد که اقلیم نیمه خشک معتدل در برگیرنده بخش اعظم خندق‌های استان فارس است. این خندق‌ها عمدتاً جانبی بوده و در اطراف زهکش‌های طبیعی منطقه ایجاد شده‌اند. شکل مقطع عرضی خندق‌ها به‌صورت U شکل در دشت و V شکل در خط‌القعر کنار تپه‌ها بوده است. نیم‌رخ پیشانی خندق‌ها بیش‌تر به‌صورت عمودی، شکل پلان پیشانی آن‌ها از نوع نوک‌دار و یا نقطه‌ای و پلان عمومی خندق‌ها بیش‌تر از نوع پنجه‌ای است.

تعیین ویژگی‌های شکل‌شناسی انواع مختلف خندق‌ها در دامنه وسیعی از اقلیم‌ها به‌منظور پیش‌گویی احتمال وقوع ایجاد خندق، به‌طور کامل لازم و ضروری است (Poesen و همکاران، ۲۰۰۳). بنابراین، از آن‌جا که تاکنون ویژگی‌های شکل‌شناسی و خصوصیات مورفومتریکی خندق‌ها شامل طول، عرض، عمق، پلان عمومی، نیم‌رخ طولی، نیم‌رخ پیشانی، پلان پیشانی و شکل مقطع عرضی خندق‌ها در استان چهارمحال و بختیاری مورد بررسی قرار نگرفته است، تحقیق حاضر با هدف تعیین پراکنش خندق‌ها و سطح گسترش آن‌ها، بررسی ویژگی‌های شکل‌شناسی خندق‌ها در هر یک از اقلیم‌های شناسایی شده در استان و همچنین طبقه‌بندی مورفوکلیماتیک مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی انجام شد.

<sup>1</sup> Ephemeral gullies

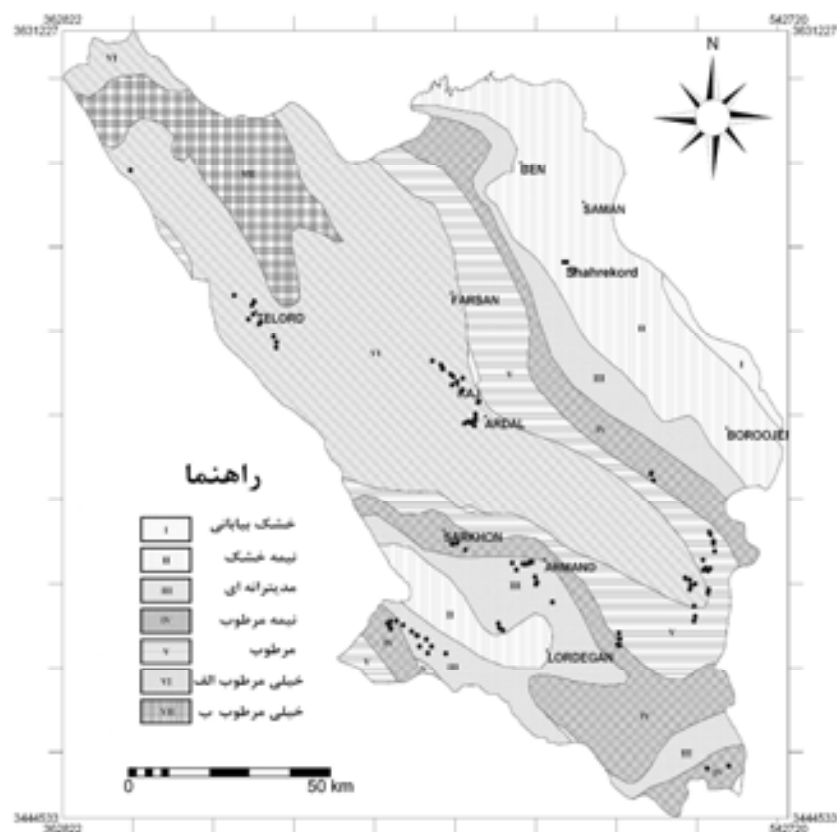
<sup>2</sup> Bank gullies

## مواد و روش‌ها

**ویژگی‌های منطقه تحقیق:** استان چهارمحال و بختیاری با مساحت ۱۶۵۳۳ کیلومترمربع در بخش مرکزی کوه‌های زاگرس واقع شده است. پربارش‌ترین بخش استان، ارتفاعات شمال باختر با متوسط بارندگی سالیانه ۱۶۰۰ میلی‌متر، کم بارش‌ترین بخش، ناحیه شمال خاوری استان با متوسط بارندگی سالیانه ۲۵۰ میلی‌متر و متوسط بارش سالانه در آن حدود ۷۰۷ میلی‌متر است. میانگین درجه حرارت سالانه در استان از ۳/۵ درجه سانتی‌گراد در مناطق شمال باختر تا ۱۸/۵ درجه سانتی‌گراد در نقاط پست جنوبی تغییر می‌کند. بر مبنای تقسیم‌بندی اقلیمی به‌روش دومارتن اصلاح شده، این استان دارای هفت اقلیم کلان، شامل اقلیم‌های خشک بیابانی، نیمه خشک، مدیترانه‌ای، نیمه مرطوب، مرطوب و خیلی مرطوب (الف و ب) است. از دیدگاه زمین‌شناسی، استان چهارمحال و بختیاری در پهنه‌های زمین‌ساختی زاگرس مرتفع، زاگرس چین‌خورده و زون سنندج-سیرجان قرار دارد. از مهم‌ترین سازندهای رخنمون یافته در سطح استان می‌توان به تشکیلات هرمز، نیریز، سروک-گورپی، پابده، آسماری-جهرم-شهبازان، گچساران-رازک، آغاچاری-بختیاری و آبرفت‌های کوتاه‌تر اشاره نمود.

## روش تحقیق

- ۱- با انجام بازدیدهای صحرائی، مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی در محدوده استان شناسایی و موقعیت جغرافیایی مناطق مزبور پس از توجیه محلی نقشه‌ها بر روی نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ مشخص و براساس آن نقشه توزیع مکانی مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شد.
- ۲- با انطباق نقشه توزیع مکانی خندق‌ها و نقشه اقلیم استان به‌روش دومارتن اصلاح شده با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، اقلیم‌های مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی تعیین شد (شکل ۱).



شکل ۱- نقشه توزیع مکانی فرسایش خندقی در اقلیم‌های شناسایی شده در استان چهارمحال و بختیاری

- ۳- در هر منطقه سه خندق معرف انتخاب و خصوصیات مورفومتریک آن‌ها از قبیل طول خندق، عمق و عرض بالا و پایین آن در سر و مقاطع ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد، به دقت به وسیله متر اندازه‌گیری شد. مشخصاتی از قبیل طول، عرض، عمق، پلان عمومی، شکل پلان پیشانی، نیم‌رخ طولی پیشانی و شکل مقطع عرضی خندق، به‌عنوان شاخص‌های به‌کار گرفته شده در انتخاب خندق معرف، بوده است و سعی شد خندق معرف در هر منطقه به‌گونه‌ای انتخاب شود که مشخصات آن، مشابهت زیادی با خندق‌های آن منطقه داشته باشد.
- ۴- پلان عمومی، نیم‌رخ طولی، شکل مقطع عرضی، پلان پیشانی و نیم‌رخ طولی سر خندق‌ها در هر منطقه با استفاده از دوربین نقشه برداری تئودولیت برداشت و ترسیم شد.
- ۵- برای تعیین درصد ذرات خاک، از لایه سطحی (صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) و تحتانی (۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر) سر و بدنه یکی از خندق‌ها در هر منطقه نمونه‌برداری به‌عمل آمد و آزمایش بافت خاک (به روش آب‌سنجی) انجام شد.
- ۶- برای تعیین شیب حوزه آبخیز بالادست رأس خندق‌ها، موقعیت جغرافیایی رأس هر خندق به‌کمک دستگاه GPS برداشت و بر روی نقشه توپوگرافی رقومی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ مشخص و پس از تعیین حوزه آبخیز بالادست رأس خندق، شیب آن در محیط GIS محاسبه شد.
- ۷- بسته‌های نرم‌افزاری ILWIS، SDR-MAP و MINITAB به‌ترتیب برای تعیین شیب حوزه آبخیز واقع در بالادست رأس خندق‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، تهیه و ترسیم نقشه‌های مربوط به پلان عمومی و نیم‌رخ طولی خندق‌ها و تجزیه و تحلیل داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت.
- ۸- به‌منظور طبقه‌بندی مناطق خندقی، تحلیل خوشه‌ای با استفاده از متغیرهای طول خندق، عرض بالا و پایین خندق در مقطع ۵۰ درصد طول، عمق رأس، عمق خندق در مقطع ۵۰ درصد طول، مساحت منطقه تحت تأثیر فرسایش خندقی، ارتفاع منطقه از سطح دریا، متوسط بارش سالانه و درصد رس، سیلت و ماسه در لایه‌های سطحی و تحتانی خاک، بر روی مناطق انتخاب شده صورت گرفت. تحلیل خوشه‌ای با استفاده از روش Average و بر اساس معیار تشابه و فاصله اقلیدسی انجام گرفت و به‌صورت دندوگرام نیز ترسیم شد.
- ۹- به‌منظور مقایسه گروه‌های حاصل از طبقه‌بندی و تعیین متغیرهای اصلی و مؤثر در طبقه‌بندی، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها در گروه‌های مختلف انجام گرفت. نرم‌افزار SAS نیز به‌منظور تحلیل‌های آماری به‌کار گرفته شد.

## نتایج و بحث

نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که اگر چه در بیش‌تر مناطق استان چهارمحال و بختیاری پدیده فرسایش خندقی مشهود است، اما این پدیده در قسمت‌های جنوب و باختر استان از چهار اقلیم مدیترانه‌ای، نیمه مرطوب، مرطوب و خیلی مرطوب الف از فراوانی بیش‌تری برخوردار است. از این‌رو تحقیق حاضر در چهار اقلیم فوق به‌اجرا در آمده است. مناطق منتخب در این اقلیم‌ها عبارتند از ارمند و سرقلعه در اقلیم مدیترانه‌ای، سرخون و بارز-شوارز در اقلیم نیمه مرطوب، له‌دراز و بردبر در اقلیم مرطوب و کاج و بازفت در اقلیم خیلی مرطوب (الف) که در مجموع مساحتی بالغ بر ۲۴۵/۲ کیلومترمربع را شامل می‌شوند. خلاصه نتایج حاصل از اندازه‌گیری ویژگی‌های مختلف خندق‌های معرف این مناطق در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

تحلیل خوشه‌ای نتایج نشان می‌دهد که مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی در استان چهارمحال و بختیاری بر اساس متغیرهای اندازه‌گیری شده با سطح تشابه ۷۰/۰۴ درصد در سه گروه به‌شرح زیر قابل تقسیم هستند که هر گروه شامل نمونه‌های مشابه خود می‌باشد. دندوگرام تحلیل خوشه‌ای در شکل ۲ نشان‌دهنده شده است.

گروه ۱: مناطق خندقی ارمند، سرقلعه، سرخون، بارز و بردبر

گروه ۲: مناطق خندقی له‌دراز و کاج

گروه ۳: منطقه خندقی بازفت

جدول ۱- خلاصه ویژگی‌های طبیعی و فیزیوگرافی مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی در استان چهارمحال و بختیاری

درد ذرات خاک سطحی و تحتانی	سازند غالب زمین‌شناسی در منطقه خندقی			ارتفاع از سطح دریا (متر)	مساحت منطقه (Km <sup>2</sup> )	عرض جغرافیائی منطقه خندقی			طول جغرافیائی منطقه خندقی			نام حوزه آبخیز	نام منطقه تحت تأثیر فرسایش خندقی	اقلیم
	ماسه	لای	رس			درجه	دقیقه	ثانیه	درجه	دقیقه	ثانیه			
س: ۱۳/۲ ت: ۱۵/۲	س: ۶۵/۱ ت: ۶۵/۱	س: ۲۱/۷ ت: ۱۹/۷	کواترنری (تراس رودخانه‌ای)	۱۳۵۰	۴۱/۰	۳۱	۳۵	۴۶	۵۰	۴۴	۴۴	کارون میانی	ارمند	مدیرانه‌ای
س: ۱۱/۲ ت: ۲۲/۲	س: ۵۱/۱ ت: ۵۸/۱	س: ۳۷/۷ ت: ۱۹/۷	کنگلومرای بختیاری	۱۵۰۰	۳۴/۵	۳۱	۳۰	۵۶	۵۰	۴۱	۲۷	لردگان	سرقله - درشور	
س: ۴۰/۲ ت: ۲۳/۲	س: ۴۶/۱ ت: ۴۵/۱	س: ۱۳/۷ ت: ۳۱/۷	کواترنری و میشان	۱۴۳۰	۲۳/۵	۳۱	۴۱	۰۸	۵۰	۳۲	۳۷	کارون میانی	سرخون	نیمه مرطوب
س: ۱۱/۲ ت: ۱۴/۲	س: ۵۱/۱ ت: ۵۷/۱	س: ۳۷/۷ ت: ۲۸/۷	کواترنری یا سنگ بستر گچی	۱۲۵۰	۴۲/۰	۳۱	۲۹	۱۱	۵۰	۲۴	۳۳	خرسان	بازر و شوارز	
س: ۲۱/۲ ت: ۲۸/۲	س: ۴۷/۱ ت: ۴۶/۱	س: ۳۱/۷ ت: ۲۵/۷	میشان (مارن)	۲۲۳۰	۱۹/۸	۳۱	۳۶	۵۳	۵۱	۱۳	۱۴	ونک	له‌دراز	مرطوب
س: ۲۳/۲ ت: ۲۵/۲	س: ۴۹/۱ ت: ۴۹/۱	س: ۲۷/۷ ت: ۲۵/۷	آجاجاری (ماسه سنگ)	۱۸۷۰	۱۱/۵	۳۱	۳۰	۱۵	۵۱	۰۰	۰۱	لردگان	بردبر	
س: ۱۱/۲ ت: ۳/۲	س: ۵۱/۱ ت: ۴۷/۱	س: ۳۷/۷ ت: ۴۹/۷	کواترنری (تراس رودخانه‌ای)	۱۹۵۰	۲۶/۳	۳۲	۰۲	۵۶	۵۰	۳۱	۳۵	کوه‌رنگ	کاج - رسم آباد	خیلی مرطوب (الف)
س: ۲۷/۲ ت: ۲۴/۲	س: ۵۱/۱ ت: ۴۸/۱	س: ۲۱/۷ ت: ۲۷/۷	کنگلومرای بختیاری	۱۶۳۰	۴۶/۶	۳۲	۰۸	۱۵	۴۹	۵۹	۰۶	بازفت	بازفت	
					۲۴۵/۲									مجموع

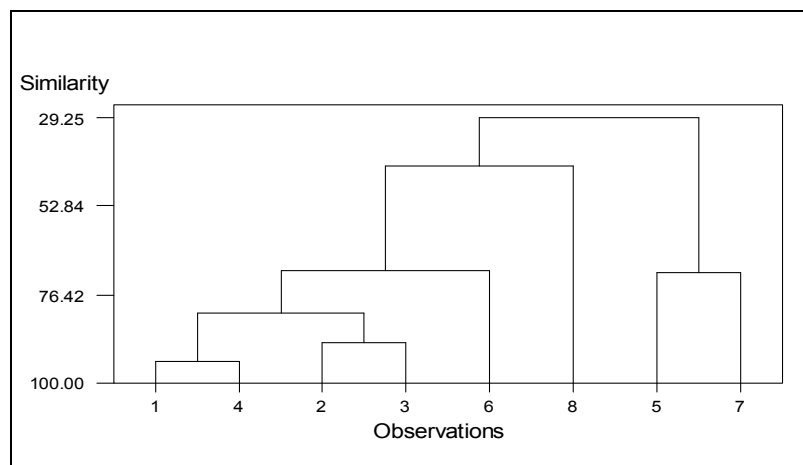
در این طبقه‌بندی بر اساس نتایج جداول ۱ و ۲ و شکل ۲، گروه اول شامل مناطقی است که در اقلیم‌های مدیرانه‌ای، نیمه‌مرطوب و مرطوب قرار گرفته‌اند. سازند غالب زمین‌شناسی در این مناطق شامل سازندهای کواترنری، کنگلومرای بختیاری، میشان و آجاجاری است. پلان عمومی خندق‌ها از دو نوع خطی و پنجه‌ای و پلان سر آن‌ها به چهار صورت نقطه‌ای، نوک‌دار، مدور و شاخه‌ای است (شکل ۳). شکل مقطع عرضی خندق‌ها عمدتاً دوزنقه‌ای و در مواردی نیز V شکل و نیم‌رخ طولی سر آن‌ها به دو صورت عمودی و مایل است. میانگین طول خندق‌ها در این گروه

۶۲۰ متر و عرض بالا و پایین آن‌ها به ترتیب ۵/۳ و ۱/۵ متر است. عمق پیشانی خندق‌ها از ۰/۳ متر در منطقه سرقلعه تا ۳/۴ متر در منطقه ارمند تغییر می‌کند و میانگین آن ۱/۰ متر اندازه‌گیری شده است. همچنین میانگین عمق خندق‌ها در این گروه ۲/۷ متر و میانگین شیب حوزه آبخیز واقع در بالادست رأس آن‌ها ۱۳/۶ درصد می‌باشد.

جدول ۲- ویژگی‌های مورفومتریک خندق‌ها در مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی در هر یک از اقلیم‌های مورد مطالعه

شیب حوزه خندق (٪)	تاریخ پستی	شکل مقطع عرضی	عمق (متر)				عرض پایین خندق (متر)			عرض بالای خندق (متر)			طول خندق (متر)	تکرار	پلان سر	پلان عمومی	نام منطقه	نقشه	
			200	100	200	رأس	200	100	200	200	100	200							
			طول	طول	طول	طول	طول	طول	طول	طول	طول	طول							
۹	صعودی و حایل	دورنگه ای	۱/۱	۳/۰	۳/۰	۱/۲	۰/۶	۰/۷	۱/۰	۳/۰	۳/۰	۱/۰	۵۰۰	۱	نوکدار	خطی و پهنه‌ای	ارمند	مدرسه ای	
۹	حایل	دورنگه ای	۱/۲	۱/۲	۲/۰	۳/۰	۰/۸	۱/۰	۱/۲	۰/۸	۳/۰	۳/۰	۳۰۰	۲	مادور	خطی و پهنه‌ای	سرقلعه - درختور		
۹	حایل	دورنگه ای	۱/۹	۲/۹	۲/۰	۰/۸	۱/۰	۰/۸	۲/۰	۱/۰	۳/۰	۰/۸	۱۵۰	۳	نقطه‌ای	خطی و پهنه‌ای			
۸	صعودی و حایل	دورنگه ای	۱/۰	۰/۰	۲/۷	۱/۰	۱/۰	۲/۰	۰/۸	۳/۳	۸/۰	۳/۰	۸۰۰	۱	نقطه‌ای و مادور	خطی و پهنه‌ای	سرقلعه - درختور	نیمه مرطوب	
۱	حایل	دورنگه ای	۰/۰	۲/۶	۱/۶	۱/۰	۳/۰	۱/۰	۱/۰	۹/۰	۳/۰	۳/۷	۱۰۰۰	۲	نقطه‌ای	خطی و پهنه‌ای			
۱۸	حایل	دورنگه ای	۳/۰	۲/۰	۳/۰	۰/۳	۰/۶	۰/۳	۰/۸	۱/۰	۳/۰	۱/۰	۳۲۰	۳	نقطه‌ای	خطی	سرخون		
۱۸	حایل	دورنگه ای و V شکل	۰/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۳۰۰	۱	نقطه‌ای	خطی	سرخون	نیمه مرطوب	
۱۸			۱/۰	۱/۰	۲/۰	۰/۳	۳/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۸۰۰	۲					
۱۱			۲/۰	۳/۲	۲/۰	۰/۸	۰/۸	۰/۳	۲/۷	۳/۲	۱/۲	۱/۲	۱۰۰	۳					
۱۸	صعودی	دورنگه ای	۳/۰	۱/۰	۳/۰	۲/۰	۲/۰	۲/۰	۲/۰	۲/۰	۲/۰	۲/۰	۲/۰	۲/۰	نقطه‌ای و مادور	خطی	بارز - شوارز	نیمه مرطوب	
۱۷			۲/۰	۲/۰	۲/۰	۰/۷	۰/۸	۱/۰	۲/۰	۱/۰	۳/۰	۱/۰	۲/۰						
۱۱			۲/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۲/۰	۱/۰	۱/۰	۹/۰	۸/۰	۸/۰	۳۰	۳					
۹	حایل	دورنگه ای	۲/۰	۱/۰	۱/۰	۰/۳	۲/۰	۲/۰	۱/۰	۱/۰	۲/۰	۲/۰	۲/۰	۲/۰	نقطه‌ای	خطی	نه دراز	نیمه مرطوب	
۱۱			۳/۰	۲/۰	۲/۰	۰/۳	۳/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۹/۰	۹/۰	۱۰۰	۲					
۷			۱/۰	۱/۰	۱/۰	۰/۷	۳/۰	۲/۰	۲/۰	۲/۰	۲/۰	۲/۰	۲/۰	۲/۰					۳
۷	حایل	دورنگه ای و V شکل	۲/۰	۲/۱	۲/۰	۰/۸	۱/۱	۱/۰	۰/۷	۲/۰	۲/۰	۲/۰	۲/۰	۲/۰	نقطه‌ای	خطی	براز	نیمه مرطوب	
۷			۱/۰	۲/۶	۲/۰	۰/۸	۲/۰	۲/۰	۱/۰	۱/۰	۲/۰	۲/۰	۲/۰	۲/۰					
۷			۳/۰	۲/۰	۱/۱	۰/۳	۱/۰	۰/۶	۰/۱	۱/۰	۳/۰	۲/۰	۲/۰	۲/۰					۳
۱۲	خار مانتد و صعودی و حایل	دورنگه ای	۲/۸	۲/۸	۲/۶	۳/۶	۳/۸	۳/۰	۱/۸	۱/۰	۹/۰	۸/۰	۷/۰	۱	نقطه‌ای و نوکدار	خطی	کاج - رستم آباد	عرب مرطوب	
۹			۱/۰	۳/۰	۱/۰	۲/۲	۱/۰	۳/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۳/۸	۱/۰	۲					
۱۲			۹/۰	۰/۰	۱/۰	۰/۷	۲/۰	۲/۰	۱/۰	۲/۰	۸/۰	۲/۰	۲/۰	۲/۰					۳
۹	حایل	دورنگه ای و V شکل	۱/۰	۲/۶	۲/۲	۰/۳	۳/۰	۰/۷	۱/۸	۱/۶	۳/۰	۲/۸	۳/۸	۳/۰	۱	نقطه‌ای	خطی	بارفت	عرب
۱۸			۲/۳	۱/۰	۱/۰	۰/۳	۱/۰	۲/۰	۰/۰	۳/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۲/۰	۲				
۱۹			۲/۰	۲/۰	۲/۰	۰/۳	۲/۰	۰/۰	۲/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۳				

س: سطحی، ت: تحتانی



شکل ۲- طبقه‌بندی مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از تحلیل خوشه‌ای (محور Xها: ۱-ارمند ۲-سرقلعه ۳-سرخون ۴-بارز ۵-له‌دراز ۶-بردبر ۷-کاج ۸-بازفت)



شکل ۳- نمایی از پلان شاخه‌ای سر خندق در منطقه سرقلعه

در گروه دوم که مناطقی با اقلیم‌های مرطوب و خیلی مرطوب را شامل می‌شود، سازند غالب زمین‌شناختی کوتاه‌تر و میشان است. میانگین طول خندق‌ها ۱۲۶۰ متر و میانگین عرض بالا و پایین آن‌ها به ترتیب ۷/۷ و ۲/۷ متر می‌باشد. میانگین عمق خندق‌ها ۲/۷ متر و میانگین عمق پیشانی آن‌ها ۱/۳ متر است. پلان عمومی خندق‌ها در این گروه فقط به صورت خطی و پلان سر آن‌ها به دو صورت نقطه‌ای و نوک‌دار است. شکل مقطع عرضی خندق‌ها فقط به صورت دوزنقه‌ای و نیم‌رخ طولی سر آن‌ها به دو صورت مایل و عمودی است (شکل ۴). میانگین شیب حوزه آبخیز واقع در بالادست رأس خندق‌ها در این گروه ۱۰ درصد است.



شکل ۴- نمایی از نیم‌رخ طولی پیشانی خندق که به صورت عمودی می‌باشد (منطقه بارز)

گروه سوم شامل منطقه‌ای با اقلیم خیلی مرطوب است، سازند غالب زمین‌شناختی در آن کنگلومرای بختیاری است. میانگین طول خندق‌ها ۴۸۳ متر و میانگین عرض بالا و پایین آن‌ها به ترتیب ۷/۰ و ۲/۴ متر می‌باشد. میانگین عمق خندق‌ها ۲/۲ متر و میانگین عمق پیشانی آن‌ها ۰/۳ متر است. پلان عمومی خندق‌ها در این گروه فقط به صورت خطی و پلان سر آن‌ها فقط به صورت نقطه‌ای است. شکل مقطع عرضی خندق‌ها به دو صورت دوزنقه‌ای و V شکل و نیم‌رخ طولی سر آن‌ها فقط به صورت مایل است. میانگین شیب حوزه آبخیز واقع در بالای رأس خندق‌ها در این گروه ۱۵ درصد می‌باشد.

نتایج حاصل از تحلیل خوشه‌ای مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که مناطق خندقی ارمند و بارز به‌میزان ۹۴/۱۲ درصد، بیش‌ترین تشابه را داشته است. همچنین، مناطق سرقلعه با سرخون، ارمند با سرقلعه و ارمند با بردبر به‌ترتیب به‌میزان ۸۹/۳۰، ۸۱/۳۳ و ۷۰/۰۴ درصد دارای تشابه بوده که میزان قابل توجهی است. این امر شباهت زیاد خندق‌های این مناطق را براساس متغیرهای اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد، زیرا بر اساس نظرات Romesburg (۱۹۸۴)، چنان‌چه نمونه‌های برداشت شده از یک جامعه آماری دارای خواص اندازه‌گیری شده مشابهی باشند، در نهایت در یک فضای n بعدی مقادیر مشابه، نزدیک هم قرار خواهند گرفت. نکته دیگری که در این طبقه‌بندی به‌چشم می‌خورد، آن است که منطقه خندقی شماره ۸ (بازفت)، به‌صورت گروهی منفرد با سایر گروه‌ها ترکیب شده است (شکل ۲). این موضوع نشان می‌دهد که این منطقه از لحاظ متغیرهای مورد بررسی متفاوت از سایر مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی در استان چهارمحال و بختیاری بوده و تشابه کمی با سایر مناطق دارد، به‌طوری که میزان تشابه آن با سایر مناطق ۴۱/۹۷ درصد است. دلیل این امر را می‌توان در میزان بارش قابل توجه این منطقه و این که عامل بارش یکی از عوامل اصلی در تفکیک گروه‌ها بوده است، جستجو نمود.

جدول ۳- نتایج تحلیل خوشه‌ای مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی در استان چهارمحال و بختیاری

مرحله	تعداد خوشه	تشابه (درصد)	فاصله اقلیدسی	ارتباط خوشه‌ها	خوشه جدید	تعداد مشاهدات
۱	۷	۹۴/۱۲	۱۰۴/۲۱۷	۱	۱	۲
۲	۶	۸۹/۳۰	۱۸۹/۵۷۵	۲	۲	۲
۳	۵	۸۱/۳۳	۳۳۰/۹۲۹	۱	۱	۴
۴	۴	۷۰/۵۴	۵۲۲/۰۵۹	۵	۵	۲
۵	۳	۷۰/۰۴	۵۳۰/۸۸۳	۱	۱	۵
۶	۲	۴۱/۹۷	۱۰۲۸/۴۰۰	۱	۱	۶
۷	۱	۲۹/۲۵	۱۲۵۳/۷۷۸	۱	۱	۸

نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین متغیرهای اندازه‌گیری شده در گروه‌های حاصل از طبقه‌بندی در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج تجزیه واریانس، نشان‌داد که گروه‌های سه‌گانه از نظر متغیرهای بارش سالانه، ارتفاع منطقه از سطح دریا و طول خندق در سطح احتمال یک درصد و از لحاظ متغیرهای مساحت منطقه خندقی و عرض بالای خندق در سطح احتمال پنج درصد، دارای تفاوت معنی‌دار هستند. به‌عبارت دیگر این پنج متغیر، در تفکیک گروه‌ها و طبقه‌بندی مناطق خندقی از عوامل اصلی و مؤثر بوده‌اند. در مورد سایر متغیرها یعنی عمق خندق در ۵۰ درصد طول، عرض پائین، ارتفاع رأس، درصد رس، سیلت و شن، تفاوت معنی‌داری بین گروه‌ها وجود نداشت. به‌عبارت دیگر این ویژگی‌ها در طبقه‌بندی مناطق و تفکیک گروه‌ها نقش مؤثری نداشته‌اند.

نتایج مقایسه میانگین گروه‌ها برای هر یک از متغیرها نشان‌داد که برای متغیرهای طول خندق و ارتفاع منطقه از سطح دریا بین مناطق واقع در گروه‌های ۱ و ۳ یعنی مناطق ارمند، سرقلعه، سرخون، بارز، بردبر و بازفت تفاوت معنی‌دار وجود نداشته اما تفاوت آن‌ها با گروه ۲ یعنی مناطق لهدراز و کاج معنی‌دار است (جدول ۴). این امر به‌دلیل ارتفاع زیاد مناطق لهدراز و کاج از سطح دریا و طویل بودن خندق‌های این مناطق است. همچنین برای متغیر بارش سالانه و مساحت منطقه خندقی بین مناطق واقع در گروه‌های ۱ و ۲ یعنی مناطق ارمند، سرقلعه، سرخون، بارز، بردبر، لهدراز و کاج تفاوت معنی‌دار وجود نداشته اما تفاوت آن‌ها با گروه ۳ یعنی منطقه بازفت معنی‌دار است (جدول ۴). دلیل این امر بارش قابل توجه منطقه بازفت و مساحت زیاد محدوده تحت تأثیر فرسایش خندقی در این منطقه می‌باشد.

در یک جمع‌بندی کلی می‌توان نتیجه گرفت که در طبقه‌بندی مورفوکلیماتیک مناطق خندقی استان چهارمحال و بختیاری، متغیرهای بارش سالانه، ارتفاع منطقه از سطح دریا و طول خندق از اهمیت به‌سزایی برخوردارند به‌طوری که



به ترتیب ۹۶/۴، ۶۲/۵ و ۴۹/۶ درصد از تغییرات این سه متغیر توسط طبقه‌بندی، قابل توجیه است. همچنین، متغیرهای مساحت منطقه خندقی و عرض بالای خندق، در درجه دوم اهمیت قرار دارند. سایر متغیرها تأثیر چندانی در طبقه‌بندی مورفوکلیماتیک مناطق خندقی نداشته است. بنابراین از بین کلیه خصوصیات مورفومتریکی خندق‌ها فقط دو متغیر طول خندق و عرض بالای خندق در مقطع ۵۰ درصد طول در طبقه‌بندی مورفوکلیماتیک نقش اساسی را ایفا نموده‌اند.

جدول ۴- مقایسه میانگین متغیرهای اندازه‌گیری شده در گروه‌های سه گانه حاصل از طبقه‌بندی مناطق خندقی

منبر	طول خندق	عرض در	عرض بالا در	عرض پائین	ارتفاع	ارتفاع	مساحت	متوسط	درصد	درصد	درصد
گروه	**	B.S	*	B.S	**	B.S	*	**	B.S	B.S	B.S
۱	۶۱۹/۳ <sup>b</sup>	۳/۲۲۷ <sup>a</sup>	۱/۶۱۷ <sup>b</sup>	۱/۵۷۳ <sup>a</sup>	۰/۹۶۷ <sup>a</sup>	۱۴۸۰/۷ <sup>b</sup>	۳۰/۵۰ <sup>b</sup>	۵۹۷/۱۸ <sup>b</sup>	۲۱/۷۰ <sup>a</sup>	۵۳/۲۰ <sup>a</sup>	۲۱/۲۰ <sup>a</sup>
	(۱۲۳/۷۶)	(۰/۳۶۱)	(۰/۵۲۳)	(۰/۳۱۲)	(۰/۲۳۸)	(۵۱۸/۰۹)	(۲/۵۶۲)	(۱۷۰/۵۳)	(۲/۱۵۲)	(۱/۱۳۳)	(۳/۱۴۶)
۲	۱۶۲۰/۰ <sup>a</sup>	۲/۷۱۷ <sup>a</sup>	۷/۵ <sup>a</sup>	۲/۸۳۱ <sup>a</sup>	۱/۳۰ <sup>a</sup>	۲۰۸۷/۲ <sup>a</sup>	۲۳/۰۵ <sup>b</sup>	۶۱۱/۱۵ <sup>b</sup>	۳۳/۲۰ <sup>b</sup>	۱۸/۷۰ <sup>b</sup>	۱۸/۲۰ <sup>b</sup>
	(۱۹۵/۷۹)	(۰/۵۷۶)	(۰/۸۲۷)	(۰/۵۱۰)	(۰/۳۷۷)	(۸۶/۶۶۱)	(۱/۰۵۲)	(۲۶/۹۶۳)	(۳/۸۷۷)	(۳/۱۲۰)	(۵/۱۴۹)
۳	۱۸۳/۳ <sup>b</sup>	۲/۸۷ <sup>a</sup>	۵/۱۳۳ <sup>b</sup>	۲/۵۶۷ <sup>a</sup>	۰/۳۰۰ <sup>a</sup>	۱۳۳۲/۳ <sup>b</sup>	۱۶/۰ <sup>a</sup>	۱۵۷۱/۰۰ <sup>a</sup>	۲۱/۷۰ <sup>a</sup>	۱۹/۷۰ <sup>a</sup>	۲۵/۷۰ <sup>a</sup>
	(۲۷۶/۷۱)	(۰/۸۱۵)	(۱/۱۷۰)	(۰/۶۶۵)	(۰/۵۳۳)	(۱۲۲/۵۵۷)	(۵/۷۳۰)	(۳۸/۱۳۱)	(۵/۱۸۳)	(۱/۵۳۷)	(۷/۷۰۷)
میانگین	۱۹/۶	۲/۸	۲۹	۱۷/۵	۱۰	۶۲/۵	۲۱/۹	۹۷/۱	۲۲	۱۰/۲	۵/۱

اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده اشتباه معیار، حروف مشترک در هر ستون بیان‌گر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵، \*\* معنی‌دار در سطح احتمال کوچک‌تر از ۰/۰۱، \* معنی‌دار در سطح احتمال کوچک‌تر از ۰/۰۵ و n.s غیر معنی‌دار است.

#### منابع مورد استفاده

- رفاهی، ح. ۱۳۷۵. فرسایش آبی و کنترل آن. چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، صفحه ۱۰۵-۸۱.
- صوفی، م. ۱۳۸۳. بررسی ویژگی‌های مورفوکلیماتیک خندق‌های استان فارس. گزارش طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۳۰ صفحه.
- Bradford, J. and R. Piast. 1980. Erosional development of valley bottem gullies in the upper midwestern united states. In: Coates, D.R., Vited, J.D., Geomorphic thresholds, Dowden and culver, Stroudsburg, Pennsylvania, pp.75-101.
- De ploey, J. 1989. A model for headcut retreat in rills and gullies. Catena, Supplement, 14:81-86.
- Derose, R.C., B. Gomez, M. Marden, N.Trustrom. 1998. Gully erosion in mangatu forest, New Zealand. Earth Surface Processes and Land Forms, 23:1045-1053.
- Hauge, C. 1977. Soil erosion definitions. California Geology, 30:202-203.
- Heede, B.H. 1970. Morphology of gullies in the Colorado rocky mountains. Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology, 2:79-89.
- Imeson, A.C. and F.J.P.M. Kawaad. 1980. Gully types and gully prediction. KNAG Geografisch, XIV, 5: 430-441.
- Poesen, J. 1989. Conditions for gully formation in the Belgian loam belt and some ways to control them. Soil Technology Series, 1:39-52.
- Poesen, J. and G. Govers. 1990. Gully erosion in the loam belt of Belgium: typology and control measures. In: Boardman, J., D.L. Foster and J.A. Dearing, Soil Erosion on Agricultural Land. Wiley, Chichester, K, pp.513-530.
- Poesen, J. 1995. Soil erosion in mediterranean environments. In: Fantechi, R., D. Peter, P. Balabansis and J.L. Rubio. Desertification in a European Context: Physical and Socio-economic Aspects. European Commission Report, EUR, 15415, Brussels, pp.123-152 .
- Poesen, J., J. Nachtergaele, G. Verstraeten and C. Valentin. 2003. Gully erosion and environmental change: importance and research needs. Catena, 50: 91-133.
- Romesburg, H.C. 1984. Cluster analysis for researchers. Lifeline Learning Publications, Belmont, California.
- Soil Science Society of America. 1984. Glossary of science terms. Madison, Wisconsin.