بررسی تأثیر عوامل مؤثر بر توسعه فرسایش آبکندی در حوضه آبخیز مارون

مجید خزایی[۱*]، اردشیر شفیعی و علی ملایی

دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس؛ **khazayi@modares.ac.ir**

عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراجمد؛ **shafeie@yahoo.com**

عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراجمد؛ **molayi@yahoo.com**

چکیده

فرسایش خندقی از مهم‌ترین چالش‌های تهدید کننده تهیه غذا، سلامت انسان‌ها و بوم نظام است و این تأثیر در مناطقی که تغییرات کاربری اراضی و اقلیم وجود دارد مشهودتر است. هدف از تحقیق حاضر بررسی نقش عوامل ریخت‌شناسی، پوشش گیاهی و بارندگی بر پیشروی خندق در مراحل مختلف اندازه‌گیری است. روش تحقیق به‌صورت نمونه‌برداری در طی دو سال آبی۱۳۸۷-۱۳۸۹ و بعد از وقایع بارندگی ۲۴ ساعته بیش از ده میلی‌متر است. بدین منظور با نصب شاخص در مقاطع مختلف خندق و در فاصله‌های صفر، ۲۵، ۵۰ و ۷۰ درصدی از سرخندق، بعد از هر واقعه بارندگی، مشخصات ریخت شناسی و میزان پیشروی خندق اندازه‌گیری شد. نتایج نشان دادند که توسعه‌ی خندق به‌صورت غار مانند و از بخش میانی تا تحتانی در اثر لایه‌های سست و شکننده و وجود املاح و عناصر انحلال‌پذیر در این بخش و در نتیجه فرو ریختن سقف خندق بوده است. نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که از عوامل مورد بررسی همگی نقش مهمی در پیشروی خندق داشتند، به‌طوری که ضریب همبستگی بین سطح اعتماد ۸۷ تا ۹۲ درصد مشاهده شد. ترسیم نمودارهای پیشروی خندق در مراحل مختلف اندازه‌گیری در بعد از وقایع بارندگی نیز نشان داده است که خندق‌ها در مراحل دو و سه، گسترش بیشتری نسبت به مرحله اول داشته‌اند. هم‌چنین، وجود رس در خاک، خندق‌های منطقه را تأیید نمود، به طوری‌که میزان رس در لایه‌های B و C بیشتر از افق A بود که با توجه به خاصیت تورپذیری رس و تشکیل لایه دوگانه سبب دور شدن ذرات رس از یکدیگر و در نتیجه گسترش خندق شد. از نتایج حاصل از تحقیق چنین استنباط شد که شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک، پوشش گیاهی و بارندگی در کندن خاک و پیشروی خندق چه از نظر طولی و چه از نظر عرضی مؤثر بوده است.

واژه‌های کلیدی: پیشروی خندق، فرسایش خندقی، حوزه آبخیز سد مارون، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

مقدمه

خندق‌ها کانال عمیقی در جهت شیب هستند که به‌طور عمومی به‌وسیله‌ی‌رواناب به‌وجود می‌آیند و اغلب جریان دایمی ندارند (کربای و براکن، ۲۰۰۹). فرسایش خندقی در حقیقت یک فرایند پیچیده است که به عواملی مانند زمین‌شناسی، خاک، اقلیم، پوشش گیاهی و پستی و بلندی بستگی دارد (پواسن و همکاران، ۲۰۰۳؛ مورگان، ۲۰۰۵).

حجم زیاد رسوب ناشی از فرسایش خندقی باعث پر شدن آبگیر سدها و دیگر سازه‌های آبی و از بین بردن

[۱*] نویسنده مسئول، آدرس: کهگیلویه و بویراحمد، شهرستان یاسوج، چهارراه معاد (عالیوند،)، بلوار امامت، کوچه امامت ۷، درب چهارم، سمت چپ، کد پستی، ۷۵۹۱۸۳۷۹۵۵

* دریافت: خرداد ۱۳۹۰ و پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۱

کیفیت آب‌های سطحی می‌شود به‌طوری‌که نسبت تولید رسوب فرسایش خندقی را به کل فرسایش آبی بین ۱۰ تا ۹۴ درصد گزارش کرده‌اند (صوفی، ۱۳۸۳). چاپلوت و همکاان (۲۰۰۵) معتقد هستند که فرسایش خندقی یکی از مهم‌ترین چالش‌ها برای تهیه غذا، سلامت انسان‌ها و بوم نظام است. این تأثیر در مناطقی که تغییرات کاربری اراضی و اقلیم و جود دارد مشهودتر است. اکوت (۲۰۰۳) معتقدند سرمایه گذاری‌هایی که به‌منظور پیشگیری از فرسایش می‌شود به‌مراتب کم‌تر از هزینه‌ها و سرمایه‌های است که به‌منظور درمان فرسایش صورت می‌گیرد.

عوامل مختلفی در ایجاد و گسترش خندق‌ها و تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز مانند شیب، میزان، توزیع و شدت بارندگی، عملیات عمرانی، تخریب پوشش گیاهی، تغییر کاربری، بهره‌برداری نامناسب، حساسیت مواد مادری به فرسایش و سیلاب نقش دارند. در همین ارتباط ناچ ترگله و همکاران (۲۰۰۲) سیلاب‌های شدید را عامل اصلی توسعه‌ی سریع آبکندها ذکر کرده‌اند. احمدی (۱۳۸۶) به نقل از تامسون (۱۹۴۶) عواملی چون شیب بالادست آبکند، میزان املاح موجود در سازند، افزایش بارندگی بیش از ۱۳ میلیمتر در ۲۴ ساعت، مواد ریزدانه، وضعیت زهکشی در قسمت بالادست آبکند و قابلیت انحلال‌پذیری سازند را در گسترش و توسعه آبکندها مؤثر دانسته است.

با توجه به نقش فرسایش خندقی در تخریب اراضی و اثرات جانبی آن، تحقیقات متعددی در سراسر دنیا صورت گرفته است، به‌طوری‌که بورک و همکاران (۲۰۰۱) از کشت متراکم به‌عنوان عامل گسترش سریع خندق و از جنگل‌کاری به‌عنوان عامل تثبیت خندق در حوزه‌ی آبخیز یانگتسه واقع در جنوب غرب چین نام برده‌اند. ویرو و همکاران (۲۰۰۵) با بررسی‌های صورت گرفته در جنوب برزیل، شیب، ساختار زمین شناسی و بارندگی را از فاکتورهای طبیعی، و استفاده از زمین و جاده‌سازی را از فاکتورهای غیر طبیعی موثر بر پیشروی خندق ذکر کرده‌اند. گومز و سنابل (۲۰۰۸)، با بررسی فرسایش خندقی در حوزه‌ی آبخیزی با پوشش غالب مرتع در جنوب غرب اسپانیا به این یافته رسیدند که بین سطح خندق و کاربری اراضی همبستگی بالایی وجود دارد. در ایران نیز قدوسی (۱۳۸۲) در بررسی‌های خویش در منطقه‌ی سرچم زنجان به این نتیجه رسید که رخداد، شکل‌گیری و گسترش آبکندها رابطه‌ی مستقیمی با میزان املاح موجود در خاک، تمرکز رواناب‌های سطحی، خصوصیات افق‌های خاک، شدت بارندگی و تراکم پوشش گیاهی داشته و سازندهای زمین-شناسی، درصد شیب و کاربری اراضی از عوامل اصلی در رشد آبکندها به‌شمار می‌روند. مختاری (۱۳۸۲)، با بررسی ویژگی‌های خندق‌های استان اصفهان، ضمن اشاره به گسترش ناچیز خندق‌ها در این استان، اظهار می‌دارد که آن‌ها عمدتاً در مناطق آهکرسی و نهشته‌های دوران چهارم رخ می‌دهند. صوفی (۱۳۸۳) نیز در بررسی‌های خود در پنج استان کشور در بررسی برخی ویژگی‌های خندق‌های ایران عنوان نموده است که خندق‌ها عمدتاً در شیب‌های کم‌تر از ۱۵ درصد، در اطراف اراضی زراعی دیم و مراتع، عمدتاً دارای مقطع U شکل، و از نظر کلاس عمقی در رده خندق‌های کم عمق تا متوسط واقع شده‌اند. قدوسی و داوودی راد (۱۳۸۴)، با بررسی اثرات خصوصیات خاک در توسعه فرسایش آبکندی در حوزه‌ی آبخیز زنجان رود به این نتیجه رسیدند که شکل‌گیری و ایجاد انواع شبکه خندق تابعی از خصوصیات خاک از جمله بافت خاک است و خطر خندقی شدن در خاک‌های با بافت سیلتی و رسی به-مراتب بیش‌تر از خطر رخداد فرسایش در خاک‌های با بافت سبک است. سلیمان پور و همکاران (۱۳۸۹)، با بررسی تأثیر ویژگی‌های خاک بر گسترش طولی خندق‌ها در استان فارس به این یافته رسیدند که عواملی مانند شیب، شوری، اسیدیته و پوشش گیاهی رابطه‌ی معنی‌داری با پیشروی طولی خندق دارند.

با توجه به مطالب ذکر شده می‌توان این طور جمع‌بندی کرد که فرسایش خندقی از مهم‌ترین انواع فرسایش بوده که بیش‌ترین حجم رسوب را نسبت به دیگر انواع فرسایش تولید می‌کند (۱۰ تا ۹۴ درصد)، از سویی، با وجود حجم گسترده تخریب خاک و اثرات درون و برون منطقه‌ای حاصل از این نوع فرسایش، به‌خصوص در کشور ایران، نیاز است که تحقیقات بیش‌تری در ارتباط با خندق‌ها صورت گیرد. بر این اساس پژوهش حاضر با بررسی و اندازه‌گیری جامع عوامل مؤثر بر توسعه‌ی خندق در محدوده‌ای از حوزه‌ی آبخیز شهر دهدشت که به لحاظ شرایط زمین‌شناسی، خاک، پوشش گیاهی و شیب معرف کل منطقه بوده است، کلیه مشخصات مورفوکلیماتیک، موقعیت، شکل نقشه عمومی و پروفیل عمومی خندق‌ها و همین‌طور ویژگی‌های موفولوژیکی، ادافیکی، کاربری اراضی، زمین‌شناسی و شیب اراضی مورد بررسی قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه

حوزه‌ی آبخیز مارون در دامنه‌های جنوب و جنوب غربی زاگرس میانی واقع شده است. مساحت این حوزه ۲۴۳۰۷ کیلومتر مربع می‌باشد که از نظر تقسیم بندی کلی هیدرولوژی ایران، بخشی از حوزه‌ی آبخیز خلیج فارس بوده که به حوزه‌های آبخیز کارون و زهره محدود

می‌شود (شکل ۱). با توجه به آمار ۲۰ ساله، میانگین سالانه بارندگی و دمای به‌ترتیب ۵۳۴ میلی‌متر و ۲۴/۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

روش تحقیق

- مشخص نمودن و اندازه‌گیری بارندگی‌های بیش از ۱۰ میلی‌متر با استفاده از باران‌سنج‌های محدوده تحقیق و تطبیق آن با داده‌های بارش ایستگاه سینوپتیک دهدشت بعنوان نزدیکترین ایستگاه به محل تحقیق
- مشخص نمودن سطح حوزه آبخیز بالا دست خندق با استفاده از نقشه برداری
- مشخص نمودن شیب آبراهه خندق با مطالعات فیزیوگرافی
- مشخص نمودن طول خندق در آغاز و پایان دوره
- مشخص نمودن میزان املاح محلول خاک از طریق آزمایش در ابتدا و انتهای دوره
- مشخص نمودن تراکم پوشش گیاهی بر حسب درصد
- مشخص نمودن شیب عمومی منطقه
- اندازه‌گیری پروفیل‌های طولی و عرضی خندق بعد از هر بارندگی

اندازه‌گیری‌ها در طول دو سال آبی صورت گرفت، بدین صورت که پس از هشت مرحله بارندگی فقط در سه مرحله آن پیشروی خندق اندازه‌گیری شد (بارندگی‌هایی که از ۱۰ میلی‌متر بیش‌تر باشند و یا مجموع بارش‌های ۲۴ ساعته‌ای که برابر یا بیش از ۱۰ میلی‌متر باشند مدنظر قرار گرفت). با این‌حال فقط سه مرحله از بارندگی‌ها از مقدار مورد اشاره بیش‌تر بوده است. هم چنین اندازه‌گیری رواناب با نصب بشکه‌های دویست لیتری در انتهای هر خندق و بعد از هر بارش اندازه‌گیری گردید.

خصوصات ریخت‌شناسی خندق بعد از هر مرحله وقوع بارش اندازه‌گیری شد که در مجموع هشت مرحله اندازه‌گیری صورت گرفت.

بر این اساس ابتدا میخ‌هایی در فاصله‌های مختلف از خندق بر روی سطح زمین در مجرای اصلی و بستر خندق، و همچنین به فاصله‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ متری از سر خندق و در جوانب راست و چپ کوبیده شدند و اندازه‌گیری‌ها بر اساس این میخ‌ها، که به‌عنوان نقطه‌ی شاخص بودند، تا پایان دوره مطالعه انجام گرفت. در مجموع حدود ۱۶۰ میخ در مقاطع مختلف خندق‌ها کوبیده و اندازه‌گیری بر اساس آنها صورت گرفت.

بر این اساس، پس از بارندگی‌های بیش از ۱۰ میلی‌متر به منطقه مورد مطالعه عزیمت و با کمک شاخص به‌فواصل مختلف اقدام به اندازه‌گیری میزان پیشروی خندق کرده و یاداشت برداری‌ها در نرم افزار اکسل وارد شد که حاصل کار سه مرحله اندازه‌گیری در طی بارندگی‌هایی که انجام شد، ۶۷ نمودار است که از تمامی نقاط در خندق‌ها انجام گرفته است.

بدین ترتیب نمودارها را با یکدیگر مقایسه و میزان پیشروی هر خندق از نظر سر خندق و دیواره‌ها بررسی شد. شیب آبراهه خندق‌ها و شیب عمومی منطقه مورد مطالعه نیز با استفاده از نقشه برداری تعیین شد. مساحت حوزه‌ی آبخیز هر خندق نیز با استفاده از تعیین خط حوزه‌ی آبخیز و نقشه‌برداری هر خندق محاسبه شد که در جدول (۲) نیز ارائه شده است. نمونه‌برداری از خاک در قسمت‌های مختلف خندق (سر خندق، جوانب و از فاصله های ۲۵ و ۵۰ و ۷۵ متری از سر خندق) به منظور تعیین فراسنجهای بافت خاک، املاح، شوری، اسدیته و ظرفیت قابلیت تبادلی انجام شد. نمونه های خاک که از هر خندق برداشته شد، به آزمایشگاه منتقل نموده و درصد رس، سیلت، شن با روش هیدرومتر و میزان شوری با EC متر و اسدیته نیز با pH متر اندازه‌گیری شد. وضعیت و میزان پوشش گیاهی طبق روش چهار فاکتوره تعیین شد.

در نهایت به‌منظور بررسی نقش عوامل مختلف در توسعه‌ی خندق در منطقه‌ی مورد مطالعه و طی یک سال آبی مجموعه‌ی اطلاعات جمع آوری و ترسیم شد. هم‌چنین، تجزیه تحلیل اطلاعات، به‌منظور بررسی ارتباط هر کدام از عوامل در توسعه‌ی خندق با کاربرد نرم افزار SPSS.۱۸ صورت گرفت.

نتایج

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی نمونه‌های خاک، مشخصات ریخت شناسی خندق‌های مورد مطالعه، ماتریس همبستگی تغییرات ریخت شناسی خندق‌ها با تغییر مقدار بارش و ماتریس همبستگی بین مشخصات ریخت شناسی خندق‌ها با پیشروی خندق‌ها به‌ترتیب در جداول (۱) تا (۸) ارائه شده است. هم‌چنین نیمرخ عمومی یکی از خندق‌های مورد بررسی، تغییرات خصوصیات ریخت شناسی خندق‌های مورد بررسی با تغییر مقدار بارش و بررسی رابطه عمق با فاصله از سر خندق در مراحل مختلف اندازه‌گیری در شکل‌های (۳) تا (۷) ارائه شده است.

بحث نتیجه‌گیری

با دقت در شکل (۷) به‌طور نمونه با مقایسه نمودارهای خندق شماره ۲ که در فاصله ۲۵ متری سر خندق و در سه مرتبه بعد از بارش‌های بیش از ۱۰ میلی متر اندازه‌گیری شده است، چنین به‌نظر می‌رسد که در مرحله‌ی اول اندازه‌گیری یعنی در سطح زمین، فاصله‌ی

دیوار خندق با شاخص اندازه‌گیری ۱۰ سانتی‌متر و در فاصله صفر، عمق خندق ۴۰ سانتی‌متر بود. در صورتی‌که در مرحله‌ی دوم اندازه‌گیری یعنی یک ماه بعد همین فاصله‌های اندازه‌گیری شده به‌ترتیب ۳۰ و ۷۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد، یعنی در حقیقت در سطح زمین حدود ۳۰ سانتی‌متر خندق عریض‌تر شده است.

به طور کلی از شمای نمودارها می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که خندق‌ها در تمامی سطح دیواره از ناحیه بستر در فاصله‌های صفر، ۲۰ و ۴۰ سانتی‌متری پیشروی بیش‌تری دارند، و در ناحیه سر خندق غالباً پیشروی به صورت غار مانند بوده و خندق از ناحیه‌ی بدنه (در فواصل میانی و نزدیک بستر) خالی شده و سپس از ناحیه سطح خاک ریزش کرده و پیشروی می‌نماید. با تطبیق شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک (جدول ۱ و ۲)، با نمودارهای ترسیمی حاصل از اندازه‌گیری این واقعیت را نشان داد که شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک انواع نمک-های محلول مثل سدیم، منیزیم و پتاسیم را نشان داده است و عموماً بافت خاک که یکی از عوامل مهم در پایداری خاکدانه‌ها می‌باشد دارای بافتی سیلتی رسی و سیلتی و رسی می‌باشد (جدول۱) و مخصوصاً در افق‌های میانی نیمرخ خاک تفاوت کرده و نمک‌های انحلال‌پذیر چون سدیم، منیزیم و پتاسیم بیش‌تر دیده شده‌اند و حضور این لایه‌های سست سبب ریزش و فروپاشی خاک بر اثر فرسایش می‌شوند. تغییر در میزان هدایت الکتریکی در لایه‌های خاک نشان دهنده بالا و پائین بودن میزان املاح (نمک‌ها) در خاک است و حضور عناصر محلول مثل نمک‌ها در خاک به‌میزان زیاد نه تنها باعث از هم پاشیدگی بافت و ساختمان خاک می‌گردد، بلکه باعث فرسایش پذیری خاک می‌شود؛ به‌طوری‌که در این زمینه اونی (۲۰۰۵) و بوخیر و همکاران (۲۰۰۸) و زارع مهرجردی و همکاران (۱۳۸۴) و عرب قشقایی و همکاران (۱۳۸۹) به نتایج مشابه رسیدند، و حساسیت سازند بالادست (آهکرس، شیل، گچ و نمک) و نرمی خاک را علل اصلی توسعه‌ی فرسایش خندقی ذکر کرده‌اند.

بررسی رابطه بین عوامل ریخت شناسی با تغییر مقدار بارش (شکل‌های ۴، ۵ و ۶) در طی مدت مورد بررسی نشان داد که با تغییر مقدار بارش در مشخصات ریخت‌شناسی تغییرات چندانی حاصل نشده است به‌طوری‌که از این بین تغییرات ایجاد شده در شیب کف خندق بیش‌تر از بقیه عوامل مورد اندازه‌گیری بود.

مشاهدات صحرایی و تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه نیز نشان داد که ساختار زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه تشکیلات گچساران-میشان بوده که از بخش‌های مختلف آهکی و گچی تشکیل شده که انحلال‌پذیری بالایی داشته و در منطقه به‌فراوانی مشاهده می‌شود. با توجه به نوسانات شدید دما و بارندگی و عدم پراکندگی مناسب آن موجب شده تا خاک منطقه که حاوی میزان رس بالایی بوده باعث شود که در اثر بارندگی با جذب آب خاصیت شکل‌پذیری پیدا کرده و پس از باران در اثر شدت بالای درجه حرارت متورم گشته و با ترک‌های عمیق خود را نشان داده و باعث از هم گسیختگی دانه‌های خاک شود.

با توجه به آماربرداری هایی که از پیشروی خندق‌ها انجام گرفت و با مقایسه آن‌ها با عواملی چون شیب حوزه، مساحت حوزه، رواناب، ارتفاع سر خندق، طول خندق، عرض خندق و سطح مقطع (جداول ۴ تا ۸) نشان داده است که در سطح اطمینان ۸۷/۵ تا ۹۲ درصد مساحت حوزه، شیب حوزه و رواناب از ضریب همبستگی بالایی برخوردار است. همانطور که در جدول (۴) تا (۸) آمده است در بعضی موارد ارتباط بعضی فراسنجها چون رواناب و عرض خندق و یا شیب را با پیشروی متوسط، کم نشان داده است که این عمل شاید به خاطر دخالت انسان باشد که بر روی زمین به‌عمل آورده است مثل احداث کانال، خطوط گاز از همین مسیر و تأخیر جریان آب یا تبدیل بخشی از منطقه به‌عنوان میدان دفن زباله، و دسته‌ی دوم که مربوط به دخالت انسان می‌باشد، مثل تغییر کاربری اراضی، استفاده بیش از حد از اراضی، شخم در جهت شیب و قطع پوشش گیاهی نشان دهنده‌ی این واقعیت است که می‌تواند تأثیر بسیار مهم و مؤثری در توسعه‌ی خندق‌ها داشته باشد.

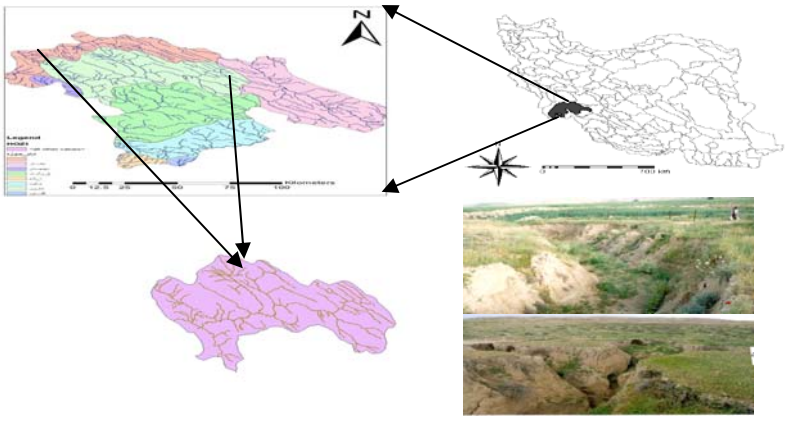
هم‌چنین تطبیق نتایج تجزیه و تحلیل فیزیکی و شیمیایی خاک جداول (۱) و (۲) با نمودارهای حاصل از اندازه‌گیری پیشروی خندق نشان داده است که پیشروی در محدوده سرخندق‌ها (سر خندق‌ها) غالباً به‌صورت حفره‌ای صورت گرفته است به‌نحوی‌که خندق از ناحیه افق‌های میانی تا زیری انحلال پیدا کرده و ریزش می‌نماید و سپس سطح بالایی خندق نیز یک مرتبه فرو می‌ریزد و باعث پیشروی آن می‌گردد که این خود نشان دهنده لایه‌های سست و جود املاح و یا عناصر انحلال‌پذیر در این بخش از خاک بوده است که البته این عمل با حضور مستمر آب صورت می‌گیرد، و در قسمت دیواره‌ها یا بدنه خندق‌ها نیز پیشروی به‌صورت یک‌دست می‌باشد. مسأله نوع خاک در شکل نقشه شاخصی سر آبکندها، که به‌صورت غار مانند درآمده‌اند نشان دهنده وضعیت لایه‌های میانی خاک نیز بوده که در افق B خاک از دانه بندی سستی برخوردار بوده و میزان املاح محلول در خاک در این بخش نیز زیادتر

مشاهده شده است که با یافته‌های پواسن و همکاران (۱۹۹۸)، ژانگ و هانگ (۲۰۰۲)، ریس آلوز و ردریگرس (۲۰۰۵)، قدوسی (۱۳۸۲) و قدوسی و داودی راد (۱۳۸۴) مطابقت دارد.

نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان داد که بافت خاک خندق‌های مورد مطالعه غالباً سیلتی رسی و یا سیلتی رسی بوده که به‌طور کلی سیلت در همه خندق‌ها غالب بوده به‌نحوی‌که با تطبیق نتایج آزمایش‌های خاک‌شناسی با منحنی‌های حاصل از برداشت‌های صحرایی چنین نتیجه گرفته شد که یکی از عوامل پیشرفت سرخندق‌ها وجود سیلت در لایه‌های B یا در افق‌های میانی خاک است که در حقیقت همان بحث حساسیت سازندها، که از عوامل مهم ایجاد خندق‌ها محسوب می‌شود از این موضوع منتج می‌شود که این نتایج با نتیجه تحقیق قدوسی و داودی (۱۳۸۴)، زارع مهرجردی و همکاران (۱۳۸۴)، میررضایی (۱۳۸۶)، شادفر و همکاران (۱۳۸۶) و داوودی راد و همکاران (۱۳۸۹)، مبنی بر نقش تعیین کننده بافت خاک در ایجاد خندق و رسوب‌زایی بیش‌تر خندق‌ها در بافت خاک سیلتی هم‌خوانی دارد.

به دلیل انحلال پذیری زیاد سازندهای منطقه مخصوصاً در چنین مناطقی که از نظر زمین ریخت‌شناسی از نوع رس و آهکرس همراه با لایه‌های گچ و نمک می‌باشد در اثر پدیده انحلال و راهروهای زیرزمینی ایجاد گشته و به‌تدریج این آبراهه توسعه پیدا کرده و سقف آن ریزش کرده و نهایتاً خندق را به‌وجود آورده است .هم‌چنین، نتایج حاصل از تحقیق حاضر بیانگر وجود رس در خاک خندق-های منطقه می‌باشد، به طوری‌که میزان رس در لایه های B و C بیش تر از افق A مشاهده می‌شود از سویی با توجه به اینکه رس‌های منطقه مورد مطالعه، خاصیت تورم‌پذیری دارد با جذب آب و تشکیل لایه دوگانه پخشیده موجب نیرویی می‌گردد که سبب دور گشتن ذرات رس از یکدیگر شده و حجم کلی خاک دگرگون می‌شود که این نتایج با یافته‌های قدوسی (۱۳۸۲) مبتنی بر رابطه مستقیم افق‌های خاک در تشکیل خندق مطابقت دارد.

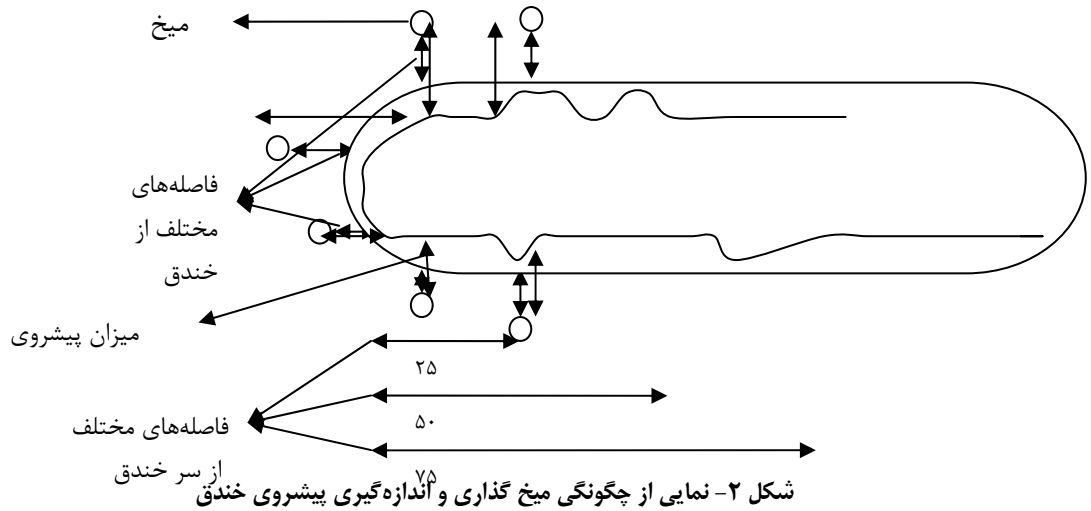
از مجموع نتایج و اطلاعات به‌دست آمده از مطالعه‌ی حاضر می‌توان این چنین نتیجه گرفت که عوامل موثر بر توسعه خندق شامل دو دسته کلی عوامل طبیعی از جمله زمین‌شناسی یا سنگ‌شناسی منطقه، شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک، اقلیم و شیب می‌باشد. دسته دوم شامل عوامل غیرطبیعی از جمله پوشش گیاهی، تغییر کاربری اراضی، استفاده بیش از حد اراضی، شخم در جهت شیب، انتقال خطوط نیرو و جاده سازی می‌باشد که با یافته‌های بروک و همکاران (۲۰۰۱)، استرونک (۲۰۰۳) و ویرو و همکاران (۲۰۰۵) مطابقت دارد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان کهگیلویه و بویراحمد

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی خاک و درصد پوشش گیاهی خندق‌های مورد مطالعه

شماره خندق	درصد رس	درصد سیلت	درصد ماسه	نوع بافت	درصد پوشش
۱	۲۴/۵	۵۱	۲۵/۳	سیلتی شنی	۳۸
۲	۲۴/۳	۳۲/۶	۴۳/۳	شنی سیلتی	۴۸
۳	۲۷/۰	۵۳/۱	۲۰/۰	سیلتی رسی	۴۸
۴	۲۳/۶	۴۳/۱	۳۳/۵	سیلتی شنی	۳۰
۵	۲۲/۶	۳۷/۹۳	۳۹/۶	شنی سیلتی	۳۵



شکل ۲- نمایی از چگونگی میخ گذاری و اندازه‌گیری پیشروی خندق

جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی نمونه خاک خندق‌های مورد مطالعه

شماره خندق	هدایت الکترونیکی	S.P	اسیدیته	نسبت جذب سدیم	سدیم تبادلی Me/loog	E.S.P
۱	۱/۲	۴۱	۷/۵۹	۰/۵۱۷	۱۴/۶	۲/۰۶
۲	۰/۷	۲۶	۷/۵۱	۰/۴۱۱	۱۰/۴	۳/۷
۳	۱/۹	۳۸	۷/۶۴	۰/۶۶۸	۱۴/۶	۲/۲۱
۴	۱/۹	۳۹	۷/۵۳	۰/۶۴۲	۱۳/۹	۲/۱۱
۵	۰/۹	۴۰	۷/۵۰	۰/۸۸۶	۱۴/۶	۲/۲۸

جدول ۳- مشخصات ریخت شناسی خندق‌ها

شماره خندق	قاعده بالا (m)	قاعده پایین (m)	ارتفاع متوسط (m)	سطح مقطع عرضی (m)	طول خندق (m)	عرض خندق (m)	مساحت حوزه‌ی آبخیز خندق (m^2)	شیب حوزه‌ی آبخیز خندق (٪)	شیب کف خندق (٪)	ارتفاع سر خندق (m)
۱	۸	۶	۲/۵	۱۷/۵	۹۰	۸	۱۶/۳	۱۵	۴/۵	۲/۲
۲	۲۱	۸	۲/۸	۴۰/۶	۵۸۰	۲۱	۲۵/۰	۱۲	۵/۵	۱/۶
۳	۴	۲	۲	۶/۵	۹۲	۴	۱۱۵/۰	۱۳	۵/۵	۱/۴
۴	۱۰	۴	۱/۸	۱۲/۶	۱۱۰	۱۰	۹۰/۰	۸/۳	۸/۳	۱/۲
۵	۸	۵	۱/۶	۱۰/۴	۵۰۰	۸	۸۷/۵	۱۱	۷	۱/۲

جدول ۴- ماتریس همبستگی تغییرات ریخت شناسی خندق‌ها با تغییر مقدار بارش

متغیرهای اندازه‌گیری شده	عرض خندق (m)	طول خندق (m)	عمق خندق (m)	حجم خندق (m^3)	شیب کف خندق (٪)	بارندگی (mm)
عرض خندق (m)	۱					
طول خندق (m)	۰/۶۷۲**	۱				
عمق خندق (m)	۰/۰۹۴	-۰/۲۲۱	۱			
حجم خندق (m^3)	۰/۹۱۹**	۰/۷۸۷**	۰/۱۰۳	۱		
شیب کف خندق (٪)	۰/۲۳۷	-۰/۰۴۰	-۰/۱۱۷	۰/۱۹۷	۱	
بارندگی (mm)	-۰/۰۸۰	-۰/۰۰۳	-۰/۳۳۶*	-۰/۱۱۶	۰-/۳۶۹**	۱

**همبستگی در سطح ۰/۰۱ درصد معنی‌دار است.

* همبستگی در سطح ۰/۰۵ درصد معنی‌دار است.

جدول ۵- ماتریس همبستگی بین تمامی عوامل مؤثر بر پیشروی مرحله اول خندق

متغیرهای اندازه گیری شده	درجه پیشروی خندق (m)	طول خندق (m)	مساحت حوزه‌ی آبخیز (m^3)	عرض خندق (m)	مقطع عرضی (m)	شیب بستر (٪)	شیب حوزه‌ی آبخیز (٪)	عمق خندق (m)	رواناب (mm)	حجم رواناب (m^3)
درجه پیشروی خندق	۱									
طول خندق	-۰/۵۲۵	۱								
مساحت حوزه‌ی آبخیز	-۰/۱۴۱	۰/۶۲۳	۱							
عرض خندق	۰/۱۳۸	-۰/۷۱۰	-۰/۶۸۳	۱						
مقطع عرضی	۰/۰۵۷	-۰/۱۵۱	-۰/۶۷۳	۰/۶۷۸	۱					
شیب بستر	-۰/۳۸۱	۰/۶۹۵	۰/۵۲۰	-۰/۰۹۵	۰/۲۴۷	۱				
شیب حوزه‌ی آبخیز	۰/۳۳۳	۰/۴۲۸	۰/۳۱۴	-۰/۰۹۴	۰/۳۹۵	۰/۶۹۶	۱			
عمق خندق	-۰/۰۰۵	-۰/۵۱۸	۰/۸۵۹*	۰/۳۱۶	۰/۲۵۲	۰/۷۷۷*	-۰/۶۵۲	۱		
رواناب	۰/۰۰۰	۰/۷۱۲	۰/۹۱۶*	-۰/۶۱۸	-۰/۳۶۳	۰/۷۰۴	۰/۶۶۳	-۰/۹۳۱	۱	
حجم رواناب	-۰/۱۴۵	۰/۶۲۴	۱/۰۰۰	-۰/۶۸۶	-۰/۶۷۲	۰/۵۲۲	۰/۳۱۲	۰/۸۶۰*	۰/۹۱۵*	۱

* همبستگی در سطح ۰/۰۵ درصد معنی‌دار است.

جدول ۶- ماتریس همبستگی بین تمامی عوامل مؤثر بر پیشروی مرحله دوم خندق

متغیرهای اندازه گیری شده	درجه پیشروی خندق	طول خندق	مساحت حوزه‌ی آبخیز	عرض خندق	مقطع عرضی	شیب بستر	شیب حوزه‌ی آبخیز	عمق خندق	رواناب	حجم رواناب
درجه پیشروی خندق	۱									
طول خندق	۰/۲۴۷	۱								
مساحت حوزه‌ی آبخیز	۰/۷۵۵*	۰/۶۲۳	۱							
عرض خندق	-۰/۶۴۰	-۰/۷۱۰	-۰/۶۸۸	۱						
مقطع عرضی	-۰/۶۲۱	-۰/۱۵۱	-۰/۶۷۳	۰/۶۷۸	۱					
شیب بستر	۰/۰۹۳	۰/۶۹۶	۰/۵۲۰	-۰/۰۹۵	۰/۲۴۷	۱				
شیب حوزه‌ی آبخیز	۰/۴۱۱	۰/۴۲۸	۰/۳۱۴	-۰/۰۹۴	۰/۳۹۵	۰/۶۹۶	۱			
عمق خندق	-۰/۶۳۹	-۰/۵۱۸	-۰/۸۵۹*	۰/۳۱۵	۰/۲۵۲	-۰/۷۷۷*	-۰/۶۵۲	۱		
رواناب	۰/۷۵۵*	۰/۷۱۲	۰/۹۱۶*	-۰/۶۱۸	-۰/۳۶۳	۰/۷۰۴	۰/۶۶۳	-۰/۹۳۱*	۱	
حجم رواناب	۰/۷۵۵*	۰/۶۲۴	۱	-۰/۶۸۶	-۰/۶۷۲	۰/۵۲۲	۰/۳۱۲	-۰/۸۶۰*	۰/۹۱۵*	۱

* همبستگی در سطح ۰/۰۵ درصد معنی‌دار است.

جدول ۷- ماتریس همبستگی بین تمامی عوامل مؤثر بر پیشروی مرحله‌ی سوم خندق

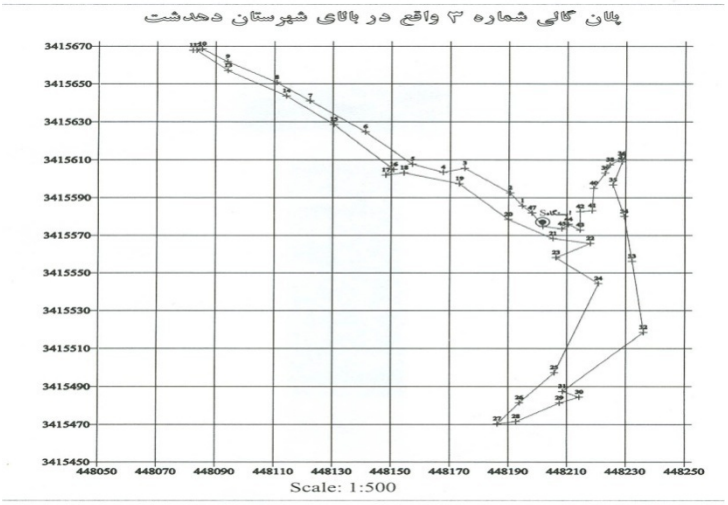
متغیرهای اندازه گیری شده	درجه پیشروی خندق	طول خندق	مساحت حوزه‌ی آبخیز	عرض خندق	مقطع عرضی	شیب بستر	شیب حوزه‌ی آبخیز	عمق خندق	رواناب	حجم رواناب
درجه پیشروی خندق	۱									
طول خندق	-۰/۷۷۵*	۱								
مساحت حوزه‌ی آبخیز	-۰/۵۰۴	۰/۶۲۳	۱							
عرض خندق	۰/۴۵۸	-۰/۷۱۰	-۰/۶۸۸	۱						
مقطع عرضی	۰/۲۷۹	-۰/۱۵۱	-۰/۶۷۳	۰/۶۷۸	۱					
شیب بستر	-۰/۵۴۸	۰/۶۹۶	۰/۵۲۰	-۰/۰۹۵	۰/۲۴۷	۱				
شیب حوزه‌ی آبخیز	۰/۱۱۳	۰/۴۲۸	۰/۳۱۴	-۰/۰۹۴	۰/۳۹۵	۰/۶۹۶	۱			
عمق خندق	۰/۳۱۳	-۰/۵۱۸	-۰/۸۵۹*	۰/۳۱۶	۰/۲۵۲	-۰/۷۷۷*	-۰/۶۵۲	۱		
رواناب	-۰/۳۸۵	۰/۷۱۲	۰/۹۱۶*	-۰/۶۱۸	-۰/۳۶۳	۰/۷۰۴	۰/۶۶۳	-۰/۹۳۱*	۱	
حجم رواناب	-۰/۵۰۷	۰/۶۲۴	۱	-۰/۶۸۶	-۰/۶۷۲	۰/۵۲۲	۰/۳۱۲	-۰/۸۶۰*	۰/۹۱۶*	۱

* همبستگی در سطح ۰/۰۵ درصد معنی‌دار است.

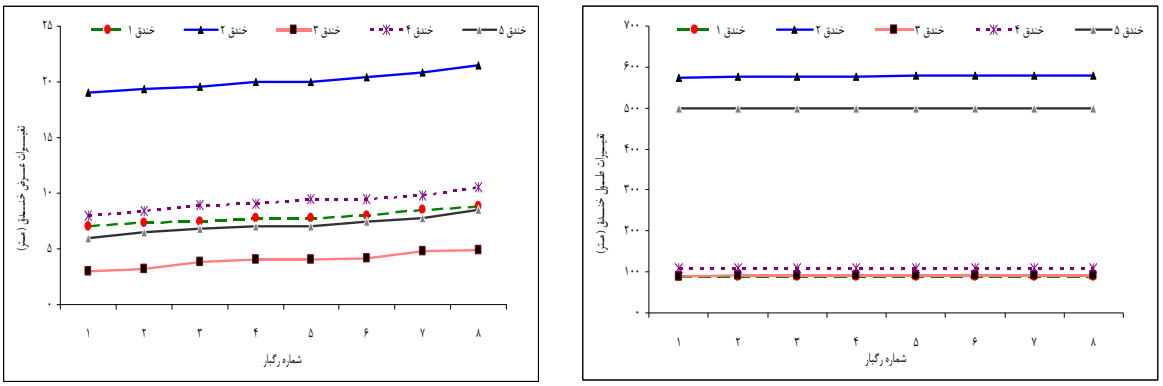
جدول ۸- ماتریس همبستگی بین مشخصات ریخت شناسی خندق‌ها با پیشروی خندق

متغیر مستقل / متغیر وابسته	طول خندق	مساحت حوزه‌ی آبخیز	عرض خندق	مقطع عرضی	شیب حوزه	شیب کف خندق	عمق خندق	رواناب	حجم رواناب
درجه‌ی پیشروی متوسط سه مرحله	-۰/۵۲۵	-۰/۱۴۱	۰/۱۳۸	۰/۰۵۷	۰/۳۳۸	-۰/۳۸۱	-۰/۰۰۵	۰	-۰/۱۴۵
تفاضل مرحله اول و دوم	-۰/۷۷۵*	-۰/۵۰۴	۰/۴۵۸	۰/۲۷۹	۰/۱۱۳	-۰/۵۴۸	۰/۳۱۳	-۰/۳۸۲	-۰/۵۰۷
تفاضل مرحله دوم و سوم	-۰/۲۴۷	۰/۷۵۵*	-۰/۶۴	-۰/۶۲۱	۰/۴۱۱	۰/۰۹۳	-۰/۶۳۹	۰/۷۵۵*	۰/۷۵۲*

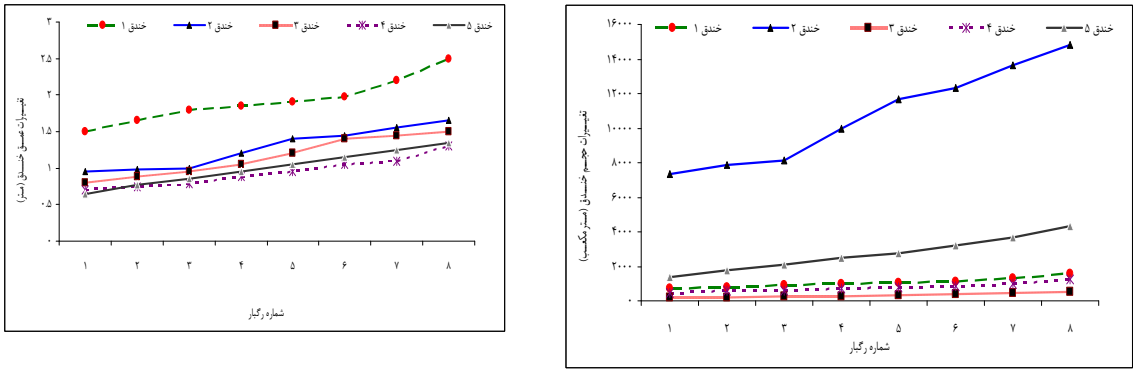
* همبستگی در سطح ۰/۰۵ درصد معنی‌دار است.



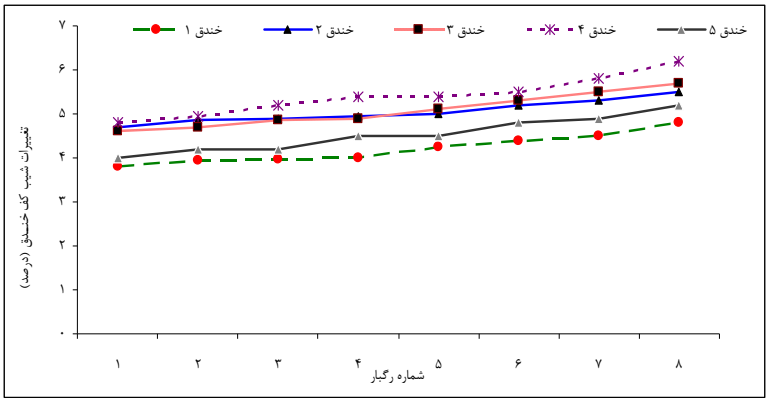
شکل ۳- نیمرخ خندق شماره سه در حوالی شهر دهدشت



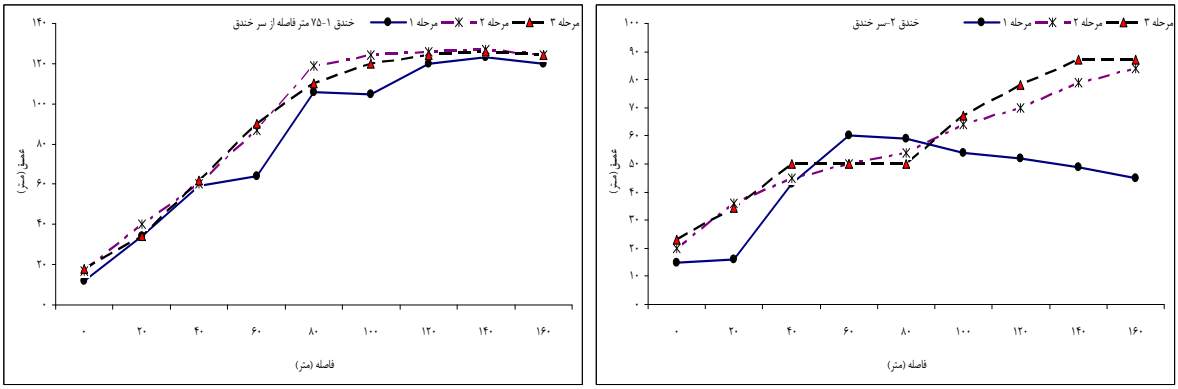
شکل ۴- رابطه تغییر طول (سمت راست) و عرض خندق (سمت چپ) با تغییر مقدار بارش

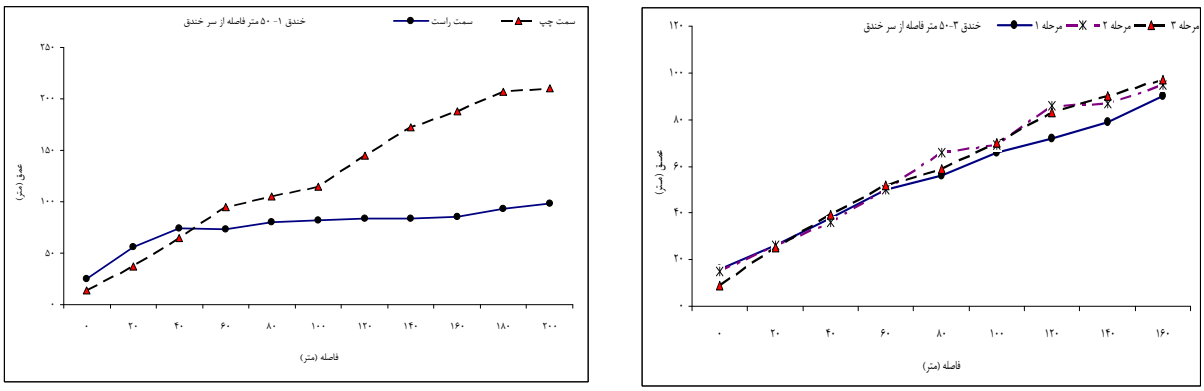


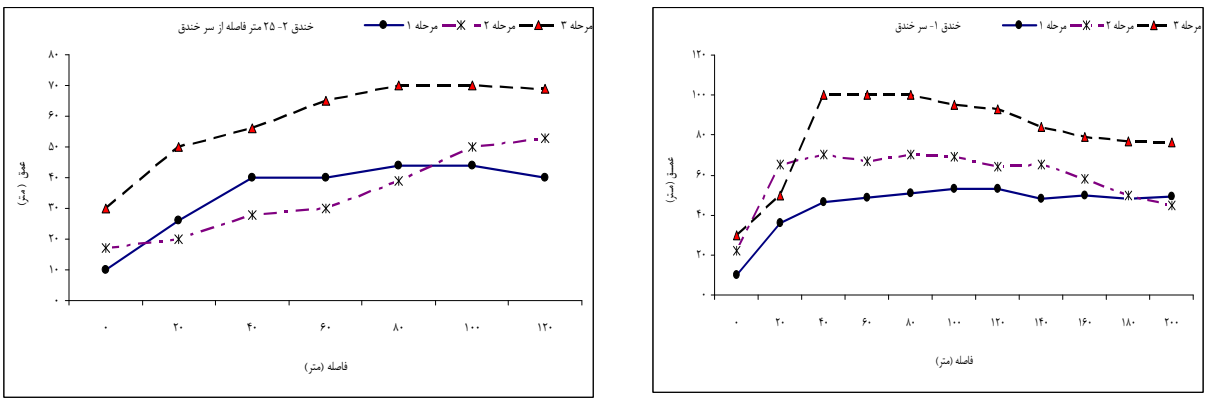
شکل ۵- رابطه‌ی تغییر حجم (سمت راست) و عمق خندق (سمت چپ) با تغییر مقدار بارش



شکل ۶- رابطه‌ی تغییر شیب کف خندق با تغییر مقدار بارش







شکل ۷- رابطه‌ی فاصله با عمق خندق (متر) در جوانب چپ و راست و در فاصله‌های مختلف از سر خندق در طی سه مرتبه اندازه‌گیری

فهرست منابع:

۱. احمدی .حسن. ۱۳۸۶. ژئومورفولوژی کاربری، انتشارات دانشگاه تهران. ۶۸۸ ص.

۲. داودی راد، علی اکبر، مجید صوفی و ابوالفضل نجیمی. ۱۳۸۹. بررسی تغییر اقلیم، وسعت عرصه خندقی و خصوصیات ریخت شناسی خندق در استان مرکزی. مجموعه مقالات ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری و چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب. ۸ و ۹ اردیبهشت. ۷ص.

۳. زارع مهرجردی، محمد، مجید صوفی، سعید چوپانی و جواد برخورداری. ۱۳۸۴. بررسی رابطه ویژگی‌های مرفولوژیکی آبکند با خصوصیات خاک در منطقه کندوان هرمزگان. مجموعه مقالات سومین همایش فرسایش و رسوب. تهران. ۵۶۲-۵۶۵.

۴. عرب قشقایی، زهرا، داوود نیک کامی و صمد شادفر. ۱۳۸۹. بررسی عوامل مؤثر بر وقوع فرسایش خندقی حوضه طرود. مجموعه مقالات ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری و چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب. ۸ و ۹ اردیبهشت. ۷ص.

۵. سلیمان پور، سید مسعود، مجید صوفی و حسن احمدی.۱۳۸۹. بررسی تأثیر ویژگی‌های خاک سطحی بر گسترش طولی خندقها در اقلیم‌های مختلف استان فارس. مجموعه مقالات ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری و چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب. ۷ص.

۶. شادفر، صمد، محمد مهدی فتاحی، محمد نمکی، اسماعیل شریفی و سعید نبی پی لشکریان. ۱۳۸۶. بررسی برخی از عوامل مؤثر بر فرسایش خندقی.مطالعه موردی حوزه آبخیز قشلاق البرز. سومین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک. جلد دوم. ۷۴۰-۷۴۳.

۷. صوفی، م .۱۳۸۳ .بررسی ویژگی های مورفوکلیماتیک خندق های استان فارس .گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، شماره ثبت ۸۳/۱۱۵۳. ۱۳۳ ص.

۸. قدوسی، جمال و علی اکبر داودی راد. ۱۳۸۴. تأثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در رخداد فرسایش آبکندی و مرفولوژی آبکندها. مجموعه مقالات دومین همایش فرسایش و رسوب. تهران. ۶ تا ۹ شهریور، ۷ص.

۹. قدوسی، جمال. ۱۳۸۲. مدل‌سازی مرفولوژی فرسایش خندقی و پهنه بندی خطر آن، رساله دکتری، دانشگاه تهران، دانشکده منابع طبیعی، ۳۸۶ صفحه.

۱۰. مختاری، احمد. ۱۳۸۲. بررسی ویژگیهای مورفوکلیماتیک خندق‌های استان اصفهان. گزارش‌نهایی طرح تحقیقاتی. انتشارات پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری. ۹۵ ص.

11. Avni, Y. 2005. Gully incision as a key factor in desertification in an arid environment, the Negev Highlands, Israel. Catena 63:185-220.
12. Bork, H.R., Y .Li, Y. Zhao, J. Zhangand and Y. Shiquan. 2001. Land use changes and gully development in the upper Yangtze River Basin, SW China. Journal of Mountain Science. (19): 97-103.
13. Bou kheir, R., J. Chorowicz, C. Abdallah, and D. Dhont. 2008. Soil and bedrock distribution estimated from gully form and frequency: A GIS–based decision–tree model for Lebanon. Geomorphology, (93): 482-492.
14. Chaplot, V.G., P. G., Marchand and C. Valentin. 2005. Dynamic modeling for gully initiation and development under climate and land – use changes in northern Laos. Catena. (63): 318–328.

15. Gómez Gutiérrez Á. and S. Schnabel. 2008. Gully erosion and land use during the last 60 years in a small rangeland catchment in southwest Spain. Geophysical Research Abstracts. Vol. 10. EGU2008-A-06962.
16. Kirkby, M.J., and L.J., Bracken. 2009. Gully process and gully dynamics. Earth Surface processes and Landforms. (341):1841-1851.
17. Morgan, R.P.C. 2005. Soil erosion and conservation, Third edition. Blackwell Publishing. 316p.
18. Nachtergaele, J., J. Poesen, A. Sidorchuk, and D.Torri. 2002. Prediction of concentrated flow width in ephemeral gully channels. Hydrological Processes. (16): 1935-1953.
19. Okoth P. F. 2003. A hierarchical method for soil erosion assessment and spatial risk models. Thesis Wageningen University. The Netherlands.
20. Poesen,J., K. Vandaele and B. Wesemael. 1998. Gully erosion: importance and model implications. In : Boardman, J., Favis - Mortlok, D.T. (Eds.) Modelling Soil Erosion by Water Springer - Verlag, Berlin NATO - ASI Series, 1-55 : 285-311.
21. Poesen, J., L. Vandekerckhove, J., Nachtergaele, D.W., Ostwoud, G., Verstraeten and W.B. Van. 2003. Gully erosion in dryland environment. In : Bull, L.J., Kirkby, M.J. (Eds.), Dryland Rivers : Hydrology and Geomorphology of semi - arid channels, Wiley, Chichester, UK. pp. 229-262.
22. Ries Alves, R. and S.C. Rodrigues. 2005. Gully's Monitoring- morphometric and sediments study at Brazil's Savana. J. Sociedade and Natureza, Uberlandia. 295-304.
23. Strunk,H. 2003. Soil degradation and overland flow as causes of gully erosion in northwestern Spain. Catena, (50): 185-198.
24. Viero, A.C., C. Dos. M.R., Nilza, J.A., Goldenfum, A. Joel, and A. Risso. 2005. Natural and anthropogenic factors controlling gully erosion in the basaltic upland of Southern Brazil. International Journal of Sediment Research. (20):211-223.
25. Zheng, Fen- Li and C – hua Hunng, 2002. Gully erosion. Published in Encyclopedia of soil Science, pages: 630-634, DOI: 10.1081/E – ESS –12000159.