

پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال هشتم، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۸  
صص. ۱۴۶-۱۳۰

## تأثیر ویژگی‌های خاک بر مورفولوژی و گسترش فرسایش خندقی مطالعه موردی: (حوضه رودخانه مهران لامرد، فارس)

امیر صفاری - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی تهران.  
امیر کرم - دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی تهران.  
صمد شادفر - دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.  
مهدی احمدی\* - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی تهران.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۴/۱۸      تأیید نهایی: ۱۳۹۷/۱۲/۰۷

### چکیده

بخش وسیعی از دشت ابرفتی حوضه رودخانه مهران لامرد در جنوب استان فارس تحت تأثیر فرسایش خندقی قرار گرفته است. خندق‌ها در شرایط محیطی مختلف شکل‌های متفاوتی دارند و هر شکل خاص از خندق نیز گویای میزان تخریب و هدر رفت خاک می‌باشد. از اینرو هدف از این پژوهش بررسی ارتباط بین متغیرهای موثر در فرسایش خندقی با مورفولوژی خندق‌ها در محدوده مورد مطالعه می‌باشد. جهت دستیابی به هدف فوق، این تحقیق مبتنی بر بررسی‌های متداول طرح‌های آبخیزداری، تهیه نقشه‌ها، جداول، ذخیره آمار و اطلاعات مربوطه در محیط GIS، مشخص نمودن اراضی تحت تأثیر فرسایش خندقی، تقسیم‌بندی خندق‌ها و سپس مورفولوژی آنها با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور همراه با عملیات میدانی، نمونه‌برداری رسوبات و تجزیه آزمایشگاهی نمونه‌ها بوده است. در این تحقیق ۱۲ خندق معرف در ۴ واحد کاری با خصوصیات مورفولوژیکی مشخص، انتخاب شدند. سپس ۱۷ متغیر موثر برای هر نمونه خندق با بهره‌گیری از روش‌های آزمون تحلیل واریانس در نرم افزار SPSS تحلیل آماری صورت گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که مورفولوژی، خصوصیات خاک و میزان تولید رسوب خندق‌های واقع در واحدهای ۱ و ۲ (خندق‌های U شکل) با هم و خندق‌های مربوط به واحدهای ۳ و ۴ (خندق‌های حد واسط U و V شکل) با هم شباهت دارند. نتایج نشان می‌دهد که تفاوت معناداری در سطح ( $P < 0.01$ )، بین ویژگی‌های خاک در واحدهای مختلف وجود داد. خندق‌های U شکل با خندق‌های حد واسط U و V شکل از نظر ویژگی‌های گچ، EC، SAR، OC و TNV با هم متفاوت هستند.

واژگان کلیدی: فرسایش خندقی، مورفولوژی خندق، حوضه مهران لامرد، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک.

## مقدمه

فرایندهای مختلف درونی و بیرونی زمین بعضاً در سطح زمین پدیدهایی را ایجاد می‌کنند که برخی از آنها برای زندگی انسان‌ها مفید و برخی نیز ایجاد خطر می‌کنند. از جمله این فرایندها، فرایند آبی است که گاهی با ایجاد مخروط افکنه‌ها یا دشت‌های حاصلخیز باعث تجمع جمعیت و استفاده حداکثری انسان از این پدیده‌ها می‌شود و گاهی نیز با ایجاد خندق‌ها باعث تخریب اراضی و هدر رفتن منابع طبیعی می‌شوند. یکی از مسائلی که ذهن پژوهشگران را در زمینه مدیریت منابع طبیعی به خود مشغول کرده است، موضوع تخریب این منابع از جمله فرسایش یا هدر رفت منابع خاک می‌باشد. در میان انواع فرسایش (آبی، بادی و یخچالی) فرسایش آبی بویژه از نوع خندقی، به دلیل هدررفت بیشتر خاک نسبت به دیگر انواع فرسایش، همواره مورد توجه محققین در این زمینه بوده است. حوضه رودخانه مهران در جنوب استان فارس، در محدوده سیاسی شهرستان‌های لامرد و مهر قرار دارد. با توجه به شرایط خاص اقلیمی و زمین‌شناسی، قلمرو وسیعی از دشت‌های آبرفتی حوضه مورد مطالعه تحت تاثیر این نوع از فرسایش قرار گرفته و باعث تخریب بخش وسیعی از اراضی زراعی، زیرساخت‌ها و هدر رفت حجم زیادی از خاک در منطقه شده است (شکل ۱). ویژگی‌های محیطی در حوضه رودخانه مهران باعث شده خندق‌ها از لحاظ شکل بسیار متنوع باشند به نحوی که می‌توان از مناطق فرسایشی به عنوان یک محل یا کارگاه گالی‌شناسی استفاده نمود.



شکل ۱. نمایی از فرسایش خندقی در بخش‌های مختلف حوضه با هلی‌شات

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در پایداری خاک دانه‌ها و اثر آن در ایجاد اشکال مختلف نقش اصلی دارند، در واقع جهت بررسی اشکال سطحی زمین، جنس سنگ یا خاکی که شکل خاصی در آن ایجاد شده است باید مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد. (Evens and Lindsay, 2010) یکی از عوامل موثر در فرسایش خاک، پایداری خاکدانه‌ها و عوامل موثر در تغییر آن است. در صورت تعیین عوامل موثر در پایداری خاکدانه‌ها می‌توان نسبت به رفع محدودیت‌های موجود در این زمینه اقدام نمود. بر اساس نظر (Imeson and Kwaad, 1980) خندق‌های از نوع U شکل با توجه به موقعیت آنها بوسیله فرایندهای زیر سطحی و یا سطحی ایجاد می‌گردند. (Gimenez al, 2009) گزارش دادند که ایجاد خندق‌های U و V شکل ناشی از توپوگرافی سطح زمین می‌باشد. خندق‌ها براساس شکل کناره‌ها توسط (Crouch al, 1986) به چهار گروه ذیل تقسیم می‌شود. ۱. کناره‌های عمودی با شیب بزرگ‌تر از ۶۵ درجه معین شده‌اند این نوع

خندق‌ها معمولاً توسط شکست توده خاک ایجاد می‌شوند. ۲. کناره‌های مایل: شیب آنها کمتر از ۶۵ درجه و به وسیله فرآیندهای متعددی نظیر خزش و گسترش شیارها و پاشمان ایجاد می‌گردند (Schumm, 1956). ۳. کناره‌های بریده بریده: این کناره‌ها توسط شیارها و به وسیله پاشمان و رواناب سطحی ایجاد می‌گردند (Veness, 1980). ۴. کناره‌های لوله‌ای: که در آنها جریان زیر سطحی و ویژگی‌های خاک نقش اساسی ایفا می‌کند (Heed, 1971). Ireland al, (1939) پلان پیشانی (سر) خندق‌ها را به چهار دسته تقسیم نمودند که عبارتند از نقطه‌ای، مدور، نوکدار و پنجه‌ای. به عقیده آنها اشکال مدور و پنجه‌ای و گاهی نوک‌دار توسط نشست ایجاد می‌شوند. نیمرخ عرضی پیشانی خندق‌ها را نیز به چهار دسته شامل شیب دار، عمودی، غارمانند و غار با ریشه‌های آویزان تقسیم نمودند. آنها معتقدند که نوع غار مانند توسط فرآیند رواناب سطحی و یا نشست ایجاد می‌گردد. (Obifuna and Adamu, 2011) در تحقیقی در شمال شرق نیجریه گزارش دادند که خصوصیات زمین شناسی نقش اساسی در ایجاد فرسایش خندقی دارد. (Sigunga al, 2011) در تحقیقی در شرق کنیا به این نتیجه رسیدند که عوامل pH، بالا بودن مقدار سدیم قابل تبادل، درصد ESP، ساختمان نامناسب خاک و نفوذپذیری کم از عوامل موثر در ایجاد فرسایش خندقی می‌باشند. (Frank al, 2011) اعلام کرد که در منطقه خشک شمال اتیوپی خندق‌هایی تا عمق ۵ متر و پهنا ۱۵ متر وجود دارد که علت آن‌ها وجود توپوگرافی و شیب زیاد و از بین بردن پوشش گیاهی می‌باشد. (Igwe, 2012) در مطالعه‌ای به بررسی نقش خصوصیات خاک و فاکتورهای محیطی در فرسایش خندقی در جنوب شرقی نیجریه پرداخت و گزارش نمود که عوامل لیتولوژی، اقلیم، مقدار شیب، درصد پوشش گیاهی و دخالت‌های نادرست انسانی بر توسعه خندق‌ها در منطقه مورد نظر نقش قابل ملاحظه‌ای دارند. (Solomon Ehiz and Omougbo, 2013) در ارزیابی فاکتورهای موثر در ایجاد و توسعه خندق‌ها در دانشگاه بنین گزارش کردند که زهکش‌های نامناسب انتهایی، محتوی کم رس، شرایط توپوگرافی خاص و فقدان پوشش گیاهی از عوامل موثر در ایجاد فرسایش خندقی در این منطقه می‌باشند. (Kumar shit al, 2013) به ارزیابی عوامل موثر در توسعه خندق‌های موقتی در مناطق بدلندی گاریتا مدینپور هند پرداختند و گزارش نمودند که مقدار شیب، توزیع بارندگی و رواناب ارتباط قوی با فرسایش خندقی دارند. پژوهش (Mansour, 2014) بر روی خاک حوضه آبخیز Jgawa در نیجریه نشان داد که میزان شن و مواد آلی سطح خاک در سواحل خندق کم بوده، آنها نتیجه گرفتند که ویژگی‌های خاک بر روی توسعه خندق‌ها موثر هستند. بنا به نظر (Conoscenti al, 2014) عوامل محیطی کنترل کننده شرایط بحرانی برای گسترش فرسایش خندقی عبارتند از: بارندگی، توپوگرافی، خاک، لیتولوژی و کاربری اراضی می‌باشد. (Hailu al, 2015) در پژوهشی در جنوب غرب اتیوپی گزارش داده‌اند که اقلیم شناسی نقش موثری در شکل خندق‌ها دارد، به طوری که در اقلیم‌های متفاوت شکل خندق‌ها نیز با همدیگر تفاوت دارند. علاوه بر آن خاک شناسی نیز تاثیر بسزایی در شکل خندق‌ها دارند.

بنا به نظر (احمدی، ۱۳۷۸ و علیزاده ۱۳۶۸) خندق‌های U شکل 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 نهایت خندق به شکل U در سطح زمین دیده می‌شود. (اسماعیل نژاد و همکاران، ۱۳۹۱) به بررسی تاثیر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و کانی شناسی خاک بر مورفولوژی خندق‌ها در اراضی مارنی جنوب استان گلستان پرداختند. عوامل مقدار رس خاک، نوع رس‌ها و میزان سدیم محلول و تبدالی در شکل گیری و ایجاد انواع شبکه خندق‌ها موثر بوده است. (خوجه و همکاران، ۱۳۹۱) در بررسی ارتباط خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و گسترش فرسایش خندقی در حوضه آبخیز تمرقوزی واقع در استان گلستان گزارش کردند که مقدار سیلت، املاح محلول، و درصد رطوبت اشباع خاک در شکل گیری و گسترش خندق‌ها در سازند لسی تاثیرگذار بوده است. (زنجانی جم و همکاران، ۱۳۹۲) به بررسی خصوصیات شکل و اقلیم شناسی خندق‌ها به منظور طبقه بندی مناطق خندقی شده در استان زنجان پرداختند و گزارش نمودند که عوامل فرسایش پذیری خاک، تخریب پوشش گیاهی و تغییر کاربری اراضی مرتع و دیم مهمترین عوامل موثر

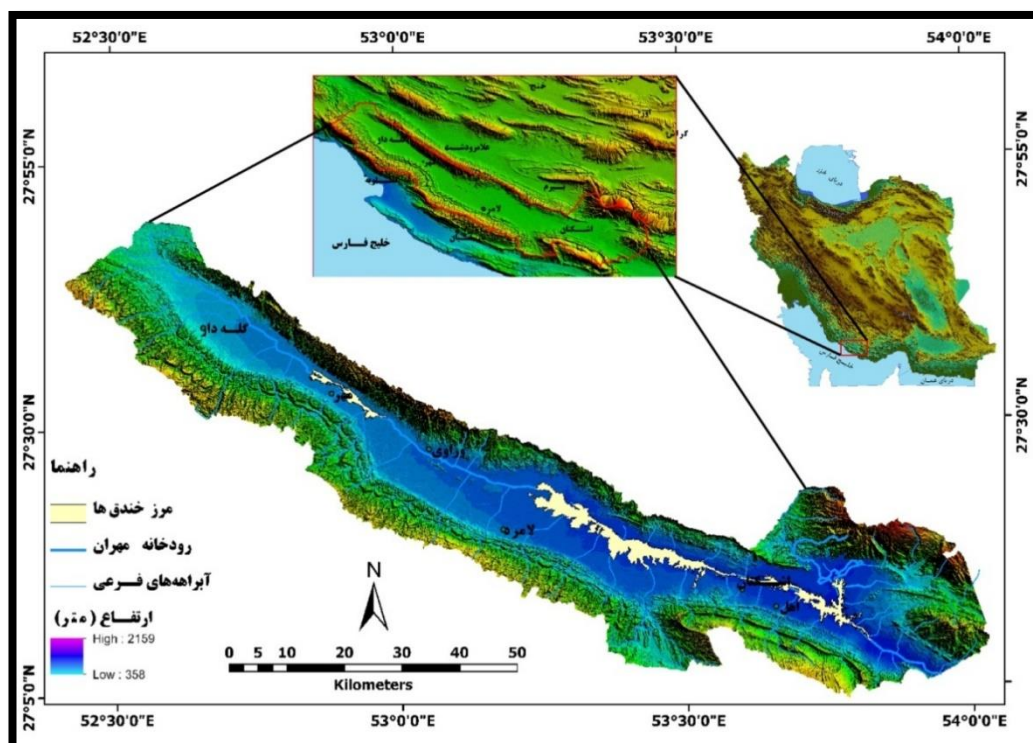
در این رابطه می‌باشد. (نظری و همکاران، ۱۳۹۳) با بررسی اشکال فرسایش سطحی، شیاری، آبراهه‌ای و خندقی در نهشته‌های مارنی نتوژن منطقه حسن آباد قم به روش آزمون تحلیل واریانس به این نتیجه رسیدند که رابطه مستقیمی بین درصد آهک، درصد مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و درصد سدیم قابل تبادل در فرسایش سطحی با سایر اشکال فرسایش ارتباط معنی دار وجود دارد. نتایج بررسی‌های آماری (رستمی زاده و همکاران، ۱۳۹۳) در تعیین عوامل موثر در رشد طولی خندق‌های شهرستان دره شهر با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره (گام به گام) نشان داد که طول خندق با مساحت بالادست خندق، عرض بالا و پایین و سطح مقطع خندق با ضریب گردی حوضه، عمق خندق با ضریب گردی حوضه و انحنای دامنه، ارتفاع پیشانی خندق با شیب محلی سر خندق و شیب جداره خندق با درصد تاج پوشش رابطه معنی داری دارند. (محمد ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۴) در پژوهشی بر روی خندق‌های خطی در حوضه آبخیز آق امام واقع در استان گلستان با استفاده از روش آزمون t-Student به این نتیجه رسیدند که از بین عوامل خاکی و غیر خاکی موثر در فرسایش خندقی، عوامل: درصد رُس، درصد سیلت، درصد رطوبت اشباع، شوری، مواد آلی و آهک‌کُل در سطح معنی دار یک درصد و عامل لیتولوژی در سطح معنی داری پنج درصد بیشترین تأثیر را در ایجاد فرسایش خندقی خطی داشته‌اند. (حسین زاده و همکاران، ۱۳۹۵) در بررسی گسترش فرسایش خندقی و طبقه‌بندی آن در حوضه آبخیز رباط ترک دلیجان با استفاده از روش تحلیل واریانس یک طرفه عوامل موثر در گسترش خندق‌های حوضه مورد مطالعه خود را به دو دسته طبیعی (نوع بافت خاک، میزان مواد آلی، وزن مخصوص، مساحت حوضه آبخیز، میزان شیب و نوع سازند تشکیل دهنده) و انسانی (اقدامات کشاورزی که تغییر و افزایش نفوذپذیری لایه‌های سطحی توسط فرایند شخم، اثر عملیات کشاورزی و خاک ورزی که رفتار لایه‌های سطحی و زیرین را در برابر نفوذپذیری نامتعادل می‌نماید) تقسیم بندی کردند. (مکرم و محمودی، ۱۳۹۵) در پژوهشی با عنوان بررسی ویژگی‌های مورفومتری خندق‌ها و ارتباط آن با ویژگی‌های خاک در جنوب شهرستان فسا و شمال شهرستان داراب واقع در استان فارس با استفاده از مدل رگرسیون خطی به این نتیجه رسیدند که حجم خندق با عمق خندق ارتباط مستقیم و با میزان مواد آلی رابطه معکوس دارد. (اصغری سراسکانرود، ۱۳۹۶) در پژوهشی با عنوان تحلیل عوامل موثر در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی در ساحل شرقی دریاچه ارومیه به این نتیجه رسید که در منطقه مورد مطالعه گسترش خندق‌ها تحت تأثیر دو عامل یکی اقلیمی و دیگری ویژگی‌ها و خصوصیات فیزیکی (ریز دانه بودن) و شیمیایی (مقادیر بالای EC و SAR) می‌باشد که منجر به ایجاد فرسایش انحلالی شده است و شرایط را برای ایجاد فرسایش تونلی مهیا نموده است. (جهان تیغ و تابع، ۱۳۹۶) در بررسی مورفولوژی خندق‌های ذوزنقه‌ای و V شکل در چابهار به این نتیجه رسیدند که ویژگی‌های خاک این دو نوع خندق از نظر ویژگی‌های شوری، رس، ظرفیت تبادل کاتیونی، سدیم قابل جذب، درصد سدیم قابل تبادل، در سطح ۵ درصد و همچنین درصد اشباع در سطح یک درصد اختلاف معنی داری وجود دارد. براساس یافته‌های ایشان عوامل زمینی باعث ایجاد تفاوت در خندق‌ها از لحاظ مقطع عرضی و پلان عمومی آنها شده است.

در مجموع می‌توان گفت مطالعات نسبتاً خوبی از ابعاد مختلف بر روی خندق‌ها در داخل کشور صورت گرفته است. اما شرایط محیطی (طبیعی و انسانی) متفاوت در نقاط مختلف ایران، شناسایی عوامل موثر در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی را بسیار پیچیده کرده است. از این جهت می‌تواند برای این منظور در هر محدوده‌ای مطالعات مجزایی صورت گیرد. از این رو هدف و ضرورت توجه به این مساله در این تحقیق از دو جهت اهمیت دارد. ۱. تاکنون تحقیق جامعی بر روی این پدیده در حوضه مورد مطالعه انجام نشده و هر ساله نیز شاهد گسترش خندق‌ها و خسارت به اراضی زراعی، و زیر ساخت‌ها هستیم. ۲. خندق‌ها در شرایط محیطی متفاوت شکل‌های متفاوتی دارند، میزان تخریب اراضی در شکل‌های مختلف خندق‌ها نیز یکسان نمی‌باشد. این پژوهش به دنبال بررسی شکل خندق‌ها از منظر ژئومورفولوژی است که در داخل کمتر مورد مطالعه و توجه قرار گرفته شده است.



## منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، در جنوب استان فارس، در حدود ۳۰ کیلومتری شمال خط ساحلی خلیج فارس واقع شده است (شکل ۲). حوضه رودخانه مهران به صورت یک دشت دامنه‌ای با پستی و بلندی کم و شیب ملایم حاصل از رسوبات آبرفتی دوران سنوزوئیک است که به تبعیت از روند چین خوردگی زاگرس جنوبی در بین دو رشته طاقدیس با جهت شمال غربی - جنوب شرقی واقع شده است. حوضه مورد مطالعه از ۹ سازند تشکیل شده که به لحاظ سنگ شناسی ترکیبات آنها رسوبات آبرفتی، سنگ آهک، مارن، ماسه سنگ، شیل و ژئیس تشکیل می‌دهند. این سازندها از گروه‌های فارس، بنگستان و خامی می‌باشند. مساحت حوضه نزدیک به ۳۷۷۲ کیلومتر مربع (۳۷۷۱۹۰ هکتار) محاسبه گردید. محدوده خندقی شده با استفاده از عکس‌های هوایی استخراج گردید که مساحت آن نزدیک به ۱۳۱ کیلومتر مربع (۱۳۱۰۰ هکتار) می‌باشد. حداقل ارتفاع در منطقه برابر ۳۵۸ متر از سطح دریا و حداکثر ارتفاع معادل ۲۱۵۹ متر از سطح دریا می‌باشد.

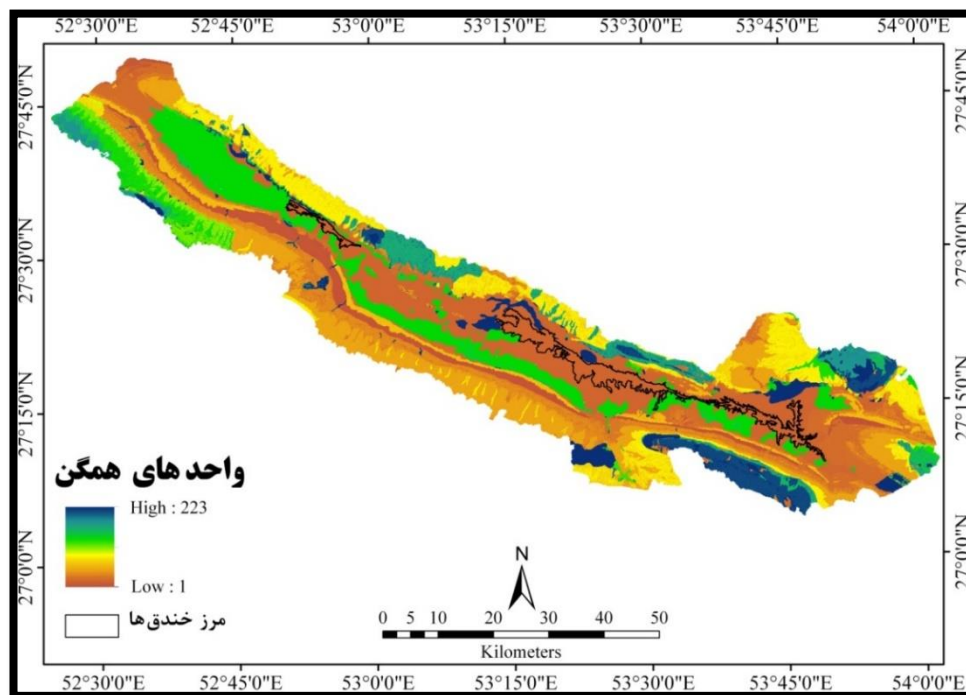


شکل ۲: موقعیت حوضه مورد مطالعه

اقلیم این منطقه با استفاده از روش دومارتن به صورت خشک بیابانی معرفی شده است. تیپ غالب پوشش منطقه کهور بومی بوده، گونه‌های همراه اغلب شامل گنار، تاغ و علف شور می‌باشد.

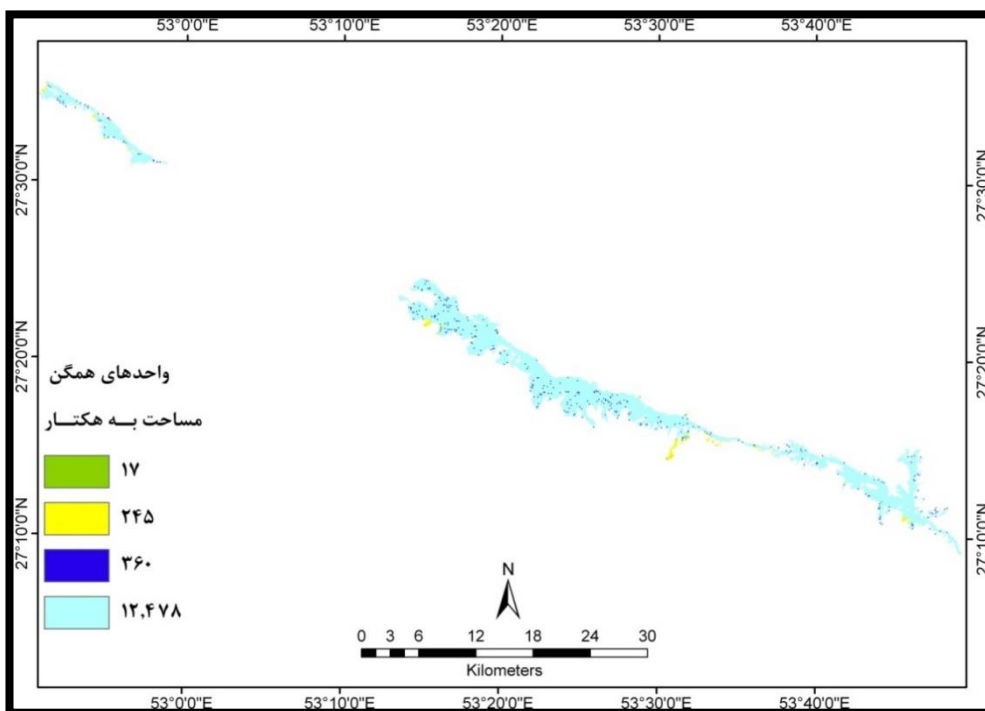
## مواد و روش‌ها:

جهت تعیین مرز حوضه آبخیز و همچنین استخراج لایه شیب از ۴۲ شیت نقشه توپوگرافی رقومی به مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ مربوط به سازمان نقشه برداری استفاده شده است. با بهره‌گیری از عکس‌های هوایی ۱/۴۰۰۰۰ پوشش سراسری، تصاویر گوگل ارتث و تصویر برداری به وسیله هلی‌شات نقشه محدوده خندقی شده و همچنین نقشه کاربری اراضی تهیه گردید. جهت تعیین خندق‌های نمونه ابتدا در محیط نرم افزار Arc-GIS لایه‌های سنگ شناسی، شیب و کاربری اراضی برای تهیه واحدهای همگن در کل حوضه مورد مطالعه با هم تلفیق شدند که ۲۲۳ واحد همگن از تلفیق این سه لایه استخراج گردید (شکل ۳).



شکل ۳: واحدهای همگن در حوضه مورد مطالعه.

سپس واحدهای همگن موجود در اراضی متأثر از فرسایش خندقی، از واحدهای همگن کل حوضه استخراج شده است (شکل ۴). با توجه به شکل ۴ در اراضی که تحت تأثیر فرسایش خندقی قرار گرفته‌اند چهار واحد همگن وجود دارد. (جدول ۱) خصوصیات این واحدها را نشان می‌دهد.



شکل ۴: نقشه پراکنندگی واحدهای همگن در محدوده خندقی شده

جدول ۱: خصوصیات واحدهای همگن در اراضی خندقی شده

واحدهای همگن	شیب (درصد)	کاربری	سنگ شناسی	مساحت (هکتار)	تراکم اراضی خندقی به درصد
۱	۵ - ۰	زراعی	رسوبات آبرفتی	۲۴۵	۱/۸۷
۲	۱۰ - ۵	زراعی	رسوبات آبرفتی	۱۷	۰/۱۲
۳	۵ - ۰	بایر (بدون پوشش گیاهی)	رسوبات آبرفتی	۱۲۴۷۸	۹۵/۲۵
۴	۱۰ - ۵	بایر (بدون پوشش گیاهی)	رسوبات آبرفتی	۳۶۰	۲/۷۴

با توجه به اینکه نزدیک به ۹۵ درصد از اراضی خندقی شده در واحد ۳ قرار دارند، و در سایر واحدها حدود یا کمتر از ۲ درصد خندق‌ها ایجاد شده‌اند، از اینرو در واحد سه ۶ نمونه خندق معرفی و در سایر واحدها هر کدام ۲ نمونه خندق معرفی جهت بررسی انتخاب شدند. جهت بررسی ارتباط میزان تولید رسوب با خندق‌های واقع در هر واحد که خصوصیات مورفولوژیکی متفاوتی دارند، مقاطع عرضی خندق‌های نمونه در صحرا اندازه‌گیری شد. با ملاحظه میدانی خندق‌ها و پلان عمومی آنها، فاصله مناسب ۱۰ متری برای تعیین مقاطع عرضی و اندازه‌گیری آنها در نظر گرفته شده است. سپس حجم فرسایش برای هر نمونه محاسبه گردید.

جهت تعیین تاثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در شکل خندق‌ها از مقاطع پیشانی، مرکز و نقطه خروجی خندق‌ها هر کدام یک نمونه خاک به وزن حدود ۲ تا ۳ کیلوگرم برداشت شده است. بدین منظور جهت جلوگیری از خطا در برداشت نمونه‌ها، ابتدا حدود ۱۰ سانتی‌متر از سطح دیواره به وسیله بیلچه تراشیده شده است. سپس از سطح تا عمق ۳۰ سانتی‌متری یک نمونه به صورت مخلوط برداشت و هر نمونه کدگذاری شده‌اند. در مجموع ۳۶ نمونه خاک برداشت شده است. ۱۱ متغیر موثر شامل درصد رس، درصد سیلت، درصد شن، هدایت الکتریکی، اسیدیته خاک، غلظت سدیم، مجموع غلظت‌های کلسیم و منیزیم، درصد مواد آلی، درصد آهک کل، درصد گچ و میزان جذب سدیم برای هر نمونه خاک اندازه‌گیری شده است. جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی رسوب از روش‌های زیر استفاده شده‌اند: اسیدیته با استفاده از دستگاه pH Meter، هدایت الکتریکی توسط دستگاه Ec Meter، گچ به روش استون<sup>۱</sup>، سدیم به روش فلیم‌فتمتری<sup>۲</sup>، آهک کل به روش کالسیمتری، مواد آلی به روش اکسیداسیون تر<sup>۳</sup> (والکلی و بلک)، بافت به روش هیدرومتری، و کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون. مساحت حوضه بالادست پیشانی هر خندق با استفاده از GPS و پیمایش بر روی نقاط ارتفاعی، مشخص و ثبت گردیده است. از شیب سنج جهت اندازه‌گیری شیب در حوضه بالادست خندق استفاده شده است. ویژگی‌های پوشش زمین شامل: درصد خاک لخت، درصد پوشش گیاهی، سنگریزه و لاشبرگ با استفاده از پلات ۱×۱ متر اندازه‌گیری شده است. بدین منظور برای هر خندق در حوضه بالادست آن ۳ بار به صورت تصادفی، نوع و درصد پوشش زمین اندازه‌گیری و میانگین آن ثبت گردیده است. (شکل ۵) بخشی از عملیات میدانی جهت برداشت و ثبت داده‌ها را نشان می‌دهد.

1 - Acetone

2 - Flame photometer

3 - Walkley and Black

4 - Titrimetric



شکل ۵: عملیات میدانی جهت برداشت داده

سایر ویژگی‌های مربوط به هر نمونه خندق شامل: نوع کاربری که خندق در آن ایجاد شده است، خصوصیات شکلی هر خندق شامل: شکل مقطع عرضی، شکل دیواره‌ها، پلان پیشانی و نیمرخ عرضی پیشانی در محل مورد بررسی قرار گرفت و ثبت گردیده است.

جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها (بررسی تفاوت‌ها) در واحدهای مختلف به ترتیب از روش‌های آزمون تحلیل واریانس چند متغیره، آزمون تحلیل واریانس یک طرفه و آزمون تعقیبی در نرم افزار SPSS استفاده شده است. برای این منظور آزمون‌های بالا یک بار به صورت مجزا برای متغیرهای مربوط به خاک شناسی و یک بار نیز به صورت ترکیبی با سایر متغیرهای اندازه‌گیری شده مورد بررسی قرار گرفته شده است.



## نتایج و بحث:

## ۱- بررسی شکل‌شناسی واحدها.

بررسی شکل‌شناسی خندق‌های نمونه در واحدهای کاری بدین صورت است که تیپ غالب خندق‌ها در واحدهای ۱ و ۲ بسیار مشابه به هم می‌باشد با اندکی اختلاف در شکل پلان پیشانی و نیمرخ عرضی پیشانی خندق‌ها. خصوصیات خندق‌ها در این دو واحد شامل: نوع کاربری زراعی، پوشش گیاهی اندک، مقطع عرضی U شکل، شیب دیواره‌ها عمودی، پلان پیشانی مدور و نیمرخ عرضی غار مانند می‌باشند. شکل اجزای مختلف خندق‌ها به طور کلی در این دو واحد زاویه‌دار می‌باشد (شکل ۶).



شکل ۶ خندق از نوع U شکل که در اراضی زراعی ایجاد شده است

خصوصیات شکل‌شناسی در این دو واحد در مقدار تولید رسوب و هدررفت خاک بسیار تاثیرگذار می‌باشد. در غالب این نوع از خندق‌ها برش‌هایی در بستر و زیر دیواره‌ها مشاهده می‌شود که این برش‌ها خود باعث فرایند ریزشی از دیواره‌ها به صورت توده‌های بسیار بزرگ شده. شکل غار مانند پیشانی نیز در تولید رسوب این نوع از خندق‌ها بسیار نقش دارند به نحوی که در هنگام بارش سقف غار مانند به داخل بستر پیشانی ریزش میکند و پس از آن شکل پیشانی دوباره حالت غار مانند به خود گرفته و این فرایند در پیشانی این نوع از خندق‌ها به صورت یک چرخه تکرار می‌شود. منابع تولید رسوب در خندق‌های این واحد به لحاظ اهمیت به ترتیب ۱. نشست و ریزش توده‌های خاک از دیواره‌ها ۲. نشست و ریزش توده‌های خاک از پیشانی ۳. رسوبی که حاصل شستشوی رواناب با سطح زمین می‌باشد. تیپ غالب خندق‌ها در واحدهای ۳ و ۴ نیز بسیار مشابه به هم می‌باشند. خصوصیات خندق‌ها در این دو واحد شامل: نوع کاربری بایر (فاقد پوشش گیاهی) در موارد اندک پوشش گیاهی بسیار ضعیف، مقطع عرضی حد واسط U شکل و V شکل، شیب دیواره‌ها مایل، دیواره‌های بریده بریده و لوله‌ای شکل، پلان پیشانی نقطه‌ای و نیمرخ عرضی مایل می‌باشد (شکل ۷).



شکل ۷: خندق از نوع حد واسط U و V شکل که در اراضی بایر و فاقد پوشش گیاهی ایجاد شده است

شکل اجزای مختلف خندق‌ها به طور کلی در این دو واحد مایل و کمتر زاویه‌دار می‌باشند. میزان تولید رسوب و فرسایش‌پذیری خاک در این نوع برخلاف خندق‌های واقع در واحدهای ۱ و ۲ بسیار اندک می‌باشد. رسوب تولیدی در این دسته در اثر شستشو و به نوعی می‌توان گفت برخورد مستقیم رواناب با سطوح دیواره‌ها و پیشانی و رسوب تولیدی از سطح حوضه بالادست خندق می‌باشد. به طور کلی خندق‌های واحد ۱ و ۲ بسیار با هم مشابه هستند و همینطور خندق‌های واحد ۳ و ۴ با هم شباهت دارند. این چهار واحد تنها در خصوصیات پلان پیشانی و پنجه‌ای بودن آن شباهت نسبتاً زیاد و مشترکی دارند. (جدول ۲) خصوصیات مورفولوژی خندق‌های نمونه را نشان می‌دهد.

جدول ۲: خصوصیات مورفولوژی خندق‌های نمونه

شماره خندق	شماره واحد	شیب حوضه بالادست (به درصد)		نوع کاربری حوضه بالادست	نوع و درصد پوشش سطح زمین در حوضه بالادست به درصد				مقطع عرضی	شکل دیواره (کناره‌ها)		پلان عمومی						
		DEM	میدانی		مرغ	زراعی	بایر	خاک لجن		سنگریزه	لائیری	پوشش گیاهی	U شکل	V شکل	بر اساس نوع جریان		پلان پیشانی خندق	
															بر اساس شیب	بر اساس نوع جریان	نیمرخ عرضی پیشانی خندق	پلان پیشانی خندق
۱	۱	۱	۱/۲۰	-	✓	-	۲۵	۴۵	۰	۳۰	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓
۲	۱	۱	۲	-	✓	-	۱۵	۲۰	۰	۶۵	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓
۳	۲	۲	۶	-	✓	-	۶۰	۱۰	۰	۳۰	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓
۴	۲	۲	۵/۵	-	✓	-	۲۹	۱۸	۰	۵۳	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓
۵	۳	۳	۳/۵	✓	-	-	۰	۰	۰	۱۰۰	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۶	۳	۳	۳	✓	-	-	۰	۰	۰	۱۰۰	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۷	۳	۳	۱/۵	✓	-	-	۰	۰	۰	۱۰۰	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۸	۳	۳	۲/۵	✓	-	-	۱۰	۰	۰	۹۰	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۹	۳	۳	۳	✓	-	-	۰	۰	۰	۱۰۰	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۱۰	۳	۳	۳	✓	-	-	۰	۰	۰	۱۰۰	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۱۱	۴	۴	۵	✓	-	-	۳۰	۰	۰	۷۰	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
۱۲	۴	۴	۵/۵	✓	-	-	۲۵	۰	۰	۷۵	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓

بررسی‌های شکل‌شناسی در واحدهای ۱ و ۲ با نتایج تحقیقات (Crouch al, 1986) و (Ireland al, 1939) و بررسی‌های شکل‌شناسی در واحدهای ۳ و ۴ با نتایج تحقیقات (Schumm, 1956)، (Veness, 1980)، (Heed, 1971) و (اصغری سراسکانرود، ۱۳۹۶) مطابقت دارد.

## ۲- بررسی مورفومتری و تولید رسوب واحدها.

با توجه به اینکه شکل‌های مختلف خندق‌ها در میزان تولید رسوب آنها نیز نقش دارند، از این جهت در این تحقیق علاوه بر بررسی ارتباط عوامل با شکل خندق‌ها در واحدهای مختلف، میزان رسوب واحدهای مختلف نیز بررسی شده است. بدین منظور پس از تعیین مقاطع عرضی و اندازه‌گیری آنها، حجم فرسایش برای هر نمونه محاسبه گردید. (جدول ۳) خصوصیات مورفومتری خندق‌های نمونه را نشان می‌دهد.

جدول ۳: خصوصیات مورفومتری خندق‌های نمونه

شماره خندق	شماره واحد	مختصات نقطه پیشانی (utm)	مختصات نقطه خروج (utm)	طول خندق	مقطع ۱۰ متری از پیشانی خندق			مقطع ۲۰ متری از پیشانی خندق			مقطع ۳۰ متری از پیشانی خندق			مقطع ۴۰ متری از پیشانی خندق		
					عرض بالا	عرض پایین	عمق	عرض بالا	عرض پایین	عمق	عرض بالا	عرض پایین	عمق	عرض بالا	عرض پایین	عمق
۱	۱	X.749488 y.3017121	X.749461 y.3017148	۴۱	۲/۳۵	۱/۲۰	۳/۵۰	۱/۲۷	۱/۹۰	۳/۷۱	۱/۲۹	۱/۴۰	۳/۷۱	۴	۲/۸۱	۱/۳۰
۲	۲	X.682474 y.3052608	X.682482 y.3052592	۳۱	۲/۲۰	۰/۹۰	۳/۱۵	۱/۱۵	۲	۳/۹۰	۱/۵۰	۲/۳۰	۳/۹۰	-	-	-
۳	۳	X.748460 y.3015700	X.748479 y.3015708	۳۳	۱/۲۰	۱/۲۰	۳/۱۰	۲	۳/۴۰	۸	۲/۴۰	۴	۸	-	-	-
۴	۴	X.753724 y.3017222	X.753717 y.3017252	۳۱	۱/۵۰	۱/۳۵	۲/۴۵	۱/۵۵	۱/۴۰	۲/۷۰	۱/۸۰	۱/۷۵	۳/۲۰	-	-	-
۵	۵	X.749789 y.3019261	X.749818 y.3019265	۳۰	۱/۸۰	۱/۱۰	۳/۱۰	۱/۴۰	۱	۳/۳۰	۱/۷۰	۰/۹۰	۳	-	-	-
۶	۶	X.773665 y.3010435	X.773685 y.3010408	۳۴	۲	۰/۸۰	۳/۴۵	۱/۵۰	۱/۲۰	۲/۸۰	۱/۷۰	۱	۲/۸۰	-	-	-
۷	۷	X.744132 y.3022201	X.744150 y.3022176	۳۱	۲/۵۰	۰/۶۰	۳/۵۰	۱/۲۵	۱/۲۰	۲/۹۰	۱/۸۰	۰/۸۰	۳	-	-	-
۸	۸	X.774621 y.3015806	X.774623 y.3015780	۳۸	۱/۸۵	۰/۸۵	۲/۵۵	۲/۵۵	۰/۸۵	۲/۷۰	۱/۴۰	۰/۵۰	۲/۷۰	-	-	-
۹	۹	X.683061 y.3052459	X.683044 y.3052427	۳۶	۱/۲۰	۰/۸۰	۲/۱۰	۱/۱۵	۰/۹۰	۲/۳۵	۱/۵۰	۰/۷۰	۲/۳۵	-	-	-
۱۰	۱۰	X.684099 y.3052255	X.684119 y.3052270	۳۲	۲/۱۰	۱	۲/۷۵	۲/۹۰	۱/۷۰	۱/۶۰	۱/۸۵	۱/۱۰	۳	-	-	-
۱۱	۱۱	X.689318 y.3049840	X.689294 y.3049832	۳۳	۲/۲۰	۰/۸۱	۲/۷۰	۳/۴۰	۱/۵۵	۲/۶۰	۱/۵۰	۱/۱۰	۲/۶۰	-	-	-
۱۲	۱۲	X.721714 y.3031248	X.721724 y.3031228	۳۰	۲/۲۵	۰/۵۰	۳/۳۰	۱/۱۵	۱/۱۰	۲/۶۰	۱/۳۰	۰/۵۰	۲	-	-	-

جهت بررسی و تحلیل بهتر، میانگین خصوصیات مربوط به طول خندق‌ها، گستره آبخیز بالادست خندق‌ها و میزان رسوب تولیدی برای هر واحد در (جدول ۴) آورده شده است.

جدول ۴: میانگین متغیرهای، طول، میزان تولید رسوب و گستره آبخیز در هر واحد کاری

شماره واحد	طول خندق	میزان تولید رسوب (m <sup>3</sup> )	گستره آبخیز بالای خندق (m <sup>2</sup> )
۱	۳۶	۱۲۶/۷۴	۲۹۴۶۸
۲	۳۲	۱۹۸/۲	۳۴۶۸۲
۳	۳۳/۵۰	۸۳/۹۶	۲۴۹۸۷
۴	۳۱/۵۰	۶۸/۰۸	۳۵۳۷۲

با توجه به جدول بالا میزان طول خندق‌ها در واحدهای مختلف بسیار به هم نزدیک و اختلاف اندکی در طول آنها مشاهده می‌شود همچنین مقایسه گستره حوضه بالادست خندق‌ها در واحدهای مختلف نیز اختلاف ناچیزی نشان می‌دهد. اما بررسی میزان تولید رسوب در واحدهای مختلف نشان دهنده اختلاف زیادی در واحدهای مختلف به ویژه بین واحدهای (۱ و ۲) و (۳ و ۴) می‌باشد. این اختلاف در حجم فرسایش بین واحدها به دو برابر هم می‌رسد. بررسی شکل‌شناسی خندق‌ها حاکی از

این بود که خصوصیات شکل خندق‌های واقع در واحدهای ۱ و ۲ به نحوی است که اجزای آنها در واکنش به رواناب میزان رسوب بیشتری تولید می‌کنند به ویژه شکل U مانند که خود متأثر از ریزش‌های توده‌ای می‌باشد، در حجم فرسایش نقش بسزایی ایفا می‌کند و همچنین شکل غار مانند پیشانی که موجب ریزش‌های توده‌ای در این بخش از خندق می‌شود. بنابراین با توجه به اختلاف ناچیز در طول و گستره آبخیز خندق‌ها، اختلاف حدود دو برابری در تولید رسوب بین واحدهای (۱ و ۲) با (۳ و ۴) می‌تواند ناشی از تفاوت‌ها در شکل آنها باشد.

### بررسی خاک شناسی واحدها

بررسی خصوصیات خاک در نمونه‌های مختلف گویای این مطلب است که حساسیت خاک نسبت به فرسایش در حوضه مورد مطالعه بسیار بالاست. (جدول ۵) خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های برداشت شده برای واحدها و مقاطع مختلف را نشان می‌دهد. مقاطع A, B و C به ترتیب مربوط به پیشانی خندق (A)، مرکز خندق (B) و خروجی خندق (C) می‌باشد.

جدول ۵: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های برداشت شده

SAR	$(Ca+Mg)^{2+}$ Mel <sup>-1</sup> میلی مول بر لیتر	Na <sup>+</sup>	کلاس بافت	Silt %	Clay %	Sand %	تبع %	TNV %	O.C %	pH عصاره اشباع	E.C عصاره اشباع ds/m	رقب	شماره واحد	شماره خندق
۱/۳	۴	۱/۹۲	لوم رسی سیلت	۵۰	۳۵	۱۵	۰	۵۱/۵	۰/۴۶	۸/۲	۰/۵۶	A	۱	۱
۱/۹	۵	۳/۱۱	لوم	۴۹	۲۶	۲۵	۰	۵۴/۸	۰/۳۹	۸/۲	۰/۷۱	B		
۱۷/۸	۵۷/۵	۹۵/۶	لوم	۳۲	۲۶	۴۲	۰	۵۸/۹	۰/۲۵	۷/۸	۱۱/۳۵	C		
۲/۸	۵	۴/۴۲	لوم	۴۹	۲۰	۳۱	۰	۶۸	۰/۳۸	۸/۵	۰/۸۳	A	۲	۲
۲/۱	۳۸	۹/۶	لوم رسی سیلت	۴۸	۳۴	۱۸	۰	۶۰/۲	۰/۲۳	۷/۹	۳/۶۷	B		
۴۵/۷	۱۴۲	۳۸۵	رسی سیلتی	۴۱	۵۱	۸	۰	۵۹/۱	۰/۲۱	۷/۸	۴۰	C		
۲/۱	۶/۶	۳/۸۴	لوم رسی سیلت	۵۶	۲۴	۲۰	۰	۵۳/۵	۰/۴۰	۸/۲	۰/۹۴	A	۳	۳
۲/۳	۶	۴/۰۶	لوم رسی سیلت	۵۸	۲۹	۱۳	۰	۴۶/۲	۰/۴۰	۸/۳	۰/۹۵	B		
۴/۳	۱۴۵	۳۶/۳۶	لوم رسی	۴۵	۳۴	۲۱	۰	۴۸/۲	۰/۳۲	۷/۶	۱۵/۲۱	C		
۱/۶	۷/۶	۳/۱۹	لوم	۴۹	۲۵	۲۶	۰	۵۲/۲	۰/۵۲	۸/۲	۱/۰۲	A	۴	۴
۵/۹	۵/۸	۱۰/۱۳	لوم پشنی	۳۲	۱۵	۵۳	۰	۶۰/۲	۰/۲۱	۸/۲	۱/۵۵	B		
۳/۵	۱۲/۴	۸/۶۸	لوم	۴۱	۲۰	۳۹	۰	۵۴/۸	۰/۱۹	۸	۱/۸۱	C		
۳/۲۸	۷/۲	۶/۲۲	لوم رسی سیلت	۵۴	۳۳	۱۳	۰/۲	۵۰/۸	۰/۴۳	۸/۳	۱/۲۳	A	۵	۵
۹۹	۸۶	۶۵۰	لوم رسی	۳۴	۳۰	۳۶	۵/۶	۳۰/۸	۰/۲۱	۷/۹	۳/۱۵	B		
۱۰۹	۱۹۵	۱۰۸۰	رسی	۴۱	۵۶	۳	۳/۳	۴۲/۴	۰/۱۹	۷/۹	۸۰/۵	C		
۴/۸	۵۸/۵	۲۶/۱	لوم	۳۶	۱۳	۵۱	۲/۲	۵۶/۲	۰/۴۰	۸	۶/۱۹	A	۶	۶
۵۹/۶	۱۲۰	۴۶۲	لوم رسی	۴۶	۳۰	۲۴	۵/۴	۵۱/۵	۰/۳۱	۷/۸	۴۳/۷	B		
۱۱۳	۱۸۰	۱۰۷۵	لوم رسی سیلتی	۲۶	۲۱	۵۳	۴/۲	۵۴/۸	۰/۲۵	۸	۷۸/۷	C		
۰/۹	۳۳/۲	۳/۵۳	لوم رسی	۴۶	۳۱	۲۳	۵/۱	۶۴/۵	۰/۲۵	۸/۱	۲/۸۱	A	۷	۷
۹۸	۸۸	۶۴۱	رسی سیلتی	۴۱	۵۰	۹	۱/۷	۶۰/۸	۰/۲۲	۸/۳	۳۲/۶۵	B		
۱۰۲	۱۹۲	۱۰۳۰	لوم رسی سیلت	۴۹	۳۶	۱۵	۲/۵	۷۵/۷	۰/۱۸	۸	۷۹/۲۳	C		
۲/۳	۲۹	۸/۹۵	لوم رسی	۴۱	۲۹	۳۰	۰/۲	۷۱/۵	۰/۲۹	۷/۹	۲/۹۲	A	۸	۸
۶۰/۴	۱۱۸	۴۷۳	رسی	۴۱	۵۴	۵	۲/۳	۷۰/۵	۰/۲۵	۸/۴	۲۹/۴۰	B		
۱۱۵	۱۷۶	۱۰۸۲	لوم رسی سیلت	۵۴	۳۰	۱۶	۵/۲	۶۸/۹	۰/۲۱	۸/۲	۶۹/۱۲	C		
۲/۹	۲۶/۶	۱۰/۶	لوم	۴۹	۲۰	۳۱	۲/۱	۷۹/۶	۰/۲۴	۷/۸	۳/۱۵	A	۹	۹
۳۳/۸	۵۵/۱	۱۱۴/۳	رسی	۴۵	۵۲	۳	۳/۲	۷۴/۷	۰/۲۳	۷/۹	۴۵/۰۵	B		
۱۱۲	۱۷۵	۱۰۹۰	رسی سیلتی	۴۸	۴۲	۱۰	۴/۱	۶۸/۳	۰/۱۷	۸/۲	۸۱/۶۸	C		
۳/۶	۲۶	۱۵/۳۲	رسی سیلتی	۴۴	۴۴	۱۲	۰/۵	۸۲/۵	۰/۲۵	۸	۳/۸۹	A	۱۰	۱۰
۴۹/۴	۱۲۴	۴۳۱	لوم رسی سیلت	۴۸	۳۷	۱۵	۲/۱	۷۸/۳	۰/۲۲	۸/۱	۳۵/۳۳	B		
۱۰۵	۱۹۰	۱۰۵۵	لوم رسی	۴۵	۳۳	۲۲	۲/۲	۷۰/۴	۰/۱۶	۸/۴	۷۲/۱۹	C		
۳/۵	۹	۷/۴	لوم	۳۵	۲۲	۴۳	۳/۴	۶۹/۴	۰/۲۵	۸/۲	۱/۴۸	A	۱۱	۱۱
۱۰۰	۶۶	۶۸۰	رسی	۴۱	۵۳	۶	۵/۳	۷۱/۶	۰/۲۱	۸/۴	۳۰/۹۸	B		
۱۱۴	۱۶۰	۱۰۷۴	لوم رسی سیلت	۴۳	۳۳	۲۴	۳/۱	۷۳/۸	۰/۱۵	۸/۲	۷۷/۶۵	C		
۴/۳	۲۴/۴	۱۵/۰۲	لوم رسی سیلت	۴۸	۳۴	۱۸	۲/۳	۷۷/۵	۰/۲۵	۸	۳/۵۱	A	۱۲	۱۲
۱۰۲	۸۴	۸۵۰	لوم رسی	۴۶	۳۰	۲۴	۴/۲	۸۰/۴	۰/۲۱	۸/۵	۳۷/۰۹	B		
۱۱۰	۱۹۳	۱۰۸۲	لوم رسی	۴۳	۳۵	۲۲	۴/۴	۷۰/۲	۰/۱۸	۸/۳	۷۷/۸۲	C		



جهت بررسی و تحلیل خصوصیات خاک میانگین هر متغیر برای هر نمونه خندق در (جدول ۶) آمده است.

جدول ۶: میانگین متغیرهای خاک شناسی برای هر نمونه خندق

SAR	گچ	Silt	Clay	Sand	TNV	O.C	PH	EC	شماره واحد	شماره خندق
۷	۰	۴۴	۲۹	۲۷	۵۵/۰۶	۰/۳۶	۸/۰۶	۴/۲۰	۱	۱
۱۶/۸۶	۰	۴۶	۳۵	۱۹	۶۲/۴۳	۰/۳۵	۸/۰۶	۱۴/۸۳	۱	۲
۲/۹۰	۰	۵۳	۲۹	۱۸	۴۹/۳۰	۰/۳۷	۸/۰۳	۵/۷۰	۲	۳
۳/۶۶	۰	۴۱	۲۰	۳۹	۵۵/۸۳	۰/۳۰	۸/۱۳	۱/۴۶	۲	۴
۷۰/۴۲	۳/۰۳	۴۳	۴۰	۱۷	۴۱/۳۳	۰/۲۷	۸/۰۳	۳۷/۸۴	۳	۵
۵۹/۱۳	۳/۹۳	۳۶	۲۱	۴۳	۵۴/۲۶	۰/۳۲	۷/۹۳	۴۲/۸۶	۳	۶
۶۶/۹۶	۳/۱۰	۴۵	۳۹	۱۶	۶۷	۰/۲۱	۸/۱۳	۳۸/۵۶	۳	۷
۵۹/۲۳	۲/۹۰	۴۵	۳۸	۱۷	۷۰/۳۰	۰/۲۵	۸/۱۶	۳۳/۸۱	۳	۸
۴۶/۲۳	۳/۱۳	۴۷	۳۸	۱۵	۷۴/۲۰	۰/۲۱	۷/۹۶	۴۳/۲۹	۳	۹
۵۳/۶۶	۱/۶۰	۴۶	۳۸	۱۶	۷۷/۰۶	۰/۲۱	۸/۱۶	۳۷/۱۳	۳	۱۰
۷۲/۵۰	۳/۹۳	۴۰	۳۶	۲۴	۷۱/۶۰	۰/۲۰	۸/۲۶	۳۶/۷۰	۴	۱۱
۷۲/۱۰	۳/۶۳	۴۶	۳۳	۲۱	۷۶/۰۳	۰/۲۱	۸/۲۶	۳۹/۴۷	۴	۱۲

به طور کلی ویژگی‌های خاک در اراضی خندقی درای املاح زیاد به ویژه سدیم و آهک می‌باشد. بافت خاک سیلتی و به لحاظ مواد آلی فقیر و در گروه خاک‌های قلیایی قرار می‌گیرد. وجود املاح زیاد در خاک بویژه سدیم به همراه فقر مواد آلی، املاح گچ و آهک و بافت سیلتی به ترتیب با توجه به مشاهدات گسترده میدانی باعث پراکندگی خاکدانه‌ها و تشکیل سله در سطح خاک، تشدید فرآیند لوله‌ای شدن و کاهش پایداری خاک شده است که این امر موجب ایجاد، گسترش و تراکم خندق‌ها در حوضه مورد مطالعه شده است. نتایج خصوصیات خاک‌شناسی در این تحقیق با نتایج تحقیقات (Solomon Ehiz, 2011), (Sigunga al, 2011), (Mansour, 2014) and (Omougo, 2013), (اسماعیل نژاد و همکاران، ۱۳۹۱)، (خوجه و همکاران، ۱۳۹۱) و (محمد ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۴) مطابقت دارد.

#### نتایج آزمون تحلیل واریانس برای متغیرهای خاک‌شناسی

برای مقایسه خصوصیات خاک در واحدهای مختلف از آزمون تحلیل واریانس چند متغیره استفاده شده است (جدول ۷). نتایج آزمون لامبدای ویکلز برای مقایسه ویژگی‌های خاک در واحدهای مختلف حاکی از آن است که در مجموع تفاوت معناداری بین ویژگی‌های خاک در واحدهای مختلف وجود داد ( $F=۲/۴۱, P < ۰/۰۱$ ).

جدول ۷: آزمون چند متغیره

Effect	Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.
Intercept					
Pillai's Trace	1.000	7309.226 <sup>b</sup>	8.000	25.000	.000
Wilks' Lambda	.000	7309.226 <sup>b</sup>	8.000	25.000	.000
Hotelling's Trace	2338.952	7309.226 <sup>b</sup>	8.000	25.000	.000
Roy's Largest Root	2338.952	7309.226 <sup>b</sup>	8.000	25.000	.000
Unit					
Pillai's Trace	1.004	1.696	24.000	81.000	.042
Wilks' Lambda	.184	2.411	24.000	73.109	.002
Hotelling's Trace	3.460	3.412	24.000	71.000	.000
Roy's Largest Root	3.179	10.729 <sup>c</sup>	8.000	27.000	.000

a. Design: Intercept + Unit

b. Exact statistic

c. The statistic is an upper bound on F that yields a lower bound on the significance level.

در ادامه تحلیل واریانس چند متغیره، نتایج تحلیل واریانس یک طرفه حاکی از آن است که تفاوت مشاهده شده در خصوصیات خاک در واحدهای مختلف به ویژگی‌های EC ( $F=۳/۷۷, P < ۰/۰۵$ )، OC ( $F=۳/۵۵, P < ۰/۰۵$ )، TNV

نظر این ویژگی‌ها با هم تفاوت دارند.  $(F=4/34, P<0/05)$  گچ  $(F=15/51, P<0/01)$  و  $(F=4/91, P<0/01)$  SAR مربوط است. یعنی واحدهای مختلف از

انجام آزمون تعقیبی LSD هم نشان دهنده آن است که از بین تفاوت‌های مشاهده شده در ویژگی‌های خاک در بین واحدهای مختلف، ویژگی EC در بین واحدهای یک با سه  $(MD=-29/38, P<0/05)$  و دو با سه  $(MD=-35/28, P<0/01)$  و  $(MD=0/11, P<0/05)$  و چهار  $(MD=-34/51, P<0/05)$ ، ویژگی OC در بین واحدهای یک با چهار  $(MD=0/11, P<0/05)$ ، دو با سه  $(MD=0/09, P<0/05)$  و چهار  $(MD=0/13, P<0/05)$ ، ویژگی TNV بین واحدهای یک با چهار  $(P<0/05)$  و دو با سه  $(MD=-11/49, P<0/05)$  و چهار  $(MD=-21/30, P<0/01)$ ، ویژگی گچ بین واحدهای یک با سه  $(MD=-2/95, P<0/01)$  و چهار  $(MD=-3/78, P<0/01)$  و دو با سه  $(MD=-2/95, P<0/01)$  و چهار  $(MD=-3/78, P<0/05)$  و ویژگی SAR بین واحدهای یک با سه  $(MD=-47/18, P<0/05)$  و چهار  $(P<0/05)$  و دو با سه  $(MD=-60/37, P<0/01)$  و چهار  $(MD=-55/83, P<0/01)$  متفاوت است. علاوه بر این، بررسی تأثیر ویژگی‌های خاک بر واحدها با استفاده از اندازه اثر حاکی از آن است که ویژگی‌های EC، OC، TNV، گچ و SAR به ترتیب ۰/۲۶، ۰/۲۵، ۰/۲۹، ۰/۵۹ و ۰/۳۲ بر واحدها تأثیر دارند. نتایج این بخش از تحقیق با نتایج (نظری و همکاران، ۱۳۹۳) و (جهان تیغ و تابع، ۱۳۹۶) مطابقت دارد.

### نتایج آزمون تحلیل واریانس با در نظر گرفتن مجموع متغیرهای اندازه‌گیری شده

علاوه بر بررسی متغیرهای مربوط به خاک‌شناسی که نقش اصلی و اساسی در شکل خندق‌ها و همچنین در ایجاد و توسعه آنها دارند، سایر متغیرهایی که می‌توانند به صورت مستقیم یا غیر مستقیم در شکل، رشد و توسعه خندق‌های حوضه مورد مطالعه نقش داشته باشند نیز اندازه‌گیری و مورد بررسی قرار گرفته شده است. این متغیرها شامل میزان شیب، درصد خاک لخت، درصد سنگریزه، درصد لاشبرگ و درصد پوشش گیاهی در حوضه بالادست هر نمونه خندق می‌باشد. در مجموع تعداد ۱۷ متغیر در این قسمت مورد بررسی قرار گرفته شده است. نتایج آزمون لامبدای ویکلز برای بررسی اثر مجموع متغیرهای مستقل روی متغیرهای وابسته در واحدهای مختلف حاکی از آن است که تفاوت معنادار چشمگیری بین عوامل در واحدهای مختلف وجود ندارد (جدول ۸).

جدول ۸: آزمون چند متغیره

Effect	Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.	Partial Eta Squared	
Intercept	Pillai's Trace	1.000	1220407.648 <sup>b</sup>	8.000	1.000	.001	1.000
	Wilks' Lambda	.000	1220407.649 <sup>b</sup>	8.000	1.000	.001	1.000
	Hotelling's Trace	9763261.192	1220407.649 <sup>b</sup>	8.000	1.000	.001	1.000
	Roy's Largest Root	9763261.192	1220407.649 <sup>b</sup>	8.000	1.000	.001	1.000
Unit	Pillai's Trace	2.360	1.384	24.000	9.000	.316	.787
	Wilks' Lambda	.000	5.331	24.000	3.502	.074	.970
	Hotelling's Trace	.	.	24.000	.	.	.
	Roy's Largest Root	242.792	91.047 <sup>c</sup>	8.000	3.000	.002	.996

a. Design: Intercept + Unit

b. Exact statistic

c. The statistic is an upper bound on F that yields a lower bound on the significance level.

با وجود اینکه نتایج تحلیل واریانس چند متغیره حاکی از آن است که در مجموع تفاوت معنادار چشمگیری بین متغیرها در واحدهای مختلف وجود ندارد، اما جهت مقایسه وضعیت تک به تک متغیرها در واحدهای مختلف از تحلیل واریانس یک طرفه استفاده شده است. نتایج تحلیل واریانس یک طرفه حاکی از آن است که در ویژگی‌های EC  $(F=55/38, P<0/01)$ ، گچ  $(F=25/46, P<0/01)$ ، SAR  $(F=51/46, P<0/01)$ ، درصد شیب  $(F=24/30, P<0/01)$ ، خاک لخت  $(P<0/01)$

دارد.  $(F=21/43, P<0/01)$ ، لاشبرگ  $(F=13/81, P<0/01)$  و پوشش گیاهی  $(F=13/43, P<0/01)$  تفاوت معناداری بین واحدها وجود دارد.

انجام آزمون تعقیبی LSD هم حاکی از آن است که از بین تفاوت‌های مشاهده شده در متغیرها بین واحدهای مختلف، ویژگی EC در بین واحدهای یک با سه  $(MD=-29/40, P<0/01)$  و چهار  $(MD=-28/57, P<0/01)$  و دو با سه  $(MD=-35/34, P<0/01)$  و چهار  $(MD=-34/51, P<0/01)$ ، ویژگی گچ بین واحدهای یک با سه  $(P<0/01)$ ،  $(MD=-2/95, P<0/01)$  و چهار  $(MD=-3/78, P<0/01)$  و چهار  $(MD=-3/78, P<0/01)$  و دو با سه  $(MD=-2/95, P<0/01)$  و چهار  $(MD=-6/37, P<0/01)$  و دو با سه  $(MD=-55/99, P<0/01)$  و چهار  $(MD=-69/02, P<0/01)$ ، ویژگی درصد شیب بین واحدهای یک با دو  $(MD=-4/15, P<0/05)$ ، سه  $(MD=-1/15, P<0/05)$  و چهار  $(MD=-3/65, P<0/01)$  و دو با سه  $(P<0/01)$ ،  $(MD=-3/00, P<0/05)$ ، ویژگی درصد خاک لخت بین واحدهای یک با سه  $(MD=-50/83, P<0/01)$  و چهار  $(P<0/05)$ ،  $(MD=-25/00, P<0/01)$  و دو با سه  $(MD=-51/83, P<0/01)$  و چهار  $(MD=-26/00, P<0/05)$ ، ویژگی لاشبرگ بین واحدهای یک با دو  $(MD=-18/50, P<0/05)$ ، سه  $(MD=-32/50, P<0/01)$  و چهار  $(MD=-32/50, P<0/01)$  و دو با سه  $(MD=-14/00, P<0/05)$  و ویژگی درصد پوشش گیاهی بین واحدهای یک با دو  $(MD=-24/50, P<0/05)$  و سه  $(MD=-18/33, P<0/05)$  و دو با سه  $(MD=-42/83, P<0/05)$  و سه با چهار  $(MD=-25/83, P<0/05)$  متفاوت است.

علاوه بر این، بررسی تاثیر متغیرها بر واحدها با استفاده از اندازه اثر حاکی از آن است که ویژگیهای EC، گچ، SAR، درصد شیب، درصد خاک لخت، لاشبرگ و درصد پوشش گیاهی به ترتیب  $0/95, 0/91, 0/95, 0/90, 0/89, 0/84$  و  $0/83$  بر واحدها تاثیر دارند.

### نتیجه‌گیری

جمع‌بندی و تفسیر نتایج این پژوهش از خندق‌های واقع در ۴ واحد کاری گویای این واقعیت است که مقدار متغیرهای مربوط به EC، گچ و میزان جذب سدیم اندازه‌گیری شده در واحدهای ۱ و ۲ نسبت به میزان آن در واحدهای ۳ و ۴ مقدار بسیار پایینی را نشان می‌دهد و از طرفی پوشش گیاهی نسبتاً بهتر در واحدهای ۱ و ۲ که میانگین آن به ۳۲ درصد می‌رسد موجب افزایش نسبی مواد آلی خاک نسبت به واحدهای ۳ و ۴ شده است که ترکیب این عوامل باعث چسبندگی بهتر خاک و نفوذپذیری بهتر آن گشته است. مجموع خصوصیات حاکم بر خاک واحدهای ۱ و ۲ موجب شکل‌گیری خندق‌هایی با شکل‌های تقریباً زاویه‌دار شده است. در واقع به دلیل پایداری خاک که متأثر از خصوصیات آن می‌باشد، در هنگام بارندگی رسوبات جدا شده از اجزای مختلف خندق در این واحدها به ویژه از دیواره‌ها و پیشانی خندق به صورت توده‌ای می‌باشد که این فرایند باعث شده دیواره‌ها بسیار عمودی و بستری U شکل داشته باشند و همینطور پوشش گیاهی نسبتاً خوب در حوضه بالا دست این خندق‌ها موجب تقویت نسبی مواد آلی در پیشانی این خندق‌ها شده است که به همراه مقدار کم گچ، میزان جذب سدیم و هدایت الکتریکی پایین که نشان دهنده شوری کم و املاح پایین در خاک این خندق‌ها می‌باشد موجب شکل‌گیری پیشانی‌هایی با شکل غالباً غار مانند و عمودی شکل شده است.

اما در محدوده واحدهای ۳ و ۴ بالا بودن مقادیر مربوط به متغیرهای EC، میزان جذب سدیم و گچ در خاک از جمله عواملی می‌باشند که مانع رشد و نمو پوشش گیاهی شده است به صورتی که پوشش سطح زمین در این واحدها بسیار لخت و خاک اراضی تحت اشغال این خندق‌ها از حداقل مواد آلی بهره می‌برند. ترکیب این عوامل در اراضی واحدهای ۳ و ۴ باعث گردیده که خاک این نواحی در هنگام بارندگی نفوذپذیری بسیار پایینی داشته باشد و نسبت به فرسایش به ویژه از نوع تونلی یا انحلالی حاساس باشد. به دلیل وجود املاح بالا، عدم پوشش گیاهی و پایین بودن مقدار مواد آلی، خاک این اراضی دچار پخشندگی شده است که این فرایندها باعث شده خندق‌های ایجاد شده در این اراضی شکلی ملایم‌تر داشته

باشند به صورتی که اجزای مختلف آنها از جمله دیواره‌ها و پیشانی به صورت مایل شکل گرفته‌اند. به دلیلی عدم چسبندگی خاکدانه‌ها فرسایش از بخش‌های مختلف خندق‌ها غالباً به صورت انحلالی و سطحی می‌باشد. نتایج تحلیل واریانس نشان می‌دهد که خندق‌های U شکل با خندق‌های حد واسط U و V شکل از نظر ویژگی‌های خاکی EC ( $F=3/77, P<0/05$ )، OC ( $F=3/55, P<0/05$ )، TNV ( $F=4/34, P<0/05$ )، گج ( $F=15/51, P<0/01$ ) و SAR ( $F=4/91, P<0/01$ ) با هم متفاوت هستند. نتایج تحلیل مجموع متغیرها نشان می‌دهد که از نظر ویژگی‌های EC ( $F=55/38, P<0/01$ )، گج ( $F=25/46, P<0/01$ )، SAR ( $F=51/46, P<0/01$ )، درصد شیب ( $P<0/01$ )، خاک لخت ( $F=21/43, P<0/01$ )، لاشبرگ ( $F=13/81, P<0/01$ ) و پوشش گیاهی ( $F=13/43, P<0/01$ ) نیز تفاوت معناداری بین واحدها و شکل‌های مرتبط وجود دارد. به طور کلی از بررسی‌های انجام شده در این پژوهش می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که وجه تمایز مورفولوژی خندق‌ها در واحدهای ۱ و ۲ با ۳ و ۴ به میزان SAR، EC، گج و متغیرهای مربوط به پوشش سطح زمین مرتبط می‌باشد. سایر متغیرها در همه واحدها یکسان می‌باشند یا اینکه میزان تغییرات آن‌ها بسیار ناچیز است.

#### منابع

- احمدی، حسن. ۱۳۷۸. ژئومورفولوژی کاربردی، جلد ۱ (فرسایش آبی)، انتشارات دانشگاه تهران. ۶۸۸ص.
- اسماعیل نژاد، ل. سید محمدی، جواد و بخشی پور، رمضان. ۱۳۹۱. تأثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و کانی شناسی خاک بر مورفولوژی خندق‌ها در اراضی ماری جنوب استان گلستان. نشریه پژوهش و سازندگی. شماره ۹۷.
- اصغری سراسکانرود، صیاد. ۱۳۹۶. تحلیل عوامل موثر در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی. فصلنامه علمی پژوهشی فضای جغرافیایی، سال هفدهم، شماره ۵۸. ۲۸۵-۳۰۱.
- جهان تیغ، منصور و تابع، مرضیه. ۱۳۹۶. مقایسه خصوصیات فیزیکی - شیمیایی خاک و مورفولوژی خندق‌های ذوزنقه‌ای و V شکل با کاربری‌های متفاوت در مناطق خشک، مطالعه موردی: مناطق حسین زهی و نالینت شهرستان چابهار. نشریه علمی - پژوهشی مهندسی و مدیریت آب‌خیز، جلد ۹، شماره ۳، ص ۳۱۷-۳۰۸.
- حسین زاده، محمد مهدی، نصرتی، کاظم، خلجی، سمیه و درفشی، خبات. ۱۳۹۵. گسترش فرسایش خندقی و طبقه بندی آن در حوضه آب‌خیز رباط ترک دلجان. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. سال پنجم شماره ۲.
- خوجه، ج. قدوسی، جمال و اسماعیلی، رضا. ۱۳۹۱. بررسی ارتباط خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و گسترش فرسایش خندقی در حوضه آب‌خیز نمره قره قوزی استان گلستان. نشریه پژوهشنامه مدیریت حوضه آب‌خیز. شماره ۵، ۴۱-۲۷.
- رستمی زاده، قباد، سلاجقه، علی، نظری سامانی، علی اکبر و قدوسی، جمال. ۱۳۹۳. تعیین عوامل موثر در ژئومتری فرسایش خندقی مطالعه موردی: شهرستان دره شهر. فصل نامه علمی پژوهشی، پژوهش‌های فرسایش محیطی، سال چهارم، شماره ۱۳، ۶۱-۵۰.
- زنجانی جم، م. صوفی، مجید، بیات، رضا و رسولی، مسعود. ۱۳۹۲. بررسی خصوصیات شکل - اقلیم شناسی خندق‌ها به منظور طبقه بندی مناطق خندقی شده در استان زنجان. نشریه پژوهش‌های آب‌خیزداری. شماره ۹۹: ۲-۱۲.
- صوفی، مجید. ۱۳۸۳. بررسی ویژگی‌های مورفوکلیماتیک خندق‌های استان فارس گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهش‌شده حفاظت خاک و آب‌خیزداری، شماره ثبت ۱۳۳/۱۱۵۳ و ۸۳ ص.
- طرح توسعه و عمران ناحیه جنوب فارس، وزارت مسکن و شهر سازی، مرداد ۱۳۸۶. ص ۹۸.
- عزیززاده، امین، ۱۳۶۸. فرسایش و حفاظت خاک (تالیف آر. پی. سی مورگان). انتشارات آستان قدس رضوی. ۲۵۸ ص.
- غیائوند، احمد، ۱۳۷۸. کاربرد آمار و نرم افزار SPSS در تحلیل داده‌ها. نشر لویه: متفکران. ص ۱۵۸-۱۷۶.
- محمد ابراهیمی، مریم، جوادی، محمد رضا و وفاخواه، مهدی. ۱۳۹۴. بررسی ارتباط عوامل موثر خاکی در ایجاد فرسایش خندقی خطی در حوضه آب‌خیز آق امام. نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، الف، جلد ۲۹ شماره ۴.
- مکرّم، مرضیه، محمودی، علیرضا. ۱۳۹۵. بررسی ویژگی‌های مورفومتری خندق‌ها و ارتباط آن با ویژگی‌های خاک. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال پنجم، شماره ۳. ۱۴۵-۱۳۳.



- نظری سامانی، علی اکبر، توکلی، فاطمه، احمدی، حسن و راهی، غلامرضا. ۱۳۹۳. تعیین عوامل موثر بر رشد طولی فرسایش خندقی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز دره کره). نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۷، شماره ۱، ۱۲۶-۱۱۷.
- Crouch, r. j., megarity, j. w and storrier r. r. 1986. Tunnel formation processes in the riverina area of n.s.w. Australia, earth surface processes and landforms, no: 11, pp. 157-168.
- Conoscenti, C., Agnesi, V., Angileri, S., Cappadonia, C., Rotigliano, E., Märker, M., (2014), "A GIS-based approach for gully erosion susceptibility modelling: a test in Sicily, Italy", Environmental Earth Sciences, 70 (3): 1179-1195.
- Evens, M. & Lindsay, J., 2010, "High resolution quantification of gully erosion in upland peatlands at the landscape scale", Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 35(8): 876-886.
- Frankl, A., J. Poesen, M. Dapper, U. Gent, M. Haile and J. Nyssen. 2011. Assessing gully headcut retreat rates in the semi-arid highlands of northern Ethiopia. IAG/AIG Regional Conference, Geomorphology for Human Adaptation to Changing Tropical Environments. Addis Ababa, Ethiopia.
- Giménez, R., I. Marzolff, M.A. Campo, M. Seeger, J.B. Ries, J. Casali and J. Álvarez-Mozos. 2009. Accuracy of high-resolution photogrammetric measurements of gullies with contrasting morphology. Earth Surface Processes and Landforms, 34: 1915-1926.
- Heed, b.h. 1971. characteristics and processes of soil pipping in gullies, rocky Mountain forest and ronge Experiment Station, Forest Service -U. S. Dept. of Agriculture.
- Hailu, K.A., A. Belayneh, G. Muuz and A. Baye. 2015. Gully morphology and rehabilitation measures in different agroecological environments of north-western Ethiopia. Applied and Environmental Soil Science, 2015: 1-8.
- Igwe, C.A. 2012. Gully erosion in Southeastern Nigeria, Role of Soil properties and environmental factors. Chapter 8, Intech.
- Imeson, a. c and kwaad, f. j. p. m. 1980. Gully types and gully prediction, KNAG geografisch tijdschrift XIV5, pp. 430-441.
- Ireland, h. a., sharpe, c. f. s. and eargle, d. h. 1939. Principles of gully erosion in the piedment of south carolina. USDA technological bulletin 633. 142pp.
- Kumar shit, P., Gouri sankar, B., and Ramakrishna, M. 2013. Assessment of factors affecting ephemeral gully development in Badland topography. A Case Study at Garbheta Badland (Pashchim Medinipur), West Bengal, India. International Journal of GeoScience. 4:461-470.
- Mansour, A. 2014. An assessment of gully erosion in Dutse Sahelian Zone of Jigawa state, Nigeria, and its adverse consequences on the socio-economic development of the state. Journal of Agriculture and Environmental Sciences, 3(3): 17-25.
- Obiefuna, G.I. and J. Adamu. 2011. Geological and geotechnical assessment of selected gully sites in Wuro Bayare Area NE Nigeria. Research Journal of Environmental and Earth Sciences, 4(3): 282-302.
- Solomon Ehiz, O., and Omougbo, U. N. 2013. Evaluating factors responsible for gully Development at the University of Bennin. Journal of emerging trend in engineering and appllied science. 4:706-712.
- Sigunga. D., J. Monyango, S. Asanuma and M. Kimura. 2011. Pedological perspective of gully erosion sites within Kendu escarpment-Sondu Miriu Region, West Kenya. African Journal of Environmental Science and Technology, 5(12): 1050-1059.
- Schumm, s. a. 1956. The role of creep and rainwash on the retreat of badland sloppes, american journal of science, no: 254, pp. 693-706.
- Veness, j.a. 1980. The role of flutting in gully extension the journal of soil conservation service of new south wales, no: 36, vol. 2, pp. 100-108.