

بررسی و مقایسه خصوصیات خاک خندق‌ها (مطالعه موردی: منطقه چابهار و سیستان)

منصور جهان‌تیغ* - دکتری آبخیزداری و استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل، ایران
مرضیه تابع - دانشجوی دکتری بیابان دانشگاه کاشان و کارشناس ارشد مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان جنوبی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بیرجند، ایران

پذیرش: ۱۳۹۴/۷/۲۶

وصول: ۱۳۹۴/۵/۸

چکیده

استفاده بی‌رویه از زمین به دلیل افزایش جمعیت باعث کاهش حاصلخیزی، تخریب و فرسایش آن گردیده است. فرایند نهایی این برداشت‌های نامعقول، افزایش چالش‌های اقتصادی - اجتماعی و زیست‌محیطی است. بخش عمده تلفات خاک از طریق فرسایش آبی صورت می‌گیرد که پیشرفته و حاد آن، نوع خندقی است. هدف از اجرای این پژوهش، مقایسه خاک خندق‌های دو منطقه چابهار (خندق شماره ۱ و ۲) و سیستان است. برای اجرای این پژوهش، محدوده پراکنش خندق‌ها و همچنین نوع اقلیم آنها مشخص شد. بر اساس مطالعات میدانی برخی از خصوصیات خندق‌ها در نقاط مختلف آنها شناسایی گردید. از محل سر و فاصله‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد طول آنها، از دولاپه خاک سطحی (۱۵-۰) و عمقی (۳۰-۱۵ سانتی‌متری) نمونه‌های خاک برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد. ویژگی‌های اسیدیته، شوری، درصد سدیم قابل تبادل، ظرفیت تبادل کاتیونی، درصد اشباع و بافت خاک اندازه‌گیری شد. داده‌ها با استفاده از برنامه آماری SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقایسه میانگین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با استفاده از آزمون T نشان داد که بین مقادار SAR، EC، pH، CEC، ESP، SP، رس، سیلت و شن در منطقه چابهار و سیستان اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. شکل پروفیل عمودی رأس خندق‌های منطقه چابهار به ترتیب مایل و غارمانند و از سیستان عمودی است. پلان عمومی خندق‌های چابهار از نوع پنجه‌ای و خطی بوده ولی در منطقه سیستان به صورت مرکب است. از لحاظ پلان رأس خندق شباهت‌های بین برخی از خندق‌ها وجود دارد. به صورتی که خندق‌های U و V شکل به ترتیب دارای پلان رأس شاخه‌ای و نقطه‌ای است.

واژگان کلیدی: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، سیستان، تلفات خاک، فرسایش خندقی، فرسایش آبی.

مقدمه

انسان برای بقاء زندگی خود نیاز به مواد غذایی دارد که آن را از آب و خاک به دست می‌آورد؛ ولی بهره‌برداری غیر اصولی اثرات مخربی را به همراه داشته است. به طوری که این مناطق، با سیر قهقرایی همراه بوده و همواره چنین مناطقی با تخریب و فرسایش جدی روبه‌رو هستند و فرایند نهایی آن بروز معضلات و چالش‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی است. آثار سوء پدیده فرسایش در کوتاه‌مدت شاید چشمگیر و محسوس نباشد ولی در بلندمدت اثرات سوء آن به وضوح بروز می‌نماید. در حال حاضر، بخش زیادی از کشور تحت تأثیر فرسایش، از جمله نوع آبی قرار دارد که مهم‌ترین آن فرسایش خندقی است. خندق آبراه‌ای با کناره‌های شیب‌دار و پیشانی فرسایشی پر شیب و فعال است که به وسیله فرسایش ناشی از جریان سطحی متناوب ایجاد می‌گردد، ولی در برخی از مناطق دنیا، خندق‌ها توسط جریان متمرکز اشباع و یا ذوب برف ایجاد می‌شود (پواسون^۱، ۱۹۸۹). خندق‌ها کانال‌های عمیقی هستند که با شخم عادی از بین نمی‌روند (برادفورد^۲، ۹۸۰ و انجمن خاک امریکا، ۱۹۸۴). هاوگ^۳ (۱۹۷۷) کانال‌های با سطح مقطع بزرگتر از یک فوت مربع (حدود ۰/۱ متر مربع) را خندق می‌نامد. بریس^۴ (۱۹۶۶) از فاکتور حداقل عرض و عمق به ترتیب ۰/۳، ۰/۶ متر برای تفکیک شیار و خندق موقتی استفاده نمود؛ ولی ایمسون^۵ و کاواد^۶ (۱۹۸۰) از معیار حداقل عمق معادل ۰/۵ متر برای این تفکیک استفاده کرد. از آنجا که شکل خندق حاصل عملکرد فرایندهای ایجاد آن است، بنابراین نخستین مرحله در بررسی فرایندهای ایجاد آن، درک شکل‌شناسی خندق‌ها است (هید^۷، ۱۹۷۰). پژوهشگران زیادی معتقدند که تفاوت موجود در اشکال خندق، ناشی از اختلاف در فرایند ایجاد آن است (ایرلند^۸ و همکاران، ۱۹۳۹؛ ایمسون و کاوواد، ۱۹۸۰؛ هید، ۱۹۸۹). بر همین اساس، دانشمندان خندق را به گروه‌های مختلف دسته‌بندی کرده‌اند. ایرلند و همکاران (۱۹۳۹) پلان پیشانی (سر) خندق‌ها را به چهار گروه نقطه‌ای^۹، مدور^{۱۰}، نوک‌دار^{۱۱} و پنجه‌ای^{۱۲} تقسیم نمودند. آنان بر این باورند که زهش^{۱۳} باعث ایجاد اشکال مدور و پنجه‌ای و گاهی نوک‌دار می‌شود؛ همچنین آنان پروفیل طولی پیشانی خندق‌ها را نیز به چهار دسته شیب‌دار^{۱۴}، عمودی^{۱۵}، غارمانند^{۱۶} و غار با ریشه‌های آویزان^{۱۷} تقسیم نمودند. دانشمندان مزبور اعتقاد دارند که نوع غارمانند، از طریق فرایند رواناب سطحی و یا زهش ایجاد می‌گردد. هید (۱۹۷۰) خندق‌ها را به دو دسته پیوسته^{۱۸} و ناپیوسته^{۱۹} تقسیم نموده است. وی معتقد است که خندق‌های پیوسته مانند شیار از بالای شیب

1- Poesen

2- Bradford

3- Hauge

4- Brice

5- Imeson

6- Kwaad

7- Heed

8- Ireland

9- Pointed

10- Rounded

11- Notched

12- Digitated

13- Seepage

14- Inclined

15- Vertical

16- Cave

17- Cavewith overhanging root mat or sod

18- Continuous

19- Discontinuous

شروع ولی نوع ناپیوسته آن در هر نقطه‌ای از شیب نظیر یک هدکت یا لوله ایجاد می‌گردد. بعضی از پژوهشگران نظیر ایمسون و کوواد (۱۹۸۰) خندق‌ها را بر مبنای شکل مقطع عرضی آنها تقسیم می‌نمایند. آنان نتیجه گرفتند که خندق‌های V شکل توسط فرایند رواناب سطحی ایجاد ولی نوع U شکل آنها از طریق مکانیسم زیرسطحی و یا سطحی تشکیل می‌شود.

فرسایش خندقی باعث تخریب خاک و اکوسیستم، کاهش کمی و کیفی آب زیرزمینی، کاهش محصول، تخریب جاده‌ها و پل‌ها می‌گردد (کونوستی^۱ و همکاران، ۲۰۱۴؛ دابی^۲ و همکاران، ۲۰۱۴؛ توری^۳ و پواسون، ۲۰۱۴؛ بوآردمن^۴، ۲۰۱۴؛ پاولو^۵ و همکاران، ۲۰۱۴). با توجه به اینکه بخش زیادی از تلفات خاک مربوط به این نوع فرسایش است و نقش بازدارنده‌ای که در روند توسعه و تثبیت حوزه‌های آبخیز دارد، به برخی از تحقیقات صورت گرفته در خصوص فرسایش خندقی اشاره می‌شود.

فرسایش خندقی نوعی از فرسایش آبی است که در نتیجه انحلال و قلیایی بودن سازند در اراضی مختلف (جنگلی، مرتعی و کشاورزی) به وجود می‌آید (کالینیچینکو^۶ و لینسکی^۷، ۱۹۷۶). به طور معمول این فرسایش در نواحی خشک و نیمه‌خشک جهان، در جاهایی که بهره‌برداری از زمین بر اساس استعداد آن صورت نگیرد به وقوع می‌پیوندد (حزیچی^۸، ۲۰۰۰). عواملی از قبیل اسیدیته خاک، بالا بودن سدیم قابل تبادل و درصد اشباع خاک، شکنندگی ساختمان خاک، بالا بودن پراکندگی ساختمان خاک و پایین بودن میزان نفوذ آب باعث ایجاد خندق می‌گردد (سیگیونگا^۹، ۲۰۱۱). به دلیل کاهش ذخیره و نفوذ آب، کمبود مواد آلی، تمرکز جریان سطحی، زمین‌های متروکه در مقایسه با اراضی کشاورزی در معرض خطر جدی فرسایش خندقی قرار دارند (لسچن^{۱۰} و همکاران، ۲۰۰۷). میزان گچ به همراه سدیم در سازندهای رس و مارن عامل بسیار مهم در حساس بودن آنها به ایجاد خندق است (مورگان^{۱۱}، ۲۰۰۵: ۱۹۸). به طور کلی، وقوع فرسایش خندقی و ساحلی (کناری) در مقایسه با سایر انواع فرسایش آبی باعث هدررفت حجم بیشتری از خاک می‌گردد (احمدی و همکاران، ۱۳۸۶). شکل‌گیری و ایجاد انواع شبکه خندق‌ها تابعی از بافت خاک در افق‌های مختلف، درصد اشباع خاک و هدایت الکتریکی بوده به طوری که با افزایش املاح محلول موجود در خاک، رخداد فرسایش تونلی و ایجاد خندق‌های جبهه‌ای مرگب به شدت افزایش می‌یابد (قدوسی و داوری، ۱۳۸۴). برخی از خصوصیات سازندها مانند هدایت الکتریکی گل اشباع، درصد سیلت و ماسه، درصد آهک، درصد گچ، یون‌های منیزیم، کلسیم، سدیم و پتاسیم دامنه حساسیت سازند را تعیین می‌نمایند و میزان اسیدیته گل اشباع، درصد اشباع خاک و درصد رس، باعث پایداری و مقاومت سازند در مقابل فرسایش می‌گردد (یمانی و اکبریان، ۱۳۹۲). خاک سطحی تنها عامل pH رابطه مثبت معنی‌داری (سطح ۰.۱) با رسوب‌زایی خندق‌ها دارد. در خاک عمقی نیز فاکتورهای درصد سیلت رابطه مثبت معنی‌دار (سطح ۰.۱) و درصد شن نیز رابطه منفی

- 1- Conoscenti
- 2- Dube
- 3- Torri
- 4- Boardman
- 5- Paolo
- 6- Kalinichenko
- 7- Iliinski
- 8- Ezechi
- 9- Sigunga
- 10- Lesschen
- 11- Morgan

معنی دار (سطح ۰/۵) با حجم رسوب خندق‌ها دارند. هیچ رابطه معنی‌داری بین سازندهای زمین‌شناسی و تولید رسوب خندق‌ها یافت نشده است (یوسفوند و همکاران، ۱۳۹۲). فرسایش‌پذیری خاک و شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی، تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله مقدار املاح محلول خاک و سازندهای زمین‌شناسی است (شهریور و همکاران، ۱۳۷۸؛ قدوسی، ۱۳۷۳). علل تشکیل خندق در برخی از مناطق ناشی از مقدار املاح فراوان در خاک بوده است (راهی، ۱۳۷۷: ۱۰۶)؛ همچنین میزان حساسیت رسوبات به فرسایش خندقی با توجه به مقادیر بالای (pH, OM, TNV) نیز از عوامل ایجاد این نوع فرسایش است (زمان‌زاده و احمدی، ۱۳۹۲).

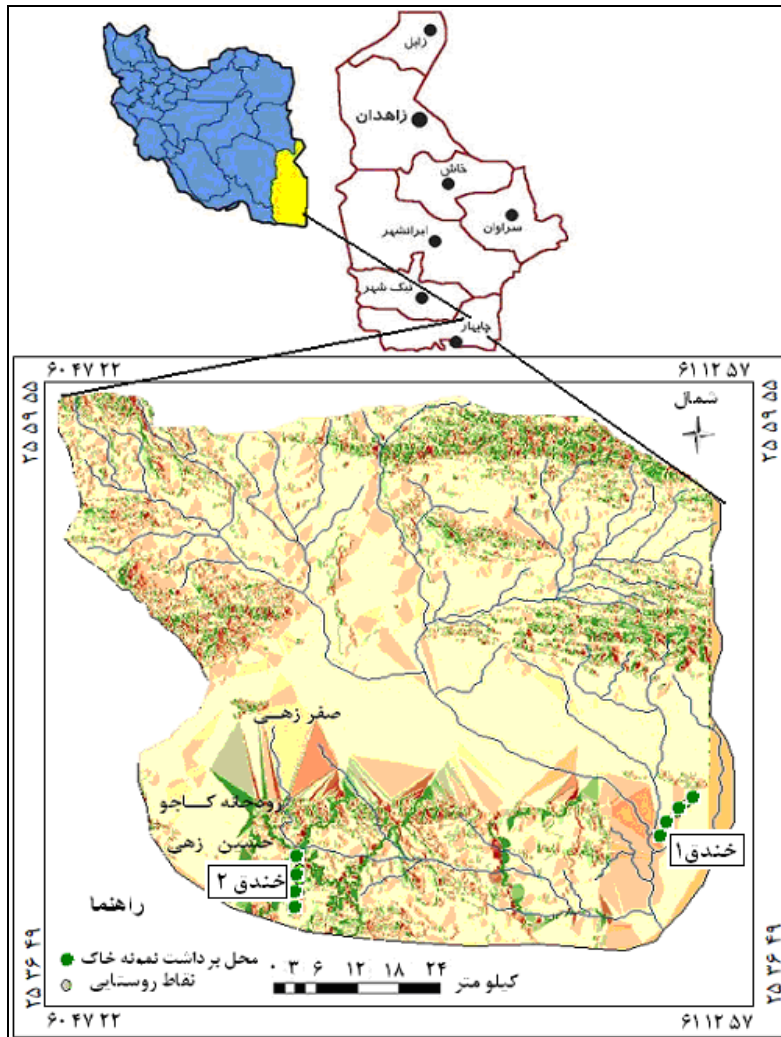
در استان سیستان و بلوچستان ویژگی‌های شکل‌شناسی^۱ نظیر طول، عرض و عمق انواع مختلف خندق‌ها و عوامل کنترل‌کننده آنها مانند پستی و بلندی، نوع خاک، کاربری اراضی و هیدرولوژی در دامنه وسیعی از اقلیم به طور سیستماتیک جمع‌آوری نشده است. از همین روی، این خلأ، کمبود اطلاعات نیاز به بررسی و تحقیق بر روی خندق‌های منطقه را ضروری می‌نماید. این پژوهش، مقایسه خاک خندق‌های دو منطقه چابهار و سیستان را به منظور شناسایی علت تغییرات مورد بررسی قرار می‌دهد.

معرفی منطقه مورد مطالعه

برای اجرای پژوهش با توجه به اینکه خندق‌های استان در دو منطقه چابهار و سیستان پراکنده هستند، این محدوده‌ها جهت انجام پژوهش انتخاب گردید. ویژگی‌های محیطی این مناطق به صورت ذیل است:

الف: منطقه چابهار

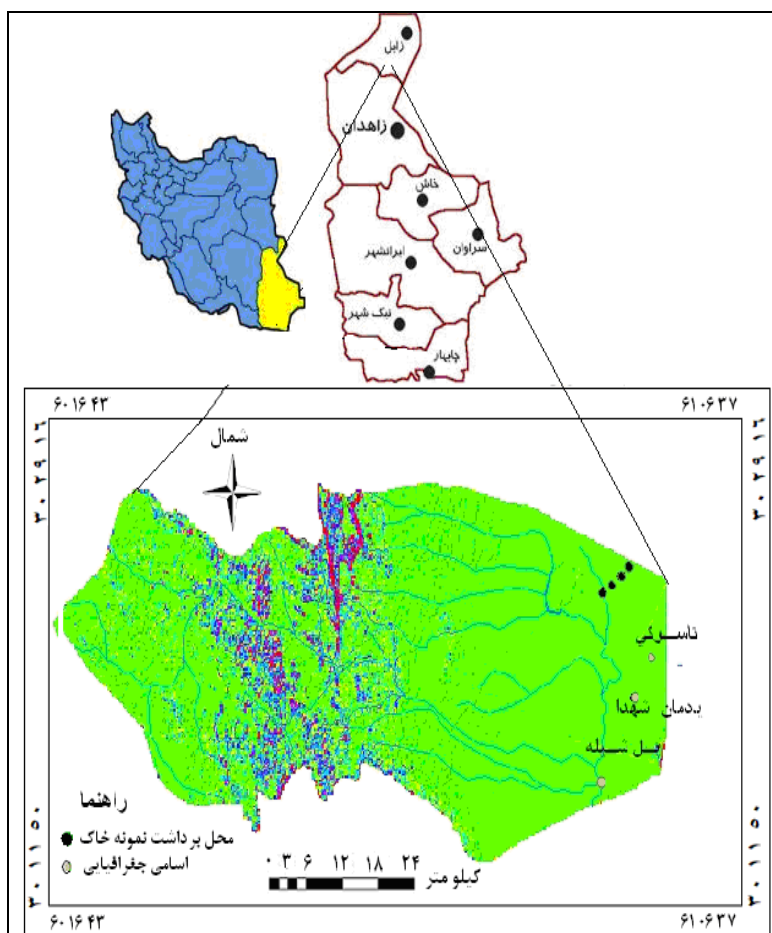
پراکنش فرسایش خندقی در فاصله ۹۰-۱۱۰ کیلومتری شمال شرق شهرستان چابهار در استان سیستان و بلوچستان و ارتفاع ۶۲-۲۵ متر از سطح دریا قرار دارد (شکل ۱). بررسی آمار هواشناسی چابهار نشان می‌دهد که دمای متوسط منطقه، ۲۷/۲ درجه سانتی‌گراد است. متوسط بارندگی سالیانه و همچنین حداکثر بارندگی روزانه در یک دوره ۱۱ ساله محدوده مورد پژوهش برابر ۱۰۰ و ۸۵ میلی‌متر است. به دلیل نزدیکی این منطقه با دریای عمان و بهره‌گیری از بادهای موسمی اقلیم متفاوتی دارد. بالا بودن میانگین دما و پایین بودن نوسانات آن از مشخصه اساسی اقلیم منطقه است. با توجه به خصوصیات اقلیمی منطقه، اکثر جریان‌ات رودخانه‌ای، موقتی و فصلی بوده و در بخش وسیعی از آن منابع محدود آب‌های زیرزمینی تنها امکانات تأمین آب به شمار می‌آید. از دیدگاه زمین‌شناسی، سازند منطقه چابهار شامل رسوبات ته‌نشست حاصل از فرسایش در حوزه آبخیز بزرگ کاجو است. از نظر سن زمین‌شناسی مربوط به اوایل دوران دوم زمین‌شناسی (تریاس) تا اواخر دوران سوم را شامل می‌شود. وجود رسوبات سست نظیر مارن و در صد بالای سیلت و رسوبات رسی سیلتی دوران سوم و چهارم از شاخص‌های منطقه است. گیاهان مهم منطقه کنار، کهور، بیدار، استبرق، شیشم، لول، کوت، کلیر، انجیر هندی، تمر هندی و دارتیک هستند. در این منطقه، گیاهانی همانند کائوچو، انبه و انجیر هندی می‌رویند که در سایر نقاط ایران یافت نمی‌شود. فرسایش خندقی یکی از چالش‌هایی است که این منطقه با آن روبه‌رو می‌باشد، به صورتی که حدود ۶۳۶/۵ هکتار آن تحت تأثیر این نوع فرسایش قرار دارند. طولانی‌ترین خندق این محدوده ۵۵۱۶ متر طول دارد.



شکل ۱. نقشه موقعیت خندق‌های منطقه چابهار

ب: منطقه سیستان

پراکنش فرسایش خندقی در فاصله ۱۱۰ کیلومتری جنوب شهرستان زابل در استان سیستان و بلوچستان و با ارتفاع ۴۸۰ متر از سطح دریا قرار دارد. کمبود آب و رطوبت از محدودیت‌های این منطقه به شمار می‌آید، به طوری که این شرایط سخت اکولوژیکی استقرار و رویش پوشش گیاهی را با محدودیت همراه ساخته است. بررسی آمار هواشناسی شهرستان زابل نشان می‌دهد که متوسط بارندگی سالیانه در منطقه مورد بررسی بین ۶۰ میلی‌متر است که بیشترین آن در فصل زمستان ریزش می‌نماید. میانگین درجه حرارت، متوسط حداکثر و حداکثر مطلق سالیانه به ترتیب ۱۸، ۲۵ و ۴۳ درجه سانتی‌گراد است. متوسط حداقل سالانه درجه حرارت و حداقل مطلق آن به ترتیب ۹/۷ و -۶ درجه سانتی‌گراد است. تبخیر و تعرق منطقه بالا (حدود ۵ متر است که ۳ متر آن در ماه‌های بحرانی صورت می‌پذیرد) و برعکس رطوبت آن پایین است، به طوری که متوسط رطوبت سالانه منطقه به ۲۸/۱ درصد می‌رسد. منطقه پوشش گیاهی منطقه را انواع گیاهان خشبی تشکیل می‌دهد. پوشش غالب منطقه تاسوکی درختچه‌گز و از جاریکا تاغ است. ارتفاع متوسط مناطق مزبور به ترتیب ۴۸۰ و ۱۰۰۰ متر از سطح دریاست. خاک منطقه تاسوکی عمیق و ناشی از رسوبات رودخانه‌هیرمند تشکیل شده است ولی خاک منطقه جاریکا کم‌عمق، سبک و مخروط‌افکنه است (شکل ۲).



شکل ۲. نقشه موقعیت خندق‌های منطقه سیستان

این منطقه مربوط به دوره‌های هالئوسن، نئوژن-کواترنری است و از لحاظ زمین‌شناسی دارای تپه‌های ماسه‌ای، آبرفت‌های ریز و رسوبات رودخانه‌ای است. فرسایش خندقی این منطقه شامل یک خندق به طول ۲۷۸۰ متر است که در شیب حدود ۰/۵ درصد گسترش یافته است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، ابتدا اطلاعات موجود در ارتباط با مناطق فرسایش خندقی در استان سیستان و بلوچستان جمع‌آوری و با توجه به این اطلاعات و عکس‌های هوایی ۱/۴۰۰۰۰ مکان‌های فرسایش خندقی مشخص گردید. بر اساس اطلاعات میدانی، محدوده بر روی نقشه ۱:۲۵۰۰۰ توپوگرافی با توجه به گستردگی منطقه تعیین و نقشه پراکنش خندق‌ها تهیه شد. با توجه به مطالعات جاماب، اقلیم مناطق خندقی (که با استفاده از روش دومارتن گسترده تعیین شده) مشخص شد. سپس از هر اقلیم، دو منطقه خندقی یک خندق معرف با در نظر گرفتن نوع خندق انتخاب گردید و مشخصات خندق‌ها در نقاط مختلف مشخص شد؛ بنابراین با توجه به وضعیت محدوده‌های پراکنش خندق‌ها، دو خندق در منطقه چابهار و یک خندق نیز در سیستان انتخاب گردید. نمونه‌های خاک از سر خندق، فاصله ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد طول (از هر خندق ۸ نمونه خاک) از دولایه خاک سطحی (۰-۱۵) و عمقی (۱۵-۳۰ سانتی‌متری) برداشت شد و داخل ظروف پلاستیکی قرار گرفت و به منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک به آزمایشگاه انتقال یافت. به منظور انجام آنالیز نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در هوای آزاد زیر سایه روی نایلون قرار گرفت تا کاملاً خشک گردد. نمونه‌های

خاک با چکش مخصوص چوبی کوبیده و نرم گردید و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و به آزمایشگاه منتقل و ویژگی‌های اسیدیته، شوری، درصد سدیم قابل تبادل، ظرفیت تبادل کاتیونی، درصد اشباع و بافت اندازه‌گیری شد. میزان pH خاک روش پتانسیومتری با استفاده از دستگاه pH متر^۱، EC نمونه‌ها از طریق گل اشباع و به وسیله دستگاه هدایت سنج^۲، درصد سدیم قابل تبادل از طریق تکنیک نشر اتمی با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر^۳، ظرفیت تبادل کاتیونی، درصد اشباع روش کجدال و بافت خاک به روش هیدرومتری اندازه‌گیری شد.

مشخصات هندسی خندق‌های مورد مطالعه در رأس، فاصله‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد از سر خندق اندازه‌گیری گردید. شکل پروفیل عمودی رأس خندق، شکل مقطع خندق، پلان رأس خندق و پلان عمومی خندق بر اساس کارهای میدانی شناسایی گردید. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از برنامه آماری SPSS به منظور شناسایی اختلاف هریک از ویژگی‌ها در مناطق مزبور صورت پذیرفت.

نتایج

نتایج حاصل از بررسی میدانی و نقشه‌های موجود در منطقه نشان می‌دهد که شکل پروفیل عمودی رأس خندق‌های منطقه چابهار به ترتیب مایل و غار مانند و شکل پروفیل عمودی رأس خندق منطقه سیستان عمودی است. بین پلان عمومی خندق‌های مورد بررسی نیز اختلاف وجود دارد. به صورتی که پلان عمومی خندق شماره ۱ و ۲ چابهار به ترتیب از نوع پنجه‌ای و خطی بوده ولی در منطقه سیستان به صورت مرکب است. از لحاظ پلان رأس خندق شباهت‌های بین برخی از خندق‌ها وجود دارد. به صورتی که خندق شماره ۱ چابهار و خندق سیستان دارای پلان رأس شاخه‌ای بوده و خندق شماره ۲ چابهار نیز از نوع نقطه‌ای است. همچنین بین این خندق‌ها از لحاظ ارتفاع، متوسط بارش سالانه، متوسط دمای سالانه و مساحت تحت تأثیر خندق نیز اختلاف وجود دارد. علاوه بر آن بین شکل مقطع آبگیر خندق‌های دو منطقه نیز شباهت‌هایی وجود دارد. به صورتی که خندق شماره ۱ چابهار و سیستان دارای شکل مقطع عرضی U و خندق شماره ۲ چابهار V شکل است (جدول ۱ و شکل‌های ۶-۳).

جدول ۱. خصوصیات ریخت اقلیمی خندق‌های مورد مطالعه

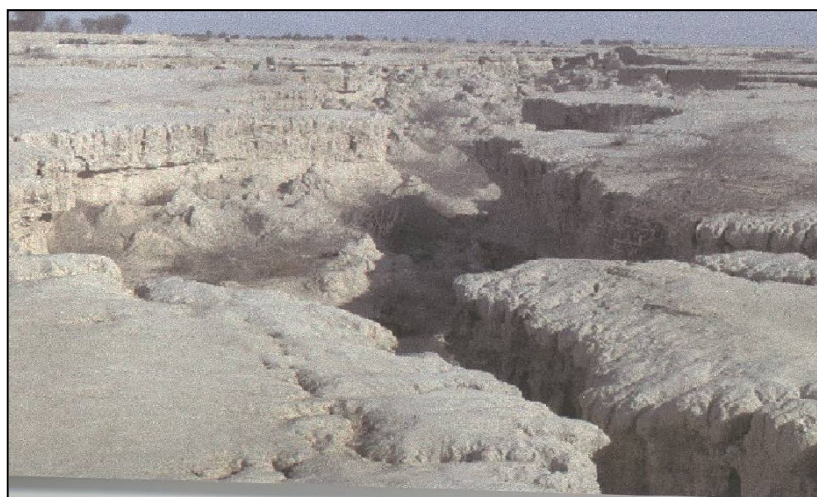
سیستان	چابهار		منطقه ویژگی
	خندق ۲	خندق ۱	
۲۷/۵	۶۷/۵	۱۷۵/۸	مساحت گسترش خندق (هکتار)
۴۸۰	۵۱	۲۵	ارتفاع خندق از سطح دریا
۵۰	۹۰	۹۰	متوسط بارش سالانه (میلی‌متر)
۲۱/۴	۲۷	۲۷/۲	متوسط دمای سالانه (°C)
عمودی	غار مانند	مایل	شکل پروفیل عمودی رأس خندق
دوزنقه‌ای	V	U	شکل مقطع خندق
شاخه‌ای	نقطه‌ای	شاخه‌ای	پلان رأس خندق
مرکب	خطی	پنجه‌ای	پلان عمومی خندق



شکل ۳. نمایی از خندق شماره ۱ چابهار



شکل ۴. نمایی از رأس غار مانند خندق شماره ۲ چابهار



شکل ۵. نمایی از خندق فرعی شماره ۲ چابهار



شکل ۶. نمایی از موقعیت خندق معرف زابل (در ۵۰ درصد طول)

خصوصیات هندسی خندق‌های مورد مطالعه (عرض، عمق و طول) در سر خندق و در فاصله‌های ۲۵ و ۵۰ درصد از سر خندق در سه منطقه با هم تفاوت دارند. به صورتی که عرض بالا و پایین خندق سیستان از دو خندق دیگر بیشتر است. همچنین از لحاظ طول خندق شماره ۱ چابهار طولی‌تر از دو خندق دیگر است. رأس بدنه اصلی خندق شماره ۱، ۲ چابهار و منطقه سیستان به ترتیب $1/2$ ، $5/2$ و $1/7$ متر عمق دارد. از این رو، خندق‌های مورد مطالعه از یک متر بیشتر و از ۱۰ متر کم‌تر عمق دارند؛ بنابراین تمام خندق‌های مورد بررسی در ردیف عمق متوسط قرار گرفته‌اند (جدول ۲).

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل خصوصیات فیزیک و شیمیایی خاک در سه خندق مورد بررسی نشان داد که مقدار اسیدیتته از $7/7$ در خندق شماره ۲ چابهار تا $8/4$ در خندق سیستان متغیر است. هدایت الکتریکی خاک نمونه‌های مورد بررسی از $0/34$ در خندق سیستان تا $4/9$ دسی زیمنس بر متر در خندق شماره ۱ چابهار در نوسان است. حداقل و حداکثر نسبت سدیم قابل جذب به ترتیب $0/24$ (خندق منطقه سیستان) و 18 (خندق شماره ۲ چابهار) بوده است. دامنه تغییرات ظرفیت تبادل کاتیونی $2/9$ (خندق شماره ۲ چابهار) و 26 (خندق منطقه سیستان) است. میزان درصد سدیم قابل جذب از $0/92$ در منطقه سیستان تا 20 در خندق شماره ۲ چابهار متغیر بوده است. دامنه تغییرات درصد اشباع خاک از $3/2$ (خندق شماره ۲ چابهار)

جدول ۲. مشخصات هندسی خندق‌های مورد مطالعه در فاصله‌های رأس و ۵۰ درصدی از سر آن

سیستان	چابهار		منطقه	
	خندق ۲	خندق ۱	ویژگی	
۲۷۸۰	۶۷۵	۵۵۱۶	طول خندق (متر)	
۲۲	۱۰/۵	۱۵	رأس	عرض بالا
۳۰	۱۷/۵	۱۳	۵۰ درصد	
۱۷	۹	۱۲/۷	رأس	عرض پایین
۲۵	۱۴/۷	۱۱/۵	۵۰ درصد	
۱/۷	۵/۲	۱/۲	رأس	عمق
۱/۵	۶/۵	۱/۳	۵۰ درصد	

تا ۵۷ (خندق شماره ۱ چابهار) است. درصد رس محدوده‌های مورد بررسی از ۹ تا ۳۶ درصد در خندق شماره ۱ در نوسان بوده است. تغییرات سیلت از ۳۷ تا ۷۹ درصد متغیر بوده است. مقدار شن نمونه‌های اندازه‌گیری شده بین ۷ تا ۴۰ درصد تغییر داشته است (جدول‌های ۵-۳).

مقایسه میانگین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک با استفاده از آزمون T نشان داد که بین مقدار EC، SAR، CEC، ESP، SP، رس و سیلت خندق شماره یک چابهار و خندق سیستان اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. ولی بین pH و شن اختلاف وجود دارد (جدول ۶). همچنین مقایسه میانگین‌های خاک دو خندق چابهار نشان داد که بین EC، CEC و SP آنها در سطح ۰/۰۱ اختلاف معنی‌داری وجود دارد ولی سایر

جدول ۳. نتایج آزمایشگاهی نمونه خاک خندق ۱ چابهار در مقطع سر و فاصله‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد از سر آن

شن	سیلت	رس	SP	ESP	CEC	SAR	EC	pH	عمق (سانتی‌متر)	
۹	۷۳	۱۸	۵۴/۳	۴/۹	۲۳	۴	۲/۹	۷/۸	۰-۱۵	هدکت
۱۵	۶۶	۱۹	۴۵	۴/۲	۲۲	۳/۹	۲/۹	۷/۷	۱۵-۳۰	
۹	۷۴	۱۷	۵۹	۴/۲	۲۲	۴/۸	۳/۹	۷/۸	۰-۱۵	۲۵
۲۷	۳۷	۳۶	۳۸	۴/۱	۲۲	۴/۸	۳/۸	۷/۹	۱۵-۳۰	
۲۹	۶۱	۱۰	۵۵	۵/۶	۱۷	۶/۴	۳/۹	۷/۹	۰-۱۵	۵۰
۱۱	۷۹	۱۰	۵۴/۶	۵/۵	۱۷	۶/۸	۳/۸	۷/۹	۱۵-۳۰	
۲۸	۶۳	۹	۵۷	۵/۷	۱۷	۶/۵	۳/۳	۷/۹	۰-۱۵	۷۵
۱۹	۶۰	۱۲	۵۲	۵/۵	۱۷	۶/۷	۳/۳	۷/۹	۱۵-۳۰	

جدول ۴. نتایج آزمایشگاهی نمونه خاک خندق ۲ چابهار در مقطع سر و فاصله‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد از سر آن

شن	سیلت	رس	SP	ESP	CEC	SAR	EC	pH	عمق (سانتی‌متر)	
۹	۷۱	۲۰	۴۲	۵/۲	۲/۹	۴/۷	۱/۳	۷/۹	۰-۱۵	هدکت
۱۰	۷۰	۲۰	۴۱	۵	۳	۴	۱/۲	۷/۹	۱۵-۳۰	
۷	۷۲	۲۱	۴۳	۲	۳/۲	۱/۸	۳/۳	۷/۹	۰-۱۵	۲۵
۸	۷۱	۲۱	۴۳	۱/۹	۳/۲	۱/۸	۳/۲	۸	۱۵-۳۰	
۱۰	۵۸	۳۲	۴۳	۵/۵	۳/۲	۶	۳/۴	۷/۸	۰-۱۵	۵۰
۱۰	۶۰	۳۰	۴۳	۵/۵	۳	۶	۳/۱	۷/۸	۱۵-۳۰	
۴۰	۳۷	۲۳	۴۲/۷	۳/۲	۱۸	۰/۶	۰/۴	۷/۷	۰-۱۵	۷۵
۴۲	۳۶	۲۲	۴۲	۳/۳	۱۸	۰/۶	۰/۴	۷/۸	۱۵-۳۰	

جدول ۵. نتایج آزمایشگاهی نمونه خاک خندق سیستان در مقطع سر و فاصله‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد از سر آن

شن	سیلت	رس	SP	ESP	CEC	SAR	EC	pH	عمق (سانتی‌متر)	
۳۵	۵۲	۱۳	۵۴/۷	۰/۹۲	۲۶	۰/۲۴	۰/۳۴	۸	۰-۱۵	هدکت
۳۶	۵۳	۱۱	۵۴/۵	۰/۹	۲۵	۰/۲	۰/۴	۸	۱۵-۳۰	
۲۶	۵۴	۲۰	۴۷/۴	۳/۷	۷/۸	۳/۵	۲/۷	۷/۹	۰-۱۵	۲۵
۲۶	۵۵	۱۹	۴۷	۳/۵	۷/۶	۳/۵	۲/۶	۷/۹	۱۵-۳۰	
۴۰	۴۸	۱۲	۴۲/۲	۱۰	۱۲/۲	۸/۷	۳/۸	۸/۱	۰-۱۵	۵۰
۳۷	۵۲	۱۱	۴۲/۱	۹/۹	۱۲	۸/۶	۳/۷	۸	۱۵-۳۰	
۳۰	۵۸	۱۲	۴۲	۱۰	۲۶	۰/۲۵	۴/۷	۸/۳	۰-۱۵	۷۵
۳۱	۵۹	۱۰	۴۲	۱۰	۲۶	۰/۲۵	۴/۵	۸/۴	۱۵-۳۰	

ویژگی‌ها با هم اختلافی ندارند (جدول ۷). علاوه بر آن مقایسه میانگین ویژگی‌های خاک خندق شماره ۲ چابهار و خندق سیستان نشان داد که بین ویژگی‌های pH، CEC، رس و شن اختلاف معنی‌داری وجود دارد و سایر ویژگی‌ها اختلافی با هم ندارند.

جدول ۶. خروجی SPSS درباره مقایسه میانگین نمونه‌های خاک خندق شماره ۱ چابهار و خندق سیستان

ویژگی	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد		فاصله اطمینان ۹۵ درصد		t	df	Sig
			میانگین	خطای استاندارد	حد پایین	حد بالا			
pH	۰/۲۲۵۰	۰/۱۶۶۹۰	۰/۰۵۹۰۱	۰/۰۵۹۰۱	-۰/۳۶۴۵	-۰/۰۸۵۵	-۳/۸۱۳	۷	۰/۰۰۷**
EC	۰/۶۳۲۵	۱/۵۰۷۲۸	۰/۵۳۲۹۰	۰/۵۳۲۹۰	-۰/۶۲۷۶	۱/۸۹۲۶	۱/۱۸۷	۷	۰/۲۷۴
SAR	۲/۳۳۲۵	۳/۳۱۴۰۰	۱/۱۷۱۶۸	۱/۱۷۱۶۸	-۰/۴۳۸۱	۵/۱۰۳۱	۱/۹۹۱	۷	۰/۰۸۷
CEC	۱/۸۰۰۰	۹/۳۴۳۶۰	۳/۳۰۳۴۶	۳/۳۰۳۴۶	-۶/۰۱۱۴	۹/۶۱۱۴	۰/۵۴۵	۷	۰/۶۰۳
ESP	-۱/۱۵۲۵	۳/۶۶۷۹۰	۱/۲۹۶۸۰	۱/۲۹۶۸۰	-۴/۲۱۸۹	۱/۹۱۳۹	-۰/۸۸۹	۷	۰/۴۰۴
SP	۵/۲۵۰۰	۱۰/۲۲۸۵۳	۳/۶۱۶۳۳	۳/۶۱۶۳۳	-۳/۳۰۱۳	۱۳/۸۰۱۳	۱/۴۵۲	۷	۰/۱۹۰
رس	۲/۸۷۵۰	۶/۹۵۷۷۸	۲/۴۵۹۹۵	۲/۴۵۹۹۵	-۲/۹۴۱۹	۸/۶۹۱۹	۱/۱۶۹	۷	۰/۳۸۱
سیلت	۱۰/۲۵۰۰	۱۴/۲۳۰۲۵	۵/۰۳۱۱۵	۵/۰۳۱۱۵	-۱/۶۴۶۸	۲۲/۱۴۶۸	۲/۰۳۷	۷	۰/۰۸۱
شن	-۱۳/۰۰۰۰	۹/۱۰۲۵۹	۳/۲۱۸۲۵	۳/۲۱۸۲۵	-۲۰/۶۱۰۰	-۵/۳۹۰۰	-۴/۰۳۹	۷	۰/۰۰۵**

** در سطح ۰/۰۱ اختلاف معنی‌دار است.

جدول ۷. خروجی SPSS درباره مقایسه میانگین نمونه‌های خاک خندق شماره ۱ و ۲ چابهار

ویژگی	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد		فاصله اطمینان ۹۵ درصد		t	df	Sig
			میانگین	خطای استاندارد	حد پایین	حد بالا			
pH	۰/۰۰۰۰	۰/۱۴۱۴۲	۰/۰۵۰۰۰	۰/۰۵۰۰۰	-۰/۱۱۸۲	۰/۱۱۸۲	۰/۰۰۰	۷	۱/۰۰۰
EC	۱/۴۳۷۵	۱/۰۱۴۱۰	۰/۳۵۸۵۴	۰/۳۵۸۵۴	۰/۵۸۹۷	۲/۳۸۵۳	۴/۰۰۹	۷	۰/۰۰۵**
SAR	۲/۳۰۰۰	۲/۶۴۵۷۵	۰/۹۳۵۴۱	۰/۹۳۵۴۱	-۰/۰۸۸۱	۴/۵۱۱۹	۲/۴۵۹	۷	۰/۰۴۴*
CEC	۱۲/۸۱۲۵	۸/۸۴۰۲۴	۳/۱۲۵۵۰	۳/۱۲۵۵۰	۵/۴۲۱۹	۲۰/۲۰۳۱	۴/۰۹۹	۷	۰/۰۰۵**
ESP	۱/۰۱۲۵	۱/۳۷۸۸۶	۰/۴۸۷۵۰	۰/۴۸۷۵۰	-۰/۱۴۰۳	۲/۱۶۵۳	۲/۰۷۷	۷	۰/۰۷۶
SP	۹/۲۷۵۰	۶/۷۵۶۳۲	۲/۳۸۸۷۲	۲/۳۸۸۷۲	۳/۶۲۶۶	۱۴/۹۲۳۴	۳/۸۸۳	۷	۰/۰۰۶**
رس	-۷/۲۵۰۰	۱۱/۹۸۵۱۱	۴/۲۳۷۳۸	۴/۲۳۷۳۸	-۱۷/۲۶۹۸	۲/۷۶۹۸	-۱/۷۱۱	۷	۰/۱۳۱
سیلت	۴/۷۵۰۰	۱۹/۳۵۲۰۰	۶/۸۴۱۹۷	۶/۸۴۱۹۷	-۱۱/۴۲۸۷	۲۰/۹۲۸۷	۰/۶۹۴	۷	۰/۵۱۰
شن	۱/۳۷۵۰	۱۴/۱۹۱۹۲	۵/۰۱۷۶۰	۵/۰۱۷۶۰	-۱۰/۴۸۹۷	۱۳/۲۳۹۷	۰/۲۷۴	۷	۰/۷۹۲

** در سطح ۰/۰۱ اختلاف معنی‌دار است.

* در سطح ۰/۰۵ اختلاف معنی‌دار است.

جدول ۸. خروجی SPSS درباره مقایسه میانگین نمونه‌های خاک خندق شماره ۲ چابهار و خندق سیستان

ویژگی	میانگین	انحراف معیار	خطای استاندارد		فاصله اطمینان ۹۵ درصد		t	df	Sig
			میانگین	خطای استاندارد	حد پایین	حد بالا			
pH	-۰/۲۲۵۰	۰/۲۶۰۴۹	۰/۰۹۲۱۰	۰/۰۹۲۱۰	-۰/۴۴۲۸	-۰/۰۰۷۲	-۲/۴۴۳	۷	۰/۰۴۵*
EC	-۰/۸۰۵۰	۲/۱۶۸۵۲	۰/۷۶۶۶۹	۰/۷۶۶۶۹	-۲/۶۱۷۹	۱/۰۰۷۹	-۱/۰۵۰	۷	۰/۳۲۹
SAR	۰/۰۳۲۵	۲/۷۸۷۶۸	۰/۹۸۵۵۹	۰/۹۸۵۵۹	-۲/۲۹۸۱	۲/۳۶۳۱	۰/۰۳۳	۷	۰/۹۷۵
CEC	-۱۱/۰۱۲۵	۷/۳۴۷۷۸	۲/۵۹۷۸۳	۲/۵۹۷۸۳	-۱۷/۱۵۵۴	-۴/۸۶۹۶	-۴/۲۳۹	۷	۰/۰۰۴**
ESP	-۲/۱۶۵۰	۴/۳۷۲۳۳	۱/۵۴۵۸۵	۱/۵۴۵۸۵	-۵/۸۲۰۴	۱/۴۹۰۴	-۱/۴۰۱	۷	۰/۲۰۴
SP	-۴/۰۲۵۰	۵/۹۹۰۸۹	۲/۱۱۸۱۰	۲/۱۱۸۱۰	-۹/۰۳۳۵	۰/۹۸۳۵	-۱/۹۰۰	۷	۰/۰۹۹
رس	۱۰/۱۲۵۰	۶/۹۷۸۲۸	۲/۴۶۷۲۰	۲/۴۶۷۲۰	۴/۲۹۱۰	۱۵/۹۵۹۰	۴/۱۰۴	۷	۰/۰۰۵**
سیلت	۵/۵۰۰۰	۱۷/۴۱۱۰۰	۶/۱۵۵۷۲	۶/۱۵۵۷۲	-۹/۰۵۶۰	۲۰/۰۵۶۰	۰/۸۹۳	۷	۰/۴۰۱
شن	-۱۴/۳۷۵۰	۱۶/۰۹۷۳۶	۵/۶۹۱۲۸	۵/۶۹۱۲۸	-۲۷/۸۳۲۷	-۰/۹۱۷۳	-۲/۵۲۶	۷	۰/۰۳۹*

** در سطح ۰/۰۱ اختلاف معنی‌دار است.

* در سطح ۰/۰۵ اختلاف معنی‌دار است.

نتایج آزمایشگاهی نمونه‌های خاک نشان داد که میزان اسیدیته خاک در خندق‌های منطقه چابهار تقریباً مشابه هم هستند ولی با خندق‌های سیستان متفاوت است. با توجه به اینکه میانگین هدایت الکتریکی در منطقه چابهار و سیستان به ترتیب برابر ۲/۷۵ و ۲/۸۴ دسی ژیمنس بر متر است؛ بنابراین خاک‌های این مناطق شور نیستند زیرا به گفته احمدی (۱۳۸۶) خاک‌هایی شور هستند که قابلیت هدایت الکتریکی آنها از ۴ دسی ژیمنس بر متر بیشتر باشد. میانگین SAR در دو منطقه مورد بررسی به ترتیب ۶/۳۶ و ۳/۱۵ است و همچنین میانگین ESP محدوده‌های مزبور به ترتیب ۶/۶۵ و ۶/۱۱ است. دامنه گسترش فرسایش خندقی و مورفولوژی خندق‌ها در دو منطقه متفاوت بوده است. به صورتی که بر اساس دوره تکاملی خندق‌های منطقه سیستان به طور کلی از نوع پیوسته و مسن بوده و در حال پیشروی و توسعه نیست، زیرا مهم‌ترین عامل آن ورود سیلاب‌های اضافی از کشور افغانستان بوده است که این سیلاب‌ها در دهه اخیر اتفاق نمی‌افتد. خندق شماره ۱ چابهار نیز چنین وضعی را دارد ولی فقط در پاره‌ای موارد از ناحیه سر خندق فعال بوده و در حال پیشروی و توسعه است. عواملی از قبیل وضعیت طبیعی و فیزیوگرافی حوضه، فرسایش‌پذیری خاک، جریان‌ات رودخانه‌ای، وقوع سیلاب سهمگین، شدت بارندگی زیاد و همچنین عوامل انسانی همانند عدم استفاده از زمین بر اساس استعداد آن، تغییر کاربری و بهره‌برداری نامناسب توسط انسان، آبیاری غیر اصولی، رها شدن آب آبیاری در پایین‌دست، طراحی نامناسب سازه‌های آبیاری (بند خاکی)، همچنین تخریب منابع طبیعی توسط بهره‌برداران روستایی و عشایری و عدم حفاظت لازم از کانال‌های مربوطه در ایجاد خندق شماره ۱ چابهار نقش داشته‌اند.

در صورتی که خندق شماره ۲ منطقه چابهار از نوع ناپیوسته و جوان است و در تمامی جهات (سر خندق، شاخه‌های فرعی و بستر خندق) در حال توسعه و گسترش است. بررسی‌های میدانی نشان داد که شاخه‌های فرعی این خندق نسبت به دو خندق دیگر زیادتر است. چنانکه عواملی از نوع سازند زمین‌شناسی و وجود رسوبات فرسایش‌پذیر نظیر مارن با درصد بالای سیلت و رسوبات رسی سیلتی دوران سوم و چهارم، تخریب پوشش گیاهی، جریان‌ات رودخانه‌ای و وقوع سیل، بهره‌برداری نامناسب توسط انسان، آبیاری غیر اصولی، طراحی نامناسب سازه‌های آبیاری، فرونشستن بخشی از حوزه آبخیز، رها شدن آب آبیاری در پایین‌دست، عدم حفاظت لازم از کانال‌های آبیاری و وضعیت فیزیوگرافی منطقه زمینه مناسبی برای ایجاد شبکه‌ای از خندق‌های متراکم را فراهم نموده است.

بحث

قلیایی بودن خاک محدوده مورد بررسی سبب پراکندگی خاکدانه‌ها می‌گردد، در نتیجه ذرات خاک همراه با آب باران و رواناب ناشی از آن به آسانی حمل می‌شود. بالا بودن مقدار پارامترهای SAR و ESP خاک نشان‌دهنده نمک بالای منطقه است. چنین وضعیتی زمینه‌ای از هم پاشیدگی بافت و ساختمان خاک را فراهم نموده و باعث انحلال‌پذیری و فرسایش‌پذیری خاک و در نتیجه سبب توسعه خندق شده است. همچنین این دو ویژگی رابطه مستقیمی با هم دارند و افزایش یا کاهش هر یک بر دیگری نیز تأثیر دارد. همان‌طوری که پواسون (۱۹۹۶) نیز چنین رابطه‌ای را اثبات نموده است. هنگامی که سدیم خاک بالا باشد، خاصیت پخشیدگی خاک را فراهم می‌سازد؛ بنابراین زمانی که سیلاب وارد خاک‌های مورد مطالعه می‌شود، به آسانی ساختمان خاک متلاشی شده و سبب ایجاد فرسایش خندقی در منطقه می‌گردد، راهنما و همکاران (۱۳۸۹) نیز اثبات کرده‌اند که بالا بودن سدیم باعث افزایش حساسیت خاک در مقابل فرسایش می‌گردد. علاوه بر آن

زیادی سدیم قابل تبادل نامرغوب شدن خواص شیمیایی و کاهش کیفیت خواص فیزیکی خاک را به همراه دارد و همچنین قابلیت نفوذ آب در خاک را کاهش داده و مانع نفوذ هوا و آب در خاک می‌گردد، صوفی و چرخابی (۱۳۸۳) و احمدی و همکاران (۱۳۸۶) نیز ثابت کرده‌اند که بالا بودن سدیم قابل تبادل کیفیت خواص فیزیکی و شیمیایی خاک را تقلیل داده و باعث کاهش نفوذ آب در خاک می‌گردد.

علت بالا بودن شوری خاک در بالادست نسبت به سر خندق به دلیل شستشوی کمتر خاک در این قسمت خندق است. زیرا با زیاد شدن عمق، آب در سواحل خندق جریان نمی‌یابد، از این روی، شستشوی خاک کمتر صورت گرفته و فقط قطرات باران وارد این نقطه از خندق‌ها می‌شود که این مقدار آب نیز به دلیل پایین بودن مقدار بارندگی این مناطق، ناچیز است. شوری کم سر خندق می‌تواند به دلیل شستشوی زیاد باشد. پایین بودن میزان رس نسبت به سیلت در خاک سطحی سبب کاهش مقاومت ساختمان آن در مقابل فرسایش گردیده است که در نتیجه فقدان پدیده سیمانی شدن، کاهش پایداری خاکدانه‌ها و سست بودن ساختمان خاک را در پی خواهد داشت، از آنجا که زمان‌زاده و احمدی (۱۳۹۲) نیز ثابت کرده‌اند که رس نقش مؤثری در پایداری خاکدانه‌ها در مقابل فرسایش دارند. علاوه بر آن نوع خاک در شکل پلان عمودی سر این خندق که به صورت غارمانند درآمده، نشان‌دهنده وضعیت لایه‌های میانی خاک است که در لایه دوم، خاک از دانه‌بندی فرسایش‌پذیری برخوردار بوده و میزان املاح محلول در خاک در این بخش از خندق نیز زیاد است. گومز^۱ و سچنابل^۲ (۲۰۰۸) ثابت کرده‌اند زمانی که نمک خاک بیشتر باشد به دلیل سله بستن سطح خاک در ابتدا عملکرد فرسایشی آب شدید نخواهد بود ولی به تدریج با حرکت به سمت پایین‌دست و رسیدن به جایی که املاح و دانه‌بندی ضعیف لایه میانی خاک زیاد است، فرونشینی و توسعه فرسایش خاک اتفاق می‌افتد.

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر نشان داد که از لحاظ شیب و خاک اختلاف زیادی بین محدوده‌های توسعه خندق‌ها وجود ندارد. ولی خاک منطقه حساسیت بالایی نسبت به فرسایش دارد. ولی تغییرات مورفولوژیکی آبکندها علاوه بر خاک ناشی از عوامل دیگری نیز است. به صورتی که عواملی از قبیل چرای بیش از حد دام‌ها، بوته‌کنی به منظور سوخت و غیره، حساسیت خاک به فرسایش، ورود سیلاب‌های سنگین به منطقه از طریق رودخانه هیرمند که از افغانستان سرچشمه می‌گیرد، باعث ایجاد فرسایش خندقی در منطقه سیستان گردیده است. عواملی از قبیل وضعیت طبیعی و فیزیوگرافی حوضه، فرسایش‌پذیری خاک، جریانات رودخانه‌ای، وقوع سیلاب سهمگین، شدت بارندگی زیاد و همچنین عوامل انسانی همانند عدم استفاده از زمین بر اساس استعداد آن، تغییر کاربری و بهره‌برداری نامناسب توسط انسان، آبیاری غیر اصولی، رها شدن آب آبیاری در پایین‌دست، طراحی نامناسب سازه‌های آبیاری (بند خاکی)، همچنین تخریب منابع طبیعی توسط بهره‌برداران روستایی و عشایری و عدم حفاظت لازم از کانال‌های مربوطه در ایجاد خندق شماره ۱ چابهار نقش داشته‌اند. همچنین عواملی مانند خصوصیات طبیعی و فیزیوگرافی، فرسایش‌پذیری زیاد خاک، تخریب پوشش گیاهی، جریانات رودخانه‌ای، وقوع سیلاب‌های حجیم، شدت زیاد بارندگی، عدم استفاده از زمین بر اساس تناسب آن، تغییر کاربری و بهره‌برداری نامناسب توسط انسان، آبیاری غیر اصولی، رها شدن آب آبیاری در پایین‌دست، طراحی نامناسب سازه‌های آبیاری، تخریب منابع طبیعی توسط بهره‌برداران روستایی و عشایری باعث ایجاد خندق

1- Gomez

2- Schnabel

شماره ۲ چابهار گردیده‌اند؛ بنابراین نتیجه‌گیری می‌شود که خصوصیات خاک و حساسیت آن به فرسایش، وضعیت طبیعی محدوده‌های گسترش خندق و همچنین فعالیت‌های انسانی باعث ایجاد و توسعه خندق‌ها در مناطق مورد بررسی گردیده است.

منابع

- احمدی، حسن (۱۳۸۶) ژئومورفولوژی کاربردی (فرسایش آبی)، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- احمدی، حسن؛ محمدی، علی‌اصغر؛ قدوسی، جمال؛ سلاجقه، علی (۱۳۸۶) تست چهار مدل برای پیش‌بینی توسعه رأس گالی (مطالعه موردی: حوزه حبله‌رود - ایران)، *مجله بیابان*، ۱۴ (۱۲)، صص. ۶۸-۶۱.
- راهنما، جعفر؛ خسروی، فریدون؛ ریگی نژاد، شکوفه (۱۳۸۹) خصوصیات شیمی خاک، در ایجاد و پیشرفت فرسایش گالی در منطقه دشتیاری - چابهار، *زمین‌شناسی کاربردی*، ۱ (۶)، صص. ۱۶-۹.
- راهی، غلامرضا (۱۳۷۷) *بررسی مکانیسم و علل فرسایش خندقی در بندر گناوه*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، استاد راهنما: حسن احمدی، دانشگاه تربیت مدرس.
- زمان زاده، سید محمد؛ احمدی، مهدی (۱۳۹۲) تأثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی (مطالعه موردی: فارس، منطقه دشت کهور لامرد)، *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، ۲ (۲)، صص. ۱۵۶-۱۳۵.
- شهریور، عبدال؛ فیض‌نیا، سادات؛ احمدی، حسن؛ قدوسی، جمال (۱۳۷۷) بررسی علل فرسایش خندقی در منطقه سوق، *مجله پژوهش و سازندگی*، ۴ (۴۱)، صص. ۲۴-۱۸.
- صوفی، مجید؛ چرخابی، امیر حسین (۱۳۸۳) گزارش نهایی طرح تحقیقاتی فرآیند ایجاد خندق و نرخ رشد آن در لامرد و مرودشت، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری تهران، ص. ۹۵.
- قدوسی، جمال (۱۳۷۳) *رشد و گسترش خندق‌ها*، انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، گزارش پژوهشی، ص. ۲۸.
- قدوسی، جمال؛ داوری، مسعود (۱۳۸۴) تأثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در رخداد فرسایش خندقی و مرفولوژی خندق‌ها، *سومین همایش ملی فرسایش و رسوب*، تهران، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور.
- یمانی، مجتبی؛ اکبریان، محمد (۱۳۹۲) تأثیر ویژگی‌های رسوب‌شناسی در توسعه فرسایش تونلی در سازند فلیش مکران (مطالعه موردی محدوده شهرستان جاسک)، *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۳ (۷)، صص. ۱۷-۱.
- یوسفوند، شامحمد؛ حبیب‌نژاد، محمود؛ سلیمانی، کریم؛ رضایی پاشا، مریم (۱۳۹۲) تأثیر عوامل خاکی و زمین‌شناسی بر روی فرسایش خندقی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سیف‌آباد - لرستان)، *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک*، ۱۷ (۶۵)، صص. ۱۵۱-۱۳۹.

- Bradford, J. (1980) **Erosional Development of Valley Bottom Gullies in the Upper Midwestern United States**. In: Coates, D.R., Vitek, J.D. (Eds.), *Geomorphic Thresholds*, Dowden & Culver, Stroudsburg, Pennsylvania, pp. 75-101.
- Boardman, J. (2014) How Old Are the Gullies (dongas) of the Sneeuberg Uplands, Eastern Karoo, South Africa, *Catena*, 113, pp: 79-85.
- Brice, J.B. 1966, Erosion and Deposition in Loess-Mantled Great Plains, Medicine Creek Drainage Basin, Nebraska. U. S, **Geological Survey Professional Paper the 352H**, pp. 235- 339.

- Conoscenti, C., Angileri, S., Cappadonia, C., Rotigliano, E., Agnesi, V., Marker, M. (2014) Gully Erosion Susceptibility Assessment by Means of GIS-Based Regression: A Case of Sicily (Italy), **Geomorphology**, 204 (1), pp. 399-411.
- Dube, E., Nhapi, I., Murwira, A., Gumindoga, W., Goldin, J., Mashauri, D, A. (2014) Potential of weight of evidence modeling for gully erosion hazard assessment in Mbire District-Zimbabwe, **Physics and Chemistry of the Earth**, 67(69), pp.145-152.
- Ezechi, J. I. (2000) The influence of runoff, lithology and water table on the dimensions and rate of gully erosion Processes in Eastern, Nigeria. Elsevier, **Catena Verlag**. Cremlingen (Web-Site).
- Hauge, C. (1977) Soil erosion definitions, **California Geology**, 30, pp: 202-203.
- Gómez Gutiérrez, Á., Schnabel, S. (2008) Gully erosion and land use during the last 60 years in a small rangeland catchment in southwest Spain, **Geophysical Research**, 10, EGU2008-A-06962.
- Heed, B.H. (1970) Morphology of Gullies in the Colorado Rocky Mountains, **Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology**, XV, 2: 79-89.
- Imeson, A.C., Kwaad, F.J.P.M. (1980) Gully Types and Gully Prediction, **Geografisch Tijdschrift**, 14(5), pp. 430-441.
- Ireland, H. A., Sharpe, C. F., Eargle, D. H. (1939) **Principles of Gully Erosion in the Piedmont of South Carolina**. Tech. Bull.633.USDA. Washington DC.
- Kalinichenko, N.P., Illinski, V.V. (1976) **Gully improvement by means of forestry measures (in Russian)**, 2000. Izd. Lesnaya promishlennost. Moscow.
- Lesschen, J. P., Kok, K., Verburg, P. H., Cammeraat, L. H. (2007) Identification of Vulnerable Areas for Gully Erosion under Different Scenarios of Land Abandonment in Southeast Spain, **CATENA**, 71(1), pp. 110-121.
- Morgan, R.P.C. (2005) **Soil Erosion and Conservation**, Blackwell Publishing.
- Paolo, P., Desmond, W. E., Antonina, C. (2014) Using 137 CS and 210 Pbex measurements and conventional surveys to investigate the relative contributions of inter rill/rill and gully erosion to soil loss from a small cultivated catchment in Sicily, **Soil and Tillage Research**,; 135 (1), pp: 18-27.
- Poesen, J. (1989) Conditions for gully formation in the Belgian Loam Belt and some ways to control them, **Soil Technology Series**, 1, pp. 39-52.
- Poesen, J., Vandaele, K., Wesemael, B. (1996) **Contribution of gully erosion to sediment production in cultivated lands and rangelands**. IAHS Publication, 236, pp. 251-266.
- Torri, D., Poesen, J. (2014) A review of topographic threshold conditions for gully head development in different environments, **Earth Science Reviews**, 130 (1), pp. 73-85.
- Sigunga, D. O., Hoshino, M., Onyango, J. C., Asanuma, S., Kimura, M. (2011) Pedological perspective of gully erosion sites within Kendu escarpment-Sondu Miriu Region, West Kenya, **African Journal of Environmental Science and Technology**, 5(12), pp. 1050-1059.

